

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONOMICO DEL APROVECHAMIENTO A LOS RESIDUOS
SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LOS MUNICIPIOS DE BARICHARA,
PUENTE NACIONAL, CHARALA, Y LANDAZURI.**

**ING. LUIS IVAN RUIZ BELTRAN
ING. MANUEL ALBERTO SALGADO ALBA
ING. VICTOR ALEJANDRO FAJARDO PARDO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTA D.C.
2006**

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO A LOS RESIDUOS
SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LOS MUNICIPIOS DE BARICHARA,
PUENTE NACIONAL, CHARALA, Y LANDAZURI.**

**ING. LUIS IVAN RUIZ BELTRAN
ING. MANUEL ALBERTO SALGADO ALBA
ING. VICTOR ALEJANDRO FAJARDO PARDO**

**Monografía para optar el título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director
ALVARO PRADA PRADA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTA D.C.
2006**

Ni la Universidad Industrial de Santander, ni los jurados se hacen responsables, de los conceptos expuestos en el presente documento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresa sus agradecimientos a:

A la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER CAS, por su apoyo en la ejecución de este proyecto.

Ing. Alvaro Prada Prada, Director de este proyecto por su colaboración y guía para la elaboración de este trabajo.

A la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Puente Nacional EMSERPUNAL E.S.P. por su excelente colaboración para el desarrollo de este proyecto.

Al Señor Julio Vicente Niño Alcalde del Municipio de Puente Nacional por su colaboración en el préstamo de las instalaciones para el desarrollo del proyecto.

Al Señor Henry Galeano Ortiz Alcalde del Municipio de Landazuri por su colaboración en el préstamo de las instalaciones para el desarrollo del proyecto.

Al Señor Pablo Antonio Mendez Zanabria Alcalde del Municipio de Charala por su colaboración en el préstamo de las instalaciones para el desarrollo del proyecto.

Al Señor Guillermo Bautista Silva Alcalde del Municipio de Barichara por su colaboración en el préstamo de las instalaciones para el desarrollo del proyecto.

A todas las personas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES	3
2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	4
2.1 COMPOSTACIÓN	4
2.1.1 Descripción del Proceso de Compostación	4
2.2 COMPOSTAJE EN HILERA	8
2.3 COMPOSTAJE EN PILA ESTÁTICA AIREADA	8
2.4 COMPOSTACIÓN EN UN SISTEMA CERRADO	9
2.5 LOMBRICULTURA	10
2.6 ETAPAS A SEGUIR EN EL PROCESO DE LOMBRICULTURA	10
2.7 TRANSFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN ABONO POR UN BIORREACTOR ANAERÓBICO ESTRICTO	12
2.8 MICROORGANISMOS DE DEGRADACIÓN	13
3. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LOS MUNICIPIOS DE PUENTE NACIONAL, LANDAZURI, BARICHARA Y CHARALA DEPARTAMENTO DE SANTANDER.	17
3.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO.	17
2.9 CALCULO DE LA PPC Kg./hab.-día	23
4. PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN PUENTE NACIONAL	24
4.1 BALANCE DE MATERIA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL	30
4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL	33
4.3 ANÁLISIS FISICO QUIMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL	36
4.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO	36
4.5 REQUISITOS DEL ICA COMO ABONO	62
5. ANÁLISIS VARIABLES DE CORRELACION PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL	64
5.1 TEST DE HIPÓTESIS DE R	65
5.2 INTERVALO DE CONFIANZA DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN.	66
5.3 ANÁLISIS DE REGRESION	66
6. MUNICIPIO DE LANDAZURI	84
6.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO	84
6.2 CALCULO DE LA PPC Kg./hab.-día	89

6.3	PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LANDAZURI	89
6.4	DESCRIPCIÓN EQUIPOS DE LA PLANTA	96
6.5	BALANCE DE MATERIA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE LANDAZURI	98
6.6	ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE LANDAZURI	99
6.7	ANÁLISIS FISICO QUIMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE LANDAZURI	101
6.8	REQUISITOS DEL ICA COMO ABONO	125
6.9	ANÁLISIS VARIABLES DE CORRELACION PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE LANDAZURI	126
6.9.1	Test de hipótesis de r.	128
6.9.2	Intervalo de confianza del coeficiente de correlación	128
6.10	ANÁLISIS DE REGRESION	129
7.	MUNICIPIO DE BARICHARA	138
7.1	GENERALIDADES DEL MUNICIPIO	138
7.2	CALCULO DE LA PPC Kg./hab.-día:	142
8.	PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE BARICHARA	143
8.1	BALANCE DE MATERIA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA	149
8.2	ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA	150
8.3	ANÁLISIS FISICO QUIMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA	152
8.4	ANÁLISIS DE LABORATORIO	152
8.5	REQUISITOS DEL ICA COMO ABONO	175
8.6	ANÁLISIS VARIABLES DE CORRELACION PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA	177
8.7	ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CORRELACIÓN	177
8.7.1	Test de hipótesis de r	178
8.7.2	Intervalo de confianza del coeficiente de correlación	179
8.8	ANÁLISIS DE REGRESION	180
9.	MUNICIPIO DE CHARALA	185
9.1	DESCRIPCIÓN MUNICIPIO	185
9.2	CALCULO DE LA PPC kg/hab-día	190
9.3	PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE LOS REISDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE CHARALA	190
9.4	BALANCE GENERAL DE MATERIA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE CHARALA	197
9.5	ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE CHARALA	198
9.7	ANÁLISIS FISICO QUIMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE CHARALA	201

9.8	REQUISITOS DEL ICA PARA EL ABONO	225
9.9	ANÁLISIS VARIABLES DE CORRELACION PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA	227
9.10	ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CORRELACIÓN	227
9.10.1	Test de hipótesis de r.	228
9.10.2	Intervalo de confianza del coeficiente de correlación	229
9.11.	ANÁLISIS DE REGRESION	230
10.	ANÁLISIS COMPARATIVO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LOS CUATRO PROCESOS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	239

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clases de bacterias y etapas a la que pertenecen	13
Tabla 2. Bacterias metanógenas según su género	16
Tabla 3. Total residuos generados en el municipio de puente nacional	22
Tabla 3. Total residuos generados en el municipio de puente nacional	22
Tabla 4. Producción diaria según tipo de residuos sólidos en puente nacional	22
Tabla 5. Estado de resultados de la planta de compostaje de puente nacional	33
Tabla 6. Balance general de la Planta de Compostaje Puente Nacional	35
Tabla 7. Toma de temperatura en Puente Nacional	38
Tabla 8. Análisis Físicoquímico de Compost en Puente Nacional	40
Tabla 9. Análisis Físicoquímico de Compost en Puente Nacional	41
Tabla 10. Análisis Físicoquímico de Compost en Puente Nacional	42
Tabla 11. Análisis físicoquímico de Compost en Puente Nacional	43
Tabla 12. Análisis Físicoquímico de Compost en Puente Nacional	44
Tabla 13. Contenido de nitrógeno y relaciones carbono / nitrógeno nominales de materiales compostables seleccionados (base seca)	53
Tabla 14. Valores de muestreo para las variables PH, Humedad, Cot, Nitrógeno.	67
Tabla 15. Coeficientes de correlación para PH, Humedad, COT, Nitrógeno	68
Tabla 16. Valores de muestreo para las demás variables analizadas	71
Tabla 17. Coeficientes de correlación para las variables	72
Tabla 18. Características generales del sistema de recolección de basuras del municipio de Landázuri.	88
Tabla 19. Producción de Residuos en Landazuri	88
Tabla 20. Estado de Resultados de la Planta de Compostaje de Landazuri	99
Tabla 21. Balance General de la Planta de Compostaje Landazuri	100
Tabla 22. Métodos de análisis pruebas de Laboratorio Landazuri	102
Tabla 23. Toma de Temperatura en Landazuri	103
Tabla 24. Análisis físicoquímico de Compost en Landazuri	104
Tabla 25. Análisis físicoquímico de Compost en Landazuri	105
Tabla 26. Análisis físicoquímico de compost en landazuri	106
Tabla 27. Análisis físicoquímico de Compost Landazuri	107
Tabla 27. Análisis físicoquímico de Compost Landazuri	107
Tabla 28. Análisis físicoquímico de Compost en Landazuri	108
Tabla 29. Valores de muestreo para las variables PH, Humedad, COT, Nitrógeno Landazuri.	130
Tabla 30. Coeficientes de correlación para PH, Humedad, COT, Nitrógeno Landazuri	130
Tabla 31. Valores de muestreo para las demás variables analizadas Landazuri.	133
Tabla 32. Coeficientes de correlación para las variables analizadas Landazuri	134

Tabla 33. Caracterización física de los Residuos Sólidos Producidos Barichara	141
Tabla 34. Producción total de residuos sólidos generados en el Municipio Barichara.	142
Tabla 35. Balance general de la planta de compostaje Barichara	151
Tabla 36. Métodos de análisis pruebas de laboratorio	152
Tabla 37. Toma de temperatura en Barichara	153
Tabla 38. Análisis fisicoquímico de Compost Barichara	154
Tabla 39. Análisis fisicoquímico de Compost Barichara	155
Tabla 40. Análisis fisicoquímico de compost barichara	156
Tabla 41. Análisis fisicoquímico de Compost Barichara	158
Tabla 42. Análisis fisicoquímico de Compost Barichara	159
Tabla 43. Valores de muestreo para las variables Ph, Humedad, Cot, N	180
Tabla 44. Coeficientes de correlación para Ph, Humedad, Cot, Nitrógeno	181
Tabla 45. Valores de muestreo para las demás variables analizadas	182
Tabla 46. Coeficientes de correlación para las variables analizadas barichara	183
Tabla 47. Caracterización física de los residuos sólidos Charalá.	189
Tabla 48. Producción total de residuos sólidos generados en el municipio Charalá.	189
Tabla 49. Estado de resultados de la planta de compostaje de Charalá	199
Tabla 50. Balance general de la planta de compostaje Charalá	200
Tabla 51. Métodos de análisis pruebas de laboratorio	202
Tabla 52. Toma de temperatura en Landazuri	203
Tabla 54. Análisis fisicoquímico de compost en Charalá	204
Tabla 55. Análisis fisicoquímico de compost en Charalá	205
Tabla 56. Análisis fisicoquímico de compost en Charalá	207
Tabla 57. Análisis fisicoquímico de compost en Charalá	208
Tabla 58. Análisis fisicoquímico de compost en Charalá	209
Tabla 59. Coeficientes de correlación para ph, humedad, cot, nitrógeno Charalá	231
Tabla 60. Valores de muestreo para las demás variables analizadas Charalá	233
Tabla 61. Coeficientes de correlación para las variables analizadas Charalá	234
Tabla 62. Tecnologías de equipamiento en cada municipio	239
Tabla 63. Tecnologías de aprovechamiento en cada municipio	240
Tabla 64. Variables de aprovechamiento en cada municipio	241

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Municipios del Estudio	3
Figura 2. División Político Administrativa Puente Nacional	19
Figura 3. División Político Administrativa Sector Urbano Puente Nacional	20
Figura 4. Publicidad campañas selección en la fuente de residuos sólidos en Puente Nacional.	21
Figura 5. Producción total en Puente Nacional	23
Figura 6. Tolva de recibo y alimentador a banda transportadora.	25
Figura 7. Banda transportadora	25
Figura 8. Tanques de almacenamiento de Agroplus y adición a los RSO	26
Figura 9. Tornillo sin fin y triturador	26
Figura 10. Zona de maduración	27
Figura 11. Ventilador y Generador de aire caliente	27
Figura 12. Área de secado con inyección de aire caliente.	28
Figura 13. Cribado y empaque del producto final	28
Figura 14. Presentaciones mejorador de suelos afat	29
Figura 15. Tanque de almacenamiento de lixiviados	29
Figura 16. Pozo séptico para tratamiento aguas de lavado	30
Figura 17. Balance general de materia puente nacional	31
Figura 18. Valores en los niveles de temperatura en Puente Nacional	46
Figura 19. Valores en los niveles de Ph Puente Nacional	47
Figura 20. Valores en los Niveles de Humedad Puente Nacional	48
Figura 21. Valores en los Niveles de Carbono Orgánico Total Puente Nacional	49
Figura 22. Valores En Los Niveles De Nitrógeno Puente Nacional	50
Figura 23. Relación Carbono / Nitrógeno Puente Nacional	51
Figura 24. Valores en los Niveles se Fósforo Puente Nacional	53
Figura 25. Valores en los niveles de hierro puente nacional	55
Figura 26. Valores En Los Niveles De Zinc Puente Nacional	55
Figura 27. Valores en los Niveles de Manganeso Puente Nacional	57
Figura 28. Valores en los niveles de cobre Puente Nacional	57
Figura 29. Valores en los niveles de capacidad de intercambio iónico Puente Nacional	58
Figura 30. Valores en los niveles de potasio Puente Nacional	59
Figura 31. Valores en los niveles de calcio Puente Nacional	60
Figura 32. Valores en los niveles de magnesio Puente Nacional	61
Figura 33. Relación entre PH y la Humedad Puente Nacional	68
Figura 34. Relación entre PH y el Nitrógeno Puente Nacional	69
Figura 35. Relación entre humedad y el nitrógeno puente nacional.	70

Figura 36. Relación entre Ph y Hierro Puente Nacional	81
Figura 37. Relación entre capacidad de intercambio iónico con potasio puente nacional	82
Figura 38. Relación entre zinc y manganeso Puente Nacional	83
Figura 39. Localización Municipio de Landazuri	85
Figura 40. División política administrativa Landazuri	86
Figura 41. Mapa Urbano Landazuri	87
Figura 42. Estructura planta compostaje Landázuri	90
Figura 43. Rampa Descarga Residuos Orgánicos	91
Figura 44. Tolva recepción residuos orgánicos	91
Figura 45. Preselección Banda Transportadora	92
Figura 46. Molino triturador	92
Figura 47. Tornillo sin fin	93
Figura 48. Malla fondo de la celda y ventilador de aireación celdas	93
Figura 50. Celdas para Secado, tubos de aireación de las Celda de secado	94
Figura 51. Guadua como falso fondo para percolar el lixiviado	94
Figura 52. Pesaje y empaque del producto	95
Figura 53. Planta generadora de energía	95
Figura 54. Reactor de lixiviados.	96
Figura 55. Balance de materiales para la Planta de Compostaje Landazuri	98
Figura 56. Valores En Los Niveles De Temperatura En Landazuri	110
Figura 57. Valores en los niveles de Ph Landazuri	111
Figura 58. Valores en los niveles de humedad Landazuri	112
Figura 59. valores en los niveles de carbono orgánico total Landazuri	113
Figura 60. Valores en los niveles de nitrógeno Landazuri	114
Figura 61. Relación Carbono / Nitrógeno Landazuri	115
Figura 62. Valores en los niveles de fósforo Landazuri	116
Figura 63. Valores en los niveles de hierro Landazuri	117
Figura 64. Valores en los niveles de zinc Landazuri	118
Figura 65. Valores en los niveles de manganeso Landazuri	119
Figura 66. Valores en los niveles de cobre Landazuri	120
Figura 67. Valores en los niveles de capacidad de intercambio iónico Landazuri.	121
Figura 68. Valores en los niveles de potasio Landazuri	122
Figura 69. Valores en los niveles de calcio	123
Figura 69. Valores en los niveles de calcio Landazuri.	123
Figura 70. Valores En Los Niveles De Magnesio Landazuri	124
Figura 71. Relación entre ph y la humedad landazuri	131
Figura 72. Relación entre PH y el Nitrógeno Landazuri	132
Figura 73. Relación entre humedad y el nitrógeno landazuri.	132
Figura 74. Relación Entre Nitrogeno Y Zinc Landazuri	135
Figura 75. Relación Entre Manganeso Con Cobre Landazuri	136
Figura 76. relación entre potasio y mangnesio landazuri	137
Figura 77. División Político administrativa Municipio Barichara	139
Figura 77. División Político administrativa Municipio Barichara	139

Figura 78. Perímetro Urbano Municipio Barichara	140
Figura 79. Producción total residuos barichara	142
Figura 80. Clasificación de los residuos sólidos	144
Figura 81. Banda Transportadora	145
Figura 82. Tornillo sin fin 1	145
Figura 83. Tornillo sin in 2	145
Figura 84. Triturador vertical	146
Figura 85. Celdas de maduración	146
Figura 86. Rejilla y sistema de recolección lixiviados de las celdas	147
Figura 87. Producción de EM microorganismos que se le adicionan a las celdas.	147
Figura 88. Área de secado	148
Figura 89. Producto final	148
Figura 90. Tanque recolector lixiviados	148
Figura 91. Balance general de materia Barichara	149
Figura 92. Valores en los niveles de temperatura en barichara	161
Figura 93. Valores en los niveles de ph Barichara	161
Figura 94. Valores en los niveles de humedad Barichara	163
Figura 95. Valores en los niveles de carbono orgánico total Barichara	164
Figura 97. Valores en los niveles de nitrógeno Barichara	165
Figura 98. Relación carbono / Nitrógeno Barichara	166
Figura 99. Valores en los niveles de fósforo barichara	167
Figura 100. Valores en los niveles de hierro barichara	168
Figura 101. Valores en los niveles de zinc Barichara	169
Figura 102. Valores en los niveles de manganeso Barichara	170
Figura 103. Valores en los niveles de cobre Barichara	171
Figura 104. Valores en los niveles de capacidad de intercambio iónico Barichara	172
Figura 105. Valores en los niveles de potasio Barichara	173
Figura 106. Valores en los niveles de calcio Barichara	174
Figura 107. Valores en los niveles de magnesio Barichara	175
Figura 108. Relación entre humedad y nitrógeno	181
Figura 109. Relación entre ph y hierro Barichara	184
Figura 110. Localización Municipio de Charalá	185
Figura 111. División Político Administrativa Municipio Charalá	187
Figura 112. Producción total residuos Charalá	190
Figura 113. Rampa y Tolva	191
Figura 114. Banda Transportadora	191
Figura 115. Triturador vertical	192
Figura 116. Tornillo sin fin transporte a celdas de producción	192
Figura 117. Tubos PVC para aireación	193
Figura 118. Tanques almacenamiento y producción M.O	193
Figura 119. Caldos microbianos y forma de regarlos sobre las celdas.	194
Figura 120. Zona de maduración y toma de temperatura	194
Figura 120. Zona de maduración y toma de temperatura	194

Figura 121. Zonas de secado producto final	195
Figura 122. Equipo de Tamizado.	195
Figura 123. Empaque producto final	196
Figura 124. Recipientes para la selección de orgánicos en la fuente	196
Figura 125. Balance general de materia Charalá	197
Figura 126. Valores en los niveles de temperatura en Charalá	211
Figura 127. Valores en los niveles de Ph Charalá	212
Figura 128. Valores en los niveles de humedad Charalá	213
Figura 129. Valores en los niveles de carbono orgánico total Charalá	214
Figura 129. Valores en los niveles de nitrógeno Charalá	215
Figura 130. Relación carbono / nitrógeno Charalá	216
Figura 131. Valores en los niveles de fósforo Charalá	217
Figura 132. Valores en los niveles de hierro Charalá	218
Figura 133. Valores en los niveles de zinc Charalá	219
Figura 134. Valores en los niveles de manganeso Charalá	220
Figura 135. Valores en los niveles de cobre Charalá	221
Figura 136. Valores en los niveles de capacidad de intercambio iónico Charalá	222
Figura 137. Valores en los niveles de potasio Charalá	223
Figura 138. Valores en los niveles de calcio Charalá	224
Figura 139. Valores en los niveles de magnesio Charalá	225
Figura 140. Relación entre humedad y nitrógeno Charalá	232
Figura 141. Relación entre manganeso y cii Charalá	238

GLOSARIO

AEROBIO: organismo que crece en presencia de O₂.

ANAEROBIO: organismo que se desarrolla en ausencia de O₂, algunos pueden incluso morir en presencia de O₂.

APROVECHAMIENTO: es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos.

BACTERIA: microorganismo unicelular procarionte, cuyas diversas especies causan las fermentaciones, enfermedades o putrefacción en los seres vivos o en las materias orgánicas.

COMPOSTAJE: es un proceso bioxidativo, en el que intervienen numerosos microorganismos que requieren una humedad determinada y substratos orgánicos para la descomposición de sustancias o compuestos procesos de fermentación. El producto obtenido puede usarse como abono y /o acondicionador del suelo.

COMPOST MADURO: es el producto estabilizado y saneado de compostaje. A experimentado descomposición y esta en proceso de humificación (estabilización); se caracteriza por contener los nutrientes en formas fácilmente disponibles para las plantas.

CONTAMINACIÓN: es la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y/o la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de los particulares.

FERMENTACIÓN: conjunto de reacciones catabólicas que producen el principal transportador de energía (ATP), en las cuales los compuestos orgánicos sirven tanto de donadores primarios de electrones como de aceptores finales de electrones.

HONGO: grupo diverso de organismos unicelulares o pluricelulares que se alimentan mediante la absorción directa de nutrientes. Junto con las bacterias, los hongos son los causantes de la putrefacción y descomposición de toda la materia orgánica.

RECUPERACIÓN: es la acción que permite seleccionar y retirar los residuos sólidos que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento, para convertirlos en materia prima útil en la fabricación de nuevos productos.

RESIDUO SÓLIDO: cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, rechaza o entrega después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales e institucionales o de servicios, los residuos sólidos

con valor se llamaran materiales aprovechables.

RESIDUO SÓLIDO APROVECHABLE: es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo.

SEPARACIÓN EN LA FUENTE: es la clasificación de los residuos sólidos en el sitio donde se generan para su posterior recuperación.

TRATAMIENTO: conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos sólidos, para minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.

LIXIVIADO: es el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS TÉCNICO-ECONOMICO DEL APROVECHAMIENTO A LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LOS MUNICIPIOS DE BARICHARA, PUENTE NACIONAL, CHARALA, Y LANDAZURI.

Autores: RUIZ BELTRAN, Luis Ivan
SALGADO ALBA, Manuel
FAJARDO PARDO, Victor Alejandro

La Corporación Autónoma Regional de Santander CAS dentro de sus políticas y metas a desarrollar se encuentra el montaje y diversificación de los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en los 74 municipios de su jurisdicción, por tal motivo se presenta el análisis desde distintos puntos de vista de las plantas de compostaje que actualmente se encuentran operando, en los municipios de Puente Nacional, Landazuri, Barichara y Charala, por lo tanto se realizó una reseña de cada municipio, su localización, sus condiciones atmosféricas y otras características, para luego establecer los diagnósticos de cada una de las plantas de compostaje, sus condiciones de operación, la descripción de los equipos y maquinaria utilizada en cada una, la cantidad de residuos generada en cada municipio y la capacidad operativa de cada planta; se estableció un balance de materia y energía en cada planta para conocer las capacidades operativas y necesidades energéticas en los procesos de compostaje.

Se realizaron análisis económicos, estados de pérdidas y ganancias y balance general para cada una de las plantas de compostaje, con el fin de conocer las necesidades y la viabilidad económica de los procesos de compostaje a las condiciones de municipios menores.

Se realizaron análisis de laboratorio a los procesos de cada una de las plantas de compostaje tomando las muestras en cada una de las plantas, durante el tiempo que dura el proceso de descomposición de los residuos desde que entran al proceso hasta la obtención del producto final, es decir analizando desde las materias primas que llegan a las plantas, al producto en proceso y al producto final con el fin de conocer sus propiedades fisicoquímicas y la eficiencia de cada una teniendo en cuenta que son tecnologías diferentes y proveedores de equipos e insumos diferentes. Con lo anterior se establecieron análisis estadísticos y de correlaciones de las variables caracterizadas con los análisis de laboratorio, obteniendo la relación entre las variables y realizando graficas de tendencias y ecuaciones que correlacionan las variables de cada una de las plantas de compostaje.

En cada uno de los objetivos desarrollados se fueron dando las recomendaciones, indicaciones y conclusiones tanto para el mejoramiento de cada uno de los procesos en cada uno de las plantas de compostaje de los municipios, como la mejor forma de diseño, construcción y operación para las futuras plantas de compostaje a construir y operar en los demás municipios de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS.

Por ultimo se hacen cuadros comparativos de las cuatro plantas y se analizan obteniendo unas recomendaciones y conclusiones de los procesos estudiados para beneficio de los nuevos modelos de plantas a desarrollar.

* Proyecto de Grado

** **Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director: Alvaro Prada Prada.**

SUMARRY

TITLE: TECHNICIAN-ECONOMIC ANALYSIS OF THE USE TO THE GENERATED ORGANIC SOLID RESIDUALS IN THE MUNICIPALITIES OF BARICHARA, PUENTE NACIONAL, CHARALA, Y LANDAZURI.

Autores: RUIZ BELTRAN, Luis Ivan
SALGADO ALBA, Manuel
FAJARDO PARDO, Victor Alejandro

The Regional Autonomous Corporation of Santander CAS inside their politicians and goals to be developed find the assembly and diversification of the processes of use of organic solid residuals in the 74 municipalities of their jurisdiction, for such a reason the analysis is presented from different points of view of the compostaje plants that at the moment are operating, in the municipalities of Puente Nacional, Landazuri, Barichara and Charala, therefore one carries out a review of each municipality, its localization, their atmospheric conditions and other characteristics, it stops then to establish the diagnoses of each one of the compostaje plants, their operation conditions, the description of the teams and machinery used in each a, the quantity of residuals generated in each municipality and the operative capacity of each plant; he/she settled down a matter balance and energy in each plant to know the operative capacities and energy necessities in the compostaje processes.

They were carried out economic analysis, states of lost and earnings and general balance for each one of the compostaje plants, with the purpose of knowing the necessities and the economic viability from the compostaje processes to the smallest conditions of municipalities.

They were carried out laboratory analysis to the processes of each one of the compostaje plants taking the samples in each one of the plants, during the time that the process of decomposition of the residuals lasts since they enter to the process until the obtaining of the final product, that is to say analyzing from the matters cousins that arrive to the plants, to the product in process and to the final product with the purpose of knowing its physiochemical properties and the efficiency of each a keeping in mind that they are different technologies and suppliers of teams and different inputs.

With the above-mentioned statistical analysis settled down and of correlations of the variables characterized with the laboratory analyses, obtaining the relationship among the variables and carrying out graphic of tendencies and equations that correlate the variables of each one of the compostaje plants.

In each one of the developed objectives they left giving the recommendations, indications and conclusions so much for the improvement of each one of the processes in each one of the plants of compostaje of the municipalities, as the best design form, construction and operation for the future compostaje plants to build and to operate in the other municipalities of the jurisdiction of the Regional Autonomous Corporation of Santander CAS.

For I finish comparative squares of the four plants they are made and they are analyzed obtaining some recommendations and conclusions of the processes studied for benefit of the new models of plants to develop.

* Proyecto de Grado

** **Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director: Alvaro Prada Prada.**

INTRODUCCIÓN

Las sociedades humanas siempre han producido residuos, pero es ahora, en la sociedad de consumo, cuando el volumen de las basuras ha crecido de forma desorbitada. Además se ha incrementado su toxicidad hasta convertirse en un gravísimo problema.

Al tiempo, las reservas naturales de materias primas y las fuentes energéticas disminuyen mientras los costes de su extracción aumentan y son motivos de graves impactos ambientales y desequilibrios sociales. Estamos inmersos en la cultura del usar y tirar, y en la basura de cada día están los recursos que dentro de poco echaremos en falta.

Cada ciudadano genera por término medio 1 kg. de basura al día (365 kg. por persona y año). Estas basuras domésticas (llamadas Residuos Sólidos Urbanos, RSU) van a parar a vertederos e incineradoras. Buena parte de estos RSU, el 60% del volumen y 33% del peso de la bolsa de basura, lo constituyen envases y embalajes, en su mayoría de un sólo uso, normalmente fabricados a partir de materias primas no renovables, o que aun siendo renovables se están explotando a un ritmo superior al de su regeneración.

En la producción de Residuos Sólidos Urbanos se encuentran los residuos orgánicos los cuales se pueden tratar mediante el proceso de compostaje que permite reciclar residuos orgánicos de origen municipal, comercial, industrial o agrícola.

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

En sus orígenes consistía en el apilamiento de los residuos de la casa, los excrementos de animales y personas y los residuos de las cosechas para que se descompusieran y transformasen en productos más fácilmente manejables y aprovechables como abono.

La conversión en compost de los residuos orgánicos es una técnica conocida y de fácil aplicación, que permite obtener un fertilizante de manera racional, económica y segura, a partir de diferentes residuos orgánicos y conservar y aprovechar los nutrientes presentes en estos residuos.

Puede definirse el compost como el producto que se obtiene al someter la materia orgánica a un proceso de fermentación aerobia que la transforma en una mezcla estable, lo más homogénea posible y que guarde una relación entre sus componentes que le confieran un buen valor agronómico.

En el departamento de Santander, en Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS, se cuentan con cuatro plantas de compostaje en los Municipios de Puente Nacional, Landazuri, Barichara y Charala, las cuales se encuentran en procesos de implementación, mejoramiento y optimización con el fin de convertirlas en soluciones regionales para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.

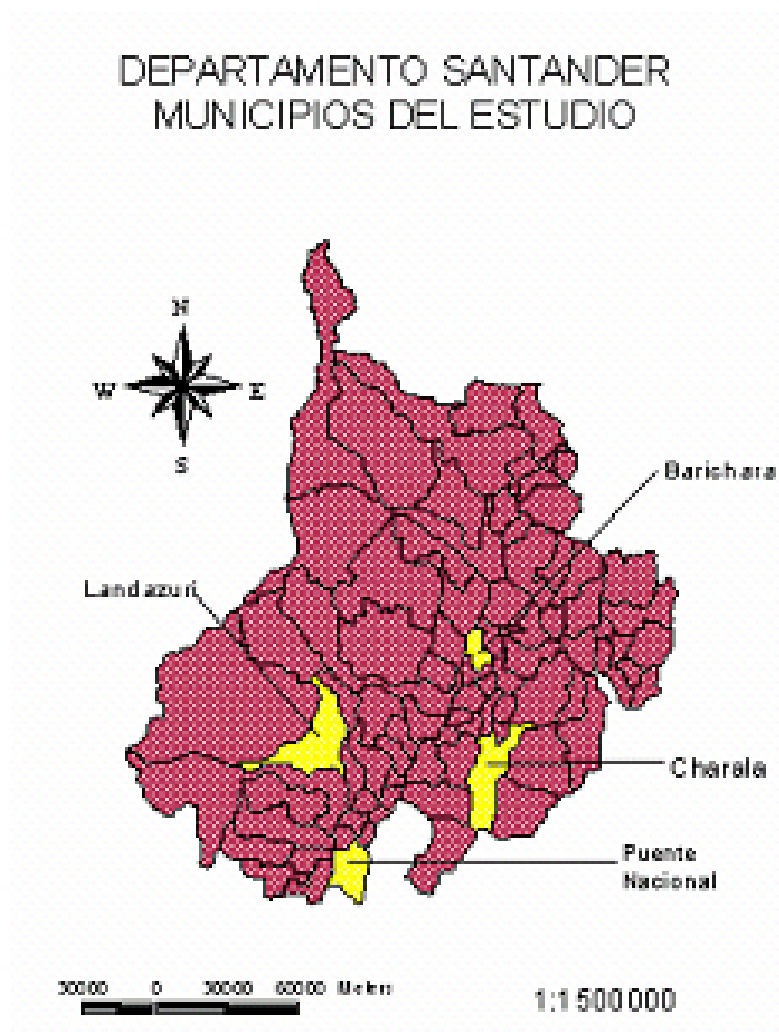
Como el estado colombiano no tiene legislado, la producción de abono o mejoradores de suelos a partir de los residuos sólidos urbanos se hace necesario que en estos procesos, materias primas y productos se le realicen un monitoreo a través de análisis de laboratorio para conocer la calidad del proceso, materia prima y producto con el fin de poder garantizar a la sociedad la utilización de estos mejoradores de suelos.

De otra parte se hace necesario realizar el diagnóstico y la forma de producción del mejorador de suelos en cada uno de los municipios del estudio con el fin de poder establecer las debilidades y fortalezas con que cuenta cada una de las plantas de compostaje para lograr su optimización, su trascendencia y proyectar esta disposición final de residuos orgánicos a los demás Municipios de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS.

1. GENERALIDADES

Se consideraron para el estudio los Municipios de Puente Nacional, Barichara, Charala y Landazuri todos en el departamento de Santander cuya ubicación se presentan en la siguiente figura:

Figura 1. Municipios del Estudio



2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

2.1 COMPOSTACIÓN¹

La compostación es un proceso natural mediante el cual se realiza la degradación biológica de los residuos orgánicos, obteniéndose un compuesto sanitariamente seguro para fines agrícolas. El producto que se obtiene se llama compost y es un recuperador de suelos que mejora su contenido de nutrientes y aumenta su capacidad de almacenamiento de humedad.

2.1.1 Descripción del Proceso de Compostación. El proceso de compostación comprende las siguientes etapas:

- Preparación.
- Digestión.
- Curado.
- Acabado.
- Almacenamiento.

- Preparación:

Recepción: la preparación se inicia con la recepción de los residuos sólidos, generalmente en una tolva, donde se dosifican en forma continua mediante sistemas convencionales de alimentación a una banda transportadora.

Selección: cuando existe clasificación en la fuente a la tolva solo llegan residuos sólidos orgánicos. Cuando no se cuenta con este programa, en la banda se separan en forma manual los materiales reciclables tales como: cartón, papel, plásticos, vidrio, textiles, metales no ferrosos y cueros, Los metales ferrosos pueden ser removidos por separación magnética. Esta separación tiene por objeto el aprovechamiento de los materiales reciclables y la protección de los equipos de trituración y la preservación de la calidad del compost.

Trituración: después de separados los materiales compostables se someten a una reducción del tamaño por medio de triturado, este procedimiento es necesaria para proveer las máxima área superficial por unidad de residuo y así aumentar la velocidad de descomposición. Sin embargo cuando el tamaño es muy pequeño se puede producir compactación, esto hace necesario una mayor agitación para mantener la porosidad que permita la aireación necesaria.

¹ INGENIERÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Estudio de investigación sobre sistemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos. Santa fé de Bogotá, Octubre 15 de 1993.
UNIVERSIDAD CENTRAL. Manual para la gestión de los residuos sólidos en Cundinamarca. Santa fé de Bogotá 2002.

- **Digestión:** Dentro de esta etapa se lleva a cabo la biodegradación que puede realizarse mediante un proceso natural anaeróbico o a través de un proceso aeróbico acelerado.

Proceso anaeróbico de compostación:

Este proceso de compostación se realiza en ausencia de oxígeno por la acción de microorganismos anaeróbicos mesofílicos. El proceso es lento, puede durar de 4 a 6 meses, las temperaturas del proceso son del orden de 38 – 55 °C.

Proceso aeróbico de compostación:

La mayoría de las plantas utilizan la digestión aeróbica, el principal objetivo del proceso es crear un ambiente en el cual los microorganismos puedan descomponer rápidamente la porción orgánica de los residuos. Generalmente se adiciona o inocula algún material para acelerar el proceso de biodegradación. Para esta digestión las bacterias requieren del oxígeno que es suministrado volteando el material en descomposición, o si se trata de un recinto cerrado a través de tuberías.

Los compuestos orgánicos son oxidados parcialmente, se genera calor, vapor de agua, dióxido de carbono, amoníaco y muy pequeñas cantidades de otros gases. El producto obtenido contiene compuestos orgánicos simples no susceptibles de sufrir nuevas degradaciones, por lo cual se considera estable.

El calor generado hace que la temperatura se eleve entre 60 – 70 °C destruyendo los organismos patógenos, cuando la temperatura se eleva a más de 70 °C se inhibe el crecimiento y reproducción de los microorganismos que realizan la degradación y el proceso biológico se retarda.

A medida que avanza el proceso se acelera la descomposición y no se producen olores desagradables. El proceso demora unas seis semanas, cuando el oxígeno presente se agota por falta de aireación aparecen organismos anaeróbicos que realizan el proceso de una manera más lenta, aumentando la generación de olores no deseables. La digestión o degradación del desecho se logra cuando la temperatura baja y se estabiliza, la apariencia es de humus.

En el compostaje el medio base a emplear es el material orgánico que químicamente no es definido, por lo tanto se considera un medio complejo el cual es útil para el cultivo de una amplia gama de microorganismos. Para el crecimiento de estos microorganismos y la obtención del compostaje se debe cumplir con cinco parámetros básicos:

- Fuente de energía (generalmente es la misma fuente de carbono), deben existir los nutrientes para proveer los materiales esenciales de donde se sintetiza la biomasa (H, O, C, N, P, S).
- No se deben encontrar materiales como cloruros, fosfatos, sulfatos ya que son inhibidores de crecimiento.

- Deben existir condiciones fisicoquímicas óptimas (temperatura, pH, aireación, Humedad, Mezcla).
 - De la relación carbono nitrógeno C/N dependen el tiempo de estabilización y la velocidad de transformación.
 - Neutralizador: En todo proceso de fermentación se producen cambios en la concentración del hidrógeno produciendo cambios en el pH, es por esto que se requiere adicionar cal para neutralizarlo o papel periódico picado en caso de que el valor sea muy bajo.
- **Curado:** El curado es una etapa lenta donde se termina la estabilización del compost, el tiempo requerido depende de la aireación que tenga el área donde se lleve a cabo y varía considerablemente entre días y meses.
- **Acabado:** El acabado consiste en el tamizado y/o trituración del producto con el fin de mejorar su apariencia final, retirando plásticos u otros objetos que pudiesen haber quedado en las etapas anteriores, mejorando de esta manera el aspecto físico, dejándolo granulado, fino y suelto para ser empacado.
- **Almacenamiento:** Cuando la demanda del compost es variable es necesario disponer de un área para su almacenamiento, es factible que en el momento de almacenarlo se pueda ir evacuando la etapa de curado.

Parámetros que deben controlarse. El proceso de compostaje requiere dedicación para vigilar y controlar las diferentes etapas necesarias para la obtención del compost. Se deben hacer esfuerzos para garantizar condiciones aeróbicas con el fin de evitar malos olores, obtener altas temperaturas y una rápida digestión. Un buen tratamiento del proceso evita la presencia de moscas y malos olores y la obtención de un buen producto en el menor tiempo. Una prevención especial es que los lixiviados o líquidos resultantes de la descomposición deben ser evacuados con cuidado y tratados con el fin de evitar la contaminación atmosférica, de los suelos y los acuíferos. Los parámetros a controlar son:

Contenido de humedad: En los dos o tres primeros días del proceso la humedad es esencial para el transporte de nutrientes a través de la biomasa (50 – 60% en peso), si la humedad es muy alta se reduce la cantidad de aire presente y la descomposición se torna anaeróbica. Si la humedad es baja la tasa de descomposición disminuye, a medida que el proceso avanza la humedad puede disminuir durante el tiempo de retención.

Relación Carbono / Nitrógeno: El carbón y el nitrógeno son dos elementos requeridos para el crecimiento de los microorganismos. La relación C / N provee un indicador de la rata de descomposición de la materia orgánica. Los microorganismos generalmente requieren para su metabolismo 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno. A medida que ocurre la reacción de los microorganismos utilizan el carbono para energía y el nitrógeno para construcción de células, la relación carbono nitrógeno disminuye con el tiempo, el carbono es liberado a la atmósfera y el nitrógeno permanece en el sistema. Esta rata es por lo tanto usada comúnmente en el proceso de compostaje; el valor que se usa con más frecuencia está entre 25 y 30. Si la relación C / N es muy alta el proceso de

descomposición se vuelve más lento a medida que el nitrógeno se vuelve limitante del crecimiento; si la relación es muy baja, la mayoría del nitrógeno presente, rápidamente se pierde debido a la volatilización en forma de amonio molecular. Como el nitrógeno es un nutriente muy valioso para las plantas, sus niveles en el inicio del compost necesita ser mantenido razonablemente alto; por lo tanto, mantener una relación óptima de Carbono / Nitrógeno es ventajoso para el proceso.

Tamaño de las partículas: La velocidad de degradación de la materia orgánica depende del tamaño de sus partículas, a menor tamaño de estas, mayor velocidad, sin embargo cuando el tamaño es muy pequeño se puede producir compactación, lo cual hace necesario una mayor agitación para mantener la porosidad que permita la aireación necesaria. Los tamaños típicos para el material a compostar está entre los rangos de 10 a 50 milímetros, el valor más bajo es apropiado para sistemas de compostaje con aireación.

pH: Es la medida de acidez o alcalinidad de un medio, Los valores inferiores a 7 indican acidez y los superiores alcalinidad. En el proceso de compostación sea aeróbico o anaeróbico el pH desciende los primeros dos o tres días. El pH óptimo para el crecimiento de las bacterias y otros organismos del compostaje esta en el rango de 6 a 8 unidades; en pH de 8 a 9 unidades el nitrógeno puede perderse en forma volátil como amonio molecular si el pH es muy ácido (menor a 5), la actividad microbiana cesa. En algunos casos el pH puede reflejar el mal funcionamiento del proceso; si por ejemplo una masa de compostaje empieza a volverse anaeróbica el pH puede descender hasta más o menos 4.5 dada la acumulación de ácidos orgánicos. Comúnmente, mientras el proceso alcanza la estabilidad, el pH se va acercando a la neutralidad.

Inoculación: La inoculación es la adición de materiales que contienen los microorganismos que realizan el proceso de degradación de las materias primas, a fin de obtener mayores velocidades de degradación.

Aireación: Los niveles óptimos de oxígeno requeridos para el crecimiento de los microorganismos esta en el rango de 5 a 15% de aire, con un mínimo del 5% para el crecimiento de los mesofílicos. El consumo de oxígeno en la masa de compostaje depende de algunos factores: a) El estado del proceso; b) De la temperatura; c) Del grado de agitación de la masa (esto es cuando se tiene revuelto con excreta); d) La composición de la masa a compostar; e) El tamaño de las partículas; f) El contenido de humedad. El consumo de oxígeno parece incrementar y decrecer logarítmicamente con los cambios de temperatura y el contenido de humedad afecta el espacio del aire dentro de la masa que esta compostándose. La rata a la cual el material es aireado también afecta el proceso. Si la rata de aireación es alta el exceso de flujo de aire causa la baja de calor, si esta rata es baja la actividad aeróbica declinará y el proceso puede convertirse en anaeróbico.

Temperatura: Es otro parámetro importante de controlar ya que ayuda a eliminar los organismos patógenos y es un parámetro para el control del proceso de compostación. Para su medición se utiliza un termómetro lo suficientemente largo que permita ser introducido con facilidad dentro del compost en proceso. Una disminución en la temperatura indica que el proceso requiere más aireación o que la descomposición esta en la etapa final. La digestión se lleva a cabo a una temperatura promedio de 60 a 70 °C. Temperaturas entre 66 °C y 71 °C son alcanzadas por espacio de diez días.

Inicialmente los desechos se descomponen en fase mesofílica (temperaturas de 25 a 40 °C), pero después de sobrepasar las etapas ácidas de descomposición la temperatura se eleva de 35 °C a unos 65 °C siendo esta la fase termofílica, Es por esto que la temperatura es uno de los mejores indicadores del grado de estabilización obtenido.

Una forma practica de realizar una prueba de control, para revisar en que fase se encuentra el proceso de descomposición, es tomar cierta cantidad de compost, se le ajusta la humedad al 55 % y se mezcla, la temperatura debe elevarse en unos dos días a 60 °C. Si esto no ocurre se puede asegurar que el compost ya esta estabilizado.

Control de insectos y olores: No deben existir insectos (las larvas se destruyen con el calor), ni olores desagradables en una planta bien operada. Se debe poner especial atención a las áreas de movimiento del producto pues hay que tener presente que si se mantiene sin voltear se producirá una fermentación anaerobia y por consiguiente olores a putrefacción que pueden generar molestias.

Existen diferentes formas de hacer compostaje en entre las cuales se encuentra:

2.2 COMPOSTAJE EN HILERA²

El compostaje en hilera es uno de los métodos más antiguos de compostaje, se puede construir un sistema de compostaje en hilera mediante la disposición del material orgánico en hileras con una sección transversal normalmente de 2 a 2.30 metros por 4.5 a 5 metros de anchura. Las dimensiones de la hilera dependen del tipo de equipamiento que se va a utilizar para voltear los residuos fermentados. Antes de formar las hileras se procesa el material orgánico mediante trituración y cribación hasta obtener un tamaño aproximadamente 2.5 a 7.5 cm. y un contenido de humedad ajustado entre el 50 y 60 por 100.

En los sistemas de alto rendimiento se voltea hasta 2 veces por semana mientras se mantiene la temperatura en 55 °C o un poco por encima. El volteo de hileras frecuentemente viene acompañado por emisiones de olores molestas, la fermentación completa puede obtenerse en tres o cuatro semanas. Después del periodo de volteo, se deja el compost para curarse durante tres o cuatro semanas más sin volteo. Durante el periodo de curación los materiales orgánicos descomponibles residuales son reducidos más por la acción de hongos y actinomicetos.

2.3 COMPOSTAJE EN PILA ESTÁTICA AIREADA³

Originalmente desarrollado para el compostaje aerobio de fangos de aguas residuales, se puede utilizar el proceso para fermentar una amplia variedad de residuos orgánicos, incluyendo residuos de jardín o Residuos Sólidos Urbanos (RSU) separados. El sistema de pila estática aireada consiste en una red de tuberías de aireación sobre la cual se coloca la fracción orgánica procesada de los RSU. Las alturas de las pilas son

² TCHOBANOGLUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. Volúmenes I y II. Editorial Mac Graw-Hill.

³ Ibid.

aproximadamente de 2 a 2.5 metros. A menudo se coloca encima de la pila recientemente formada una capa de compost cribado para el control de olores.

Normalmente se proporciona a cada pila un inyector de aire individual para un control más eficaz de la aireación. Para el suministro de aire frecuentemente se utiliza una tubería de drenaje de plástico ondulado; se introduce el aire para proporcionar el oxígeno necesario para la conversión biológica y para controlar la temperatura dentro de la pila. La operación de inyección normalmente está controlada por un cronómetro o en algunos sistemas, por un ordenador que controla un perfil de temperatura específico. Se fermenta el material durante un periodo de 3 a 4 semanas, después se cura el material durante cuatro semanas más. Normalmente se realiza una trituración y cribación del compost curado para mejorar la calidad del producto final.

2.4 COMPOSTACIÓN EN UN SISTEMA CERRADO

Estos sistemas se caracterizan por la alta tecnología que presentan, son caros, requieren poca mano de obra, menos área y no generan olores.

El tipo Biorreactor empleado para llevar a cabo el proceso de descomposición aeróbica de alta velocidad varía considerablemente, dando origen a diferentes sistemas de compostación. Los Biorreactores pueden agruparse en 3 categorías que son:

- de lecho fluidizado.
- de silo.
- de túnel.

BIORREACTOR DE LECHO FLUIDIZADO: Pueden tener una forma rectangular o circular, siendo los más comunes los de forma rectangular de extremos abiertos. Las principales diferencias de los equipos son los sistemas de carga, mezcla y descargue.

Los rectores más utilizados son los rectangulares y las dimensiones típicas son las siguientes.

Altura: 1.2 – 3.7 m.

Ancho: 3.6 m.

Largo: su longitud es variable.

El material orgánico junto con una parte del compost reciclado son mezclados y descargados en el Biorreactor, mediante cargadores mecánicos. Para controlar la humedad se ajusta mediante rociadores, si es necesario.

Como métodos alternativos de carga se utilizan tornillos sinfín y bandas transportadoras para trasladar los materiales directamente al extremo de carga del reactor. Cuando los volúmenes de producción son grandes se emplean mezcladores continuos para alimentar el reactor. Las materias primas mezcladas se conducen a lo largo del reactor por medio de un dispositivo mecánico. La mayoría de equipos realizan cinco operaciones básicas:

1. Reducción de tamaño.
2. Transporte de biomasa.

3. Mezcla.
4. Aireación.
5. Controles necesarios.

BIORREACTOR TIPO SILO: Estos reactores generalmente son verticales y el sistema de compostación se hace contra corriente. La altura varía entre 1.5 – 2.0 veces el diámetro, se dimensionan de tal manera que permitan un tiempo de retención de por lo menos 14 días.

En este tipo de reactor es necesario contar con lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales. El material orgánico preprocesado junto con los lodos deshidratados y una fracción de compost reciclado, se mezclan y se introducen por la parte superior del Biorreactor.

Aproximadamente 1/15 del volumen total del silo se desocupa diariamente antes de adicionar la nueva mezcla. El compost extraído se tamiza mediante una zaranda y se lleva a las instalaciones de curado. Luego se empaqueta o se dispone a granel. La fracción de compost retenida en la zaranda se recicla.

BIORREACTOR TIPO TÚNEL: Generalmente son horizontales y trabajan en contracorriente. La sección transversal puede ser cuadrada o rectangular.

El ancho y la altura varían entre 2 – 5 m y la longitud entre 25 – 30 m. El volumen total pueden variar entre 100 – 700 m³. Las unidades pequeñas resultan muy costosas, el tamaño mínimo económico es de 300 m³. Debido a que las operaciones de preproceso, manejo de materiales y almacenamiento, se realizan en el reactor, se requieren grandes volúmenes.

Este Biorreactor, al igual que el tipo silo, puede estar al aire libre. Solo se requieren edificaciones para realizar el preproceso y para el equipo que maneja los materiales. Como el proceso de compostación se demora 15 días, se requieren 15 unidades para garantizar una operación continua, es decir depende de la cantidad de residuos a procesar.

2.5 LOMBRICULTURA

Por lombricultura se entiende la crianza de lombrices rojas californianas en cautiverio previamente seleccionadas para transformarlos en humus.

2.6 ETAPAS A SEGUIR EN EL PROCESO DE LOMBRICULTURA

- Acondicionamiento de materias primas.
- Preparación del medio de cultivo.
- Fermentación.
- Construcción del lecho.
- Adición de las lombrices y extracción de humus.

- **Acondicionamiento de materias primas:** Una vez se tenga claro el tipo de material orgánico a tratar, este debe ser pesado, clasificado y triturado de la forma más fina posible. Los desechos deben estar humedecidos de manera uniforme por un período

mínimo de una semana con el fin de facilitar a las lombrices la succión. Los desechos producidos en los mataderos y plazas de mercado Municipales, pueden ser triturados y/o picados y destinados para alimento de las lombrices, o bien para producir compostaje y a partir de este proveer alimento a las mismas.

- Preparación del medio de cultivo: El sustrato se denomina a aquel medio donde se va a desarrollar la lombriz. Este medio debe ser flojo, poroso que absorba humedad, sin cambios de temperatura (que no exceda de 25 – 40), totalmente descompuesto y sin ningún proceso de degradación; es necesario que este compuesto por celulosa y proteínas lo cual requiere que se utilice material orgánico, material vegetal, estiércol junto con material vegetal, compost a base de residuos de mataderos municipales o de desperdicios de las plazas de mercado.

El sustrato ya preparado debe extenderse sobre toda la base del lecho hasta llenarlo con un espesor inicial de unos 15 – 20 cm, se remoja con agua toda la superficie durante unos 4 días consecutivos para luego hacerlo semanalmente durante el primer mes de tal manera que el sustrato se oxigene y este preparado para recibir las lombrices.

- Fermentación: Durante el proceso ocurre una fermentación del material y el tiempo de descomposición del mismo depende de la clase del material orgánico que se este utilizando.

Construcción del lecho o cama para mantener en cautiverio las lombrices:

En Colombia se han utilizado tres tipos de lechos:

- Lecho subterráneo en el caso de que el suelo no facilite el drenaje.
- Lecho superficial cuando el suelo presenta conformación arcilloso.
- Lecho aéreo.

- Adición de las lombrices y extracción del humus: Inicialmente acostumbran a adicionar 1000 lombrices por cada metro cuadrado de cama. Se introducen en las horas de la mañana para que al salir el sol las obligue a introducirse dentro del sustrato, una vez se hayan introducido se debe agregar otra capa de sustrato de un espesor de 1cm. Pasados 30 días desde la incorporación de las lombrices se suministra más comida.

Para extraer el humus retrasan unos dos días el suministro de alimento, luego la comida se distribuye en capas de 5 cm de espesor, luego de una semana se retirará la ultima capa de 5cm la cual estará con lombrices, esta operación la repiten unas dos veces más hasta conseguir retirar la mayoría de las lombrices.

Tamizar, triturar, empacar: Una vez extraído el humus, debe ser triturado, cernido, almacenado y empacado para su venta y posterior uso en floricultivos, cultivo de hortalizas o fertilizante para la agricultura.

Variables que se deben controlar

Temperatura: Las lombrices responden marcadamente a los cambios de temperatura, el consumo y conversión de los residuos orgánicos a humus se optimiza en el rango de 13 °C a 22 °C. A temperaturas inferiores a 10 °C se reduce considerablemente el consumo y a menos de 4 °C cesa por completo la producción de capullos y el desarrollo de las lombrices jóvenes. A temperaturas superiores al rango óptimo, hasta 27 °C el comportamiento de las lombrices depende de su aclimatación a temperaturas más altas.

pH: Las lombrices prefieren suelos neutros, estas especies actúan más eficazmente con un pH neutro o ligeramente alcalino de 6 a 8. el contacto prolongado con los suelos ácidos con un pH menor a 4.5 les ocasiona la muerte.

Humedad: En la producción de humus el contenido máximo de humedad varía entre 50 y 90 %, por encima de 80 se dificulta la transferencia de oxígeno, afectando la actividad de las lombrices. El coeficiente de consumo de las lombrices no se altera si se mantiene una humedad mínima del 50%.

Aireación: El ritmo respiratorio de las lombrices decrece a bajas concentraciones de oxígeno y la alimentación puede reducirse en forma similar. Para suplir las necesidades de oxígeno aumentan al máximo el área superficial de los lechos.

2.7 TRANSFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN ABONO POR UN BIORREACTOR ANAERÓBICO ESTRICTO⁴

El Biorreactor es un sistema totalmente cerrado para la recepción y tratamiento de las aguas residuales, residuos agrícolas o de cualquier otro tipo de residuos orgánicos biodegradables, donde son convertidos en abono biológico formulado, libre de todo patógeno y genera un gas, llamado biogás, el cual se purifica hasta llevarlo a metano puro en la mayor proporción posible para ser utilizado en cualquier sistema de combustión, motores o cualquier otro tipo de equipo que opere con gas natural, incluyendo los vehículos particulares convertidos a gas, es importante anotar que el gas generado por este biorreactor es tal como el gas natural pues tiene un alto porcentaje de metano de no menos del 91% y su composición, poder calorífico etc. es casi idéntico a la del gas natural, debido a que se purifica hasta su punto óptimo.

El concepto *Biodigestor* es tomado de ésta actividad bacteriana para digerir una biomasa, sin embargo, el *Biodigestor* aunque funcionalmente opera con los mismos principios físico químicos del Biorreactor, lo hace de forma espontánea *sin control dedicado de sus variables*, operando conforme a las condiciones ambientales del momento, que pueden o no favorecer su proceso. Las bacterias por ejemplo, requieren de condiciones de temperatura, pH, otras, específicas para su crecimiento, reproducción y actividad, sin las cuales la biodigestión prácticamente se anula. El Biorreactor opera en condiciones de absoluto conocimiento de variables, lo que hace de él entregar su óptima eficacia y eficiencia.

⁴ EXTRACTADO DEL MANUAL DE BIORREACTORES. CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL PARA LA BIOTECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN LIMPIA. (CORPODIB).

Se distinguen dos tipos de proceso, en los Biorreactores:

BIORREACTOR DE BAJA CARGA: No se calienta ni se mezcla la biomasa, por lo que la eficiencia es mínima, dado que la temperatura no siempre es la apropiada y la homogeneidad de la biomasa se pierde. Los tiempos de retención, que son la base para el inicio de producción útil de gas, varían de 30 a 60 días, dependiendo del clima en donde estén instalados y las características de la biomasa. Se llaman de baja carga, pues su baja eficiencia no permite que sean cargados con volúmenes interesantes de biomasa al día.

BIORREACTOR DE ALTA CARGA: Se calienta y se mezcla (homogeniza) la biomasa en un proceso continuo, aumentando la eficiencia a tiempos de retención menores a 15 días, sin control automático de variables y con control automático de variables los tiempos de retención es de horas.

El principal proceso anaerobio para tratar aguas, lodos residuales y desechos sólidos industriales, domésticos y agrícolas es la digestión anaerobia. La digestión es básicamente una fermentación bacteriana por medio de la cual la materia orgánica es descompuesta, en ausencia de oxígeno disuelto, para producir una mezcla de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y un lodo estabilizado que puede ser usado como abono para el suelo en los cultivos agrícolas. La digestión anaerobia es un sistema multisustrato que lo llevan diferentes grupos de bacterias a saber, de las cuales hablaremos a continuación.

2.8 MICROORGANISMOS DE DEGRADACIÓN

En la digestión intervienen una gran variedad de microorganismos, cada uno ellos con una tarea específica. Los microorganismos forman entre sí una cadena alimenticia, que empieza con la hidrólisis del sustrato hasta la formación de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), ácido sulfhídrico (H₂S) y hidrógeno (H₂).

Las diferentes colonias se dividen según el sustrato utilizado en la cadena alimenticia, de esta forma las colonias son representativas de cada una de las etapas de la anaerobiosis.

Las diferentes clases de bacterias y la etapa a la que pertenecen se presentan a continuación:

Tabla 1. Clases de bacterias y etapas a la que pertenecen

ETAPA	BACTERIA
HIDRÓLISIS	Bacterias fermentativas
ACIDOGÉNESIS	Bacterias fermentativas
ACETANOGÉNESIS	Bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno. Bacterias homoacetogénicas. Bacterias sulfato reductoras
METANOGENESIS	Bacterias metano génicas

Fuente: Manual de biorreactores. Corporación para el Desarrollo Industrial para la Biotecnología y Producción Limpia. (CORPODIB).

Bacterias fermentativas. Estas bacterias son las responsables de las dos primeras etapas: la hidrólisis donde se lleva a cabo la degradación de polímeros (carbohidratos, aminoácidos y lípidos) en compuestos de bajo peso molecular (azúcares, aminoácidos, alcoholes, ácidos carboxílicos y compuestos aromáticos), esta degradación se lleva a cabo por medio de la acción de enzimas extracelulares de origen bacterial. Y la acidogénesis, su trabajo consiste en liberar enzimas que hidrolizan los compuestos complejos en pequeñas moléculas que pueden ser transportadas al interior de las células y transformados en acetato, butirato, propionato, etc.

Las dos primeras etapas de la digestión anaerobia se llevan a cabo más rápido que las dos subsecuentes. Esto se debe a la mayor velocidad de crecimiento de sus bacterias fermentativas, a la afinidad y adaptación del sustrato y a que sus productos pueden llegar a concentraciones inhibitorias para las bacterias. Este es el caso de los ácidos grasos volátiles que son el producto final de estas bacterias, que a altas concentraciones (60meq/l) ya son inhibitorias para las bacterias metanogénicas.

Las diferentes bacterias fermentativas pertenecen a los siguientes grupos:

- *Streptococos y Enterobacterias.*
- *Bacteroides.*
- *Clostridium.*
- *Butyrovibrio.*
- *Eubacterias.*
- *Bifidobacteria.*
- *Lactobacillum.*

En general estas bacterias necesitan CO₂ y ácidos orgánicos como fuentes de carbono, amonio como fuente de nitrógeno, cisteína o sulfuro como fuente de azufre, vitamina b, hemin y algunas sales minerales en especial sales de sodio.

Los productos finales del metabolismo de estas bacterias dependen tanto del tipo de sustrato como de las condiciones ambientales. En relación a lo último se da un gran énfasis en la regulación de la presencia de hidrógeno. Puesto que manteniendo una baja presión de hidrógeno se favorece termodinámicamente la formación de compuestos orgánicos tales como acetato, CO₂ y H₂. Si la presión parcial de hidrógeno se mantiene en niveles altos se logrará solamente la formación de productos tales como propionato y algunos ácidos orgánicos, lactato y etanol.

Bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno. Estas bacterias son encargadas de catabolizar el ácido acético, propiónico, alcohol y otros ácidos orgánicos en acetato y CO₂. Entre estas bacterias se encuentran:

- *Syntrophobacter woloni:* que degrada ácido propiónico en acetato, CO₂ y agua en unión con una bacteria consumidora de hidrógeno de la especie *Desulfovibrio*.
- *Syntrophomonas wolfei:* que utiliza ácidos grasos y los transforman en H₂ y acetato. Este tipo de bacteria se encuentra principalmente en el rúmen.

Algunas bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno trabajan en asocio con las bacterias metano génicas como el caso de algunas especies de *Desulfovibrio* y *Metanosarcina barkeri* degradando el ácido láctico en acetato, CO₂ y H₂.

Bacterias homoacetogénicas. Se caracterizan las bacterias hoamoacetogénicas por la utilización de CO₂ y H₂ para producir acetato que es uno de los mayores precursores para la formación de metano.

Dentro de las bacterias que se han logrado aislar se encuentran:

- *Clostridium thermoacetium*: que es capaz de crecer en ambientes de compuestos de solo un carbono.

- *Butyribacterium methylotrophicum*: que es una especie muy especial puesto que puede crecer en ambientes de componentes de múltiple carbono como hexosa, ácido láctico, piruvato o de componentes de un solo carbono como por ejemplo H₂/CO₂ o etanol/CO₂, para producir mezclas de acetato y butirato.

Bacterias sulfató reductoras. Esta clase de bacterias, como su nombre lo indica, reducen el sulfato a H₂S y utilizan también fuentes de carbono para producir acetato. Tienen gran afinidad por el hidrógeno, por lo que su presencia es competitiva con las bacterias metano génicas. La alta presencia de sulfatos en el efluente a tratar también es de carácter inhibitorio para las bacterias metano génicas por lo siguiente:

1. Las bacterias sulfató reductoras en presencia de sulfato, empiezan a competir con las bacterias metano génicas por el hidrógeno, las primeras para producir acetato y las segundas para producir metano.

2. A su vez la alta cantidad de sulfato y su consumo por parte de las bacterias sulfató reductoras.

Entre las bacterias sulfato reductoras más características se encuentran:

- *Desulfobacter postagei*.
- *Desulfobulbus propionicus*.
- *Desulfovibrio bacalatus*.
- *Dusulfuronons acetooxidans*.
- *Desulfirhabdos amnigens*.

Bacterias metanogénicas. Las bacterias metanogénicas pertenecen al grupo más primitivo de microorganismo presentes en el principio de la vida en la tierra. Están incluidas en el reino de las archeobacterias, debido a su diferencia en estructura celular con las eubacterias. Estas no tienen peptidoglicano en su pared celular.

Las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas y son capaces de utilizar determinados sustratos. Su característica anaerobia se debe a las condiciones existentes hace millones de años en la tierra, rica en CO₂, H₂, NH₃ y H₂S, por lo que estos compuestos son necesarios para su crecimiento. Las bacterias metanogénicas se dividen

en tres grupos: Metanobacteriales, Metanococcales y Metanomicrobiales que a su vez se subdividen en las familias y géneros.

Tabla 2. Bacterias metanógenas según su género

Metanobacteriales	Metanobacteriaceae	Metanobacterium
		Metanobrevibacter
		Metanococcus
Metanococcales	Metanococaceae Metanomicrobium	Metanococcus
Metanomicrobiales	Metanomicrobiaceae	Metanogenium
	metanosarcinaceae	Metanoesprillum
		metanosarcina

Fuente: Manual de biorreactores. Corporación para el Desarrollo Industrial para la Biotecnología y Producción Limpia. (CORPODIB).

Los géneros Metanosarcina y Metanosaeeto (principalmente Methanotrix) son los más importantes en los procesos anaerobios debido a que se encuentran en todos estos ecosistemas y además son la población predominante. Se caracterizan por su variedad en el uso de CO₂ y H₂, acetato, metano y metilaminas. A altas presiones de H₂ y concentraciones de formato se pueden inhibir total o parcialmente algunas, especies, aunque hay otras especies hidrogenofilicas que utilizan estos dos componentes. Su crecimiento es en forma de gránulas de 1 – m milímetros de diámetro, que están conformados por un número de células unidas, rodeadas por una pared gruesa.

El género Metanomaeta (principalmente Methanotrix) se usa como único sustrato para producir metano el acetato, tiene la ventaja de no ser inhibido por el hidrógeno y además tiene una enzima formato dehidrogenasa que degrada el formato a CO₂ y H₂ por lo cual, altas concentraciones de formato no son inhibitorias para este. Las bacterias metanogénicas se desarrollan en un ambiente con un potencial de reducción de –300 mV. Al comienzo del proceso en el biorreactor, después de la carga, los materiales contenidos atrapan bolsas de oxígeno. Por lo que no se podrá inicialmente producir buen gas, pues cuando hay contaminación de oxígeno en el biorreactor, las bacterias metanógenas no producen CH₄ y aunque se produzca biogás, es en mayor parte CO₂. La biomasa gastará este oxígeno en el curso de su tiempo de retención, empezando a cambiar la calidad del gas, hasta que llegue, por lo general a promedios del 60% al 70% de CH₄.

3. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LOS MUNICIPIOS DE PUENTE NACIONAL, LANDAZURI, BARICHARA Y CHARALA DEPARTAMENTO DE SANTANDER.

Para el desarrollo del proyecto se procede a realizar las visitas a cada uno de los municipios del estudio, conocer sus características principales, conocer los procesos de aprovechamiento de los residuos sólidos, realizar un diagnóstico de cada una de las plantas de compostaje y hacer el análisis de cada una de ellas.

MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL

3.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO.

Visión del Municipio: Visionamos a Puente Nacional en el año 2015 como un municipio modelo regional de desarrollo, destacando su vocación turística, agropecuaria y educativa; en armonía con el entorno ambiental, donde sus habitantes disfruten la vida y participen activamente con su talento en su progreso y bienestar.

Misión del Municipio: La estructura administrativa pretende promover el mejoramiento integral y continuo de la calidad de vida de la población, mediante el uso racional de los recursos, a través del diseño y ejecución de proyectos en los que se conjuguen elementos tecnológicos, políticos y financieros, comprometiéndolo el factor humano como eje central del cometido estatal.

Localización: El Municipio se halla ubicado al sur del departamento de Santander, con la cabecera municipal según punto arcefinio del Agustín Codazzi en las coordenadas E=1044898.046, N=1146048.224 y H=2069.41 msn, a una distancia de 219 Km. su capital Bucaramanga y 157 Km. de Bogotá D. C., hace parte de la provincia de Vélez cuya capital es el municipio de Vélez, limita políticamente con los siguientes municipios: por el norte con Guavatá y Barbosa, por el oriente con Moniquirá y Santa Sofía que pertenecen al Departamento de Boyacá, por el sur con Saboyá en el Departamento de Boyacá, y por el occidente con Albania y Jesús María en el Departamento de Santander. La cabecera municipal está situada a 1.625 metros sobre el nivel del mar, tiene una temperatura media de 19 grados centígrados e hidrográficamente el municipio se localiza sobre la cuenca del Río Suárez.

Área: El Municipio de Puente Nacional tiene una extensión territorial de 248,39 km².

Clima: Por las condiciones topográficas y localización sobre la Cordillera Oriental, presenta diferentes climas, distribuidos de la siguiente manera: el 39% clima templado, el 52% clima frío y el 9 % páramo.

Geomorfología: El Municipio está ubicado en la Región Andina, la estratigrafía de la zona corresponde a un relleno de sedimentos del Mesozoico y Cenozoico, de importante relevancia están las características del cretácico, formación que constituye la mayor parte del territorio y caracterizado por presentar suelos predominantemente desarrollados sobre

lutitas con ínter estratificaciones de caliza y arenisca. (Formación Paja, Tablazo - San Gil Inferior, Simití y Areniscas de Chiquinquirá).

Por sus características agro ecológicas, presenta dos subregiones naturales bien diferenciadas: La montaña santandereana y la Hoya del Río Suárez.

La montaña santandereana representada por tierras de cordillera, de altiplanicie y abanicos disectados, relieve regularmente quebrado con pendientes entre el 25% y el 50%, cubre el 85% del área del Municipio.

La Hoya del Río Suárez, que constituye el restante 15%, posee planicies aluviales de piedemonte y altiplanicies, cuyo relieve es ligeramente ondulado con pendientes entre el 12% y el 25%.

En las subregiones se encuentran: alturas que oscilan entre 1.650 y 3.300 m.s.n.m., con deslizamientos en algunos casos traslacionales y en otros rotacionales.

La precipitación media anual es de 2.000 mm, la humedad relativa varía entre el 73% y el 90%, caracterizando el municipio como húmedo y muy húmedo; la evapotranspiración media anual es de 1.051 mm.; el promedio de brillo solar es de 1.824 horas anuales, con una cantidad máxima de radiación diaria de 7,2 horas y una mínima de 3,7 horas.

Hidrografía: El sistema hidrográfico del Municipio lo componen: los ríos Suárez y Cuchinero; las quebradas: Los Limos, Aguafria, La Coja, El Salitre, La Sorda, Los Micos, El Molino, El Palmar, El Cordoncillo, La Toruna, Los Castillos, El Hato, El Guamal, La Otero, La Honda, La Laja, La Angula, La Villamil, La Gorgona, Los Fiques, Los Azahares, La Azufral, La María, La Jarantivá, Aguablanca, La Negra, La Jarantivá, La Cantana, La Chochana, La Colorada, La Salitre, Las Flores, La Corredora, La Honda, El Castillo, La Caña, Pinchote, El Vivero y la Chorrera.

Población: La población estimada por el DANE para el año 2003, es de 18.889 habitantes, de los cuales 5.562 pertenecen al sector urbano y 13.327 al rural, existen 1.191 viviendas en el área urbana y 2.494 en el resto.

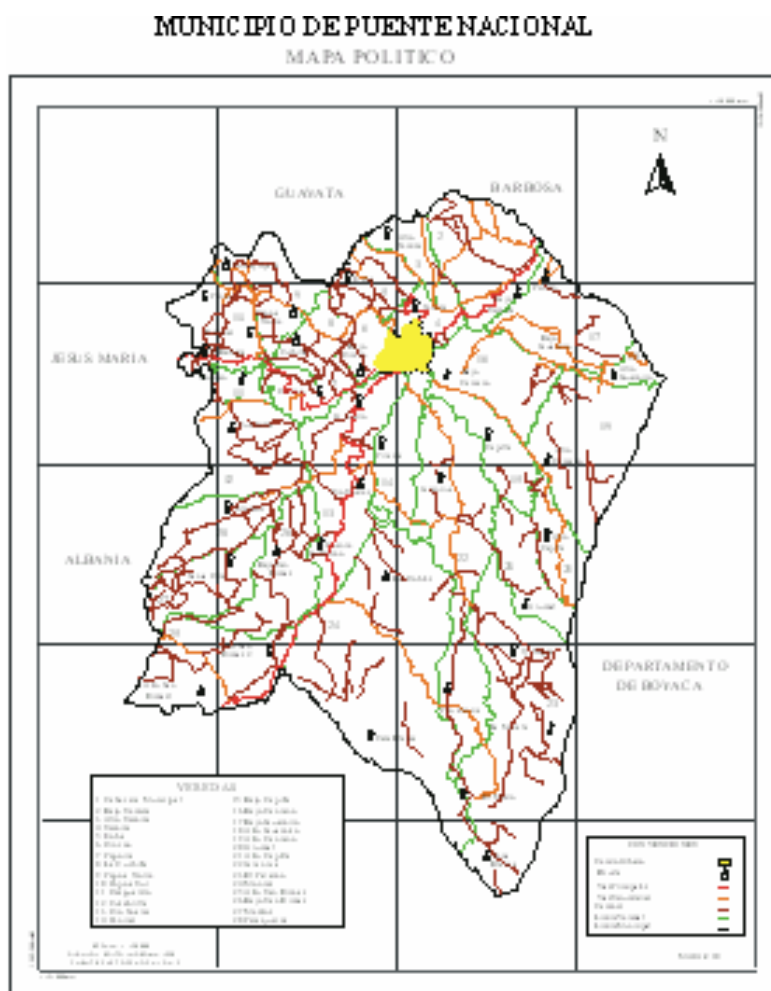
División Político Administrativa: El área rural del municipio está compuesta por 27 veredas: Irobá, La Cuchilla, Popoa Norte, Popoa Sur, Rincón, Popoita, Resguardo, Culebrilla, Petaqueros, Medios Santa Rita, Río Suárez, Peñitas, Bajo San Dimas, Alto San Dimas, Monte, Páramo, Jarantivá, Urumal, Alto Capilla, Capilla, Alto Cantano, Bajo Cantano, Bajo Guamito, Alto Guamito, Bajo Semisa, Alto Semisa, Semisa.

EMSERPUNAL: El servicio público de aseo es prestado por la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios EMSERPUNAL E.S.P., creada mediante acuerdo municipal No. 016 del 16 de septiembre de 1999, y puesta en operación el 1º de febrero del 2000, se encarga de la administración y prestación del servicio de acueducto alcantarillado y aseo. Cuentan para ello con diez funcionarios, distribuidos así: en la parte Operativa; Cuatro operadores de planta, un fontanero, un corredor de línea. En la parte administrativa; El Gerente, El jefe de la unidad administrativa y financiera, la secretaria y el Auxiliar Administrativo.

Esta a cargo de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, administra y opera la planta de compostaje, para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, convirtiéndola en una solución regional ya que se presta el servicio a los municipios de Vélez, Guavatá, Monquirá y Jesús María, esta a cargo del relleno sanitario payande donde se disponen los residuos inorgánicos. Para prestar el servicio de aseo se contrato a una empresa asociativa de trabajo la cual suministra la mano de obra necesaria para dicha prestación del servicio.

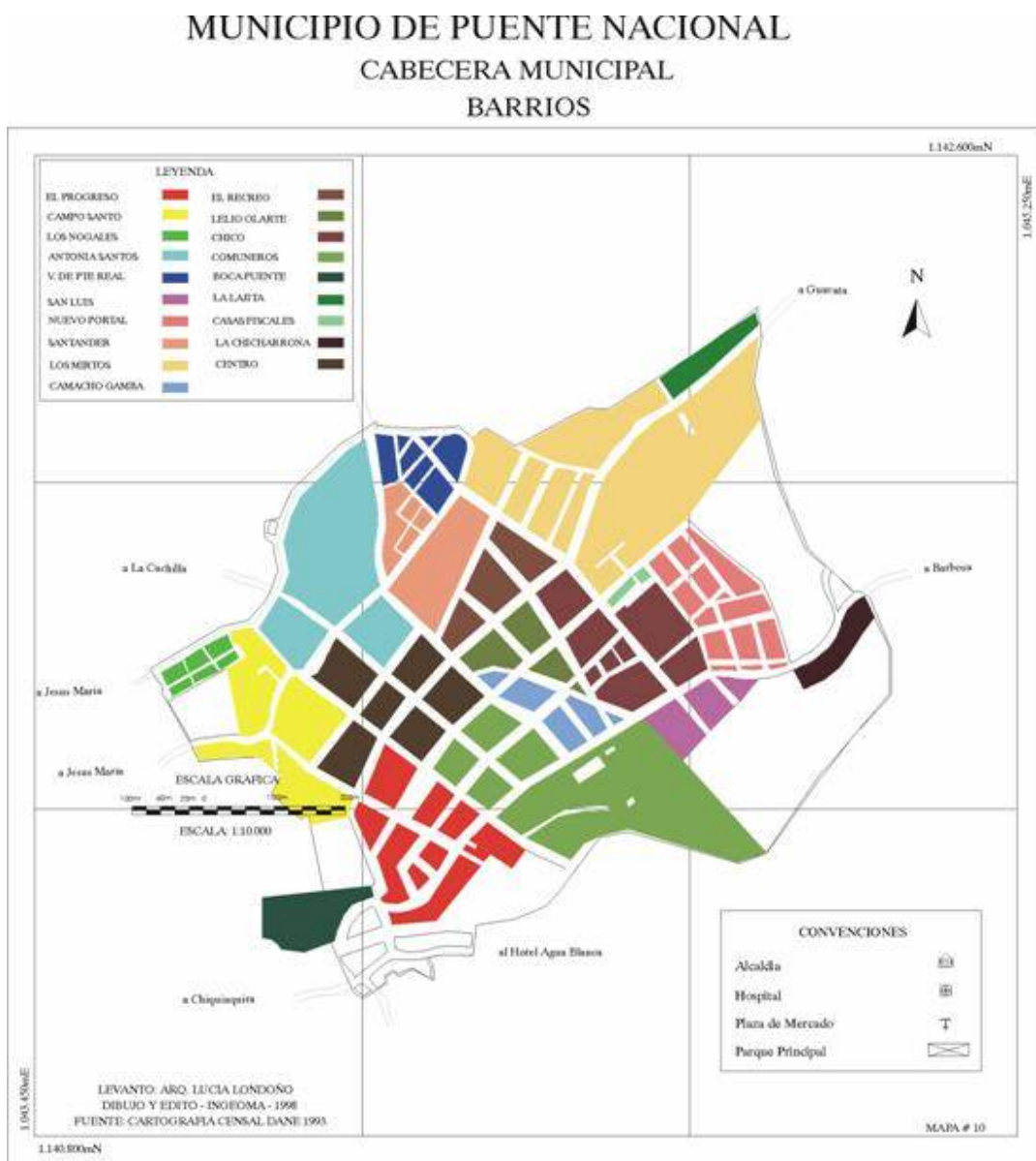
El servicio de aseo fue asumido por la empresa a partir del mes de septiembre del año 2002, incluyendo la Planta de Compostaje y el Relleno Sanitario; para lo cual se contrataron 13 operarios por intermedio de la empresa asociativa de Trabajo Aseo de Puente Nacional, para realizar el barrido, la recolección y la disposición final de los residuos sólidos en puente Nacional.

Figura 2. División Política Administrativa Puente Nacional



El área urbana está dividida en 19 barrios: Antonia Santos, Boca Punte, Camacho Gamba, Lelio Olarte, Nogales, Nuevo Portal, Campo Santo, Casas Fiscales, Centro, Comuneros, Chico Chircal, El Recreo, La Lajita, Progreso, Santander, San Luis, Villas de Puente Real, Chicharrona y Juan Pablo II.

Figura 3. División Político Administrativa Sector Urbano Puente Nacional



En el municipio de Puente Nacional se realizó un proceso de educación a la comunidad en cuanto a la selección de los residuos sólidos en la fuente desde el año 1998, por medio de folletos y stickers informativos haciendo campañas puerta a puerta con la ayuda de los estudiantes de once grado de los colegios Normal Antonia Santos, Instituto Técnico Industrial y Colegio Aurelio Martínez Mutis dentro de las ochenta horas de acción social que deben cumplir, logrando inducir en las personas un comportamiento de realizar una correcta selección en la fuente de los residuos sólidos, haciéndolo por días de la siguiente forma:

- El día lunes los residuos generados en la plaza de mercado,
- El día martes y viernes se recogen los residuos sólidos orgánicos.
- El día miércoles los residuos sólidos inorgánicos.
- El día jueves los residuos sólidos reciclables.

Figura 4. Publicidad campañas selección en la fuente de residuos sólidos en Puente Nacional.



Con la selección en la fuente por parte de los usuarios del servicio público de aseo se estableció la caracterización de los residuos generados en el municipio, tanto del total de residuos como por tipo de residuos generados y se obtuvo las siguientes cantidades de residuos, información suministrada por EMSERPUNAL:

Tabla 3. Total residuos generados en el municipio de puente nacional

GENERADOR	Kg/día	Kg/sem	Kg/mes	Kg/año
RESIDENCIAL	850.08	5950.54	23802.15	285625.78
COMERCIAL	17.52	122.67	490.67	5888.00
INSTITUCIONAL Y OFICIAL	1667.16	11670.09	46680.36	560164.36
BARRIDO DE CALLES	370.29	0.00	10368.00	124416.00
RECICLAJE / RECICLADORES	36.64	256.50	1026.00	12312.00
SUBTOTAL:	2941.68	20591.79	82367.18	988406.14
FACTOR DE CORRECCION : EVENTOS PICOS: FERIAS, FESTIVOS Y SEMANA SANTA DEL AÑO	16,667 por ciento			
TOTAL:	3432.06	24024.45	96097.79	1153173.44

Tabla 4. Producción diaria según tipo de residuos sólidos en puente nacional

PRODUCCIÓN DIARIA SEGÚN TIPO DE RESIDUO SOLIDÓ EN PUENTE NACIONAL							
GENERADOR	M. ORGANICA		M. RECICLABLE		M. INERTE		TOTAL RSU día
	Kg/día	%	Kg/día	%	Kg/día	%	Kg/día
ESTRATO 1	66.32	76.23	2.36	2.71	18.32	21.06	87.00
ESTRATO 2	225.04	71.28	15.42	4.88	75.24	23.83	315.70
ESTRATO 3	320.44	71.63	33.28	7.44	93.66	20.93	447.38
SUBTOTAL:	611.80	71.97	51.05	6.01	187.22	22.02	850.08
COMERCIAL	13.24	75.54	0.95	5.43	3.3333	19.02	17.52
INSTITUCIONAL Y OFICIAL	708.35	42.49	615.44	36.92	343.37	20.60	1667.16
BARRIDO DE CALLES	0.00	0.00	0.00	0.00	370.29	100.00	370.29
RECICLAJE / RECICLADORES	0.00	0.00	36.64	100.00	0	0.00	36.64
TOTAL:	1333.39	45.33	704.09	23.93	904.21	30.74	2941.68

Figura 5. Producción total en Puente Nacional



Con los datos anteriores y conociendo la cantidad de usuarios y de habitantes en el municipio se establece la PPC para el municipio de Puente Nacional por kilogramo – habitante – día, para el total de los residuos.

2.9 CALCULO DE LA PPC Kg./hab.-día

$$\text{PPC (Kg./usuario-día)} = \frac{\text{PRODUCCION DIARIA PUENTE NACIONAL}}{\text{N° DE VIVIENDAS TOTAL URBANA DEL MUNICIPIO}}$$

$$\text{PPC (Kg./usuario-día)} = \frac{3432,06 \text{ Kg.}}{1255 \text{ usuarios}}$$

PPC = 2,73 (Kg./usuario-día)

$$\text{PPC (Kg./hab.-día)} = \frac{\text{PRODUCCION DIARIA DE PUENTE NACIONAL}}{\text{POBLACION TOTAL URBANA DEL MUNICIPIO}}$$

(Población proyectada del DANE Año 2005 para Puente Nacional: 5666 habitantes)

$$\text{PPC (Kg./usuario-día)} = \frac{3432,06 \text{ Kg.}}{5666 \text{ habitantes}}$$

PPC = 0,6 (Kg./hab.-día)

4. PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN PUEBLO NACIONAL

Para aprovechar los residuos orgánicos, se compró un terreno de nueve hectáreas en el predio “El Recuerdo” de la Vereda Semisa, ubicada a cinco kilómetros al nororiente del casco urbano del Municipio, donde construyó una planta de tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, con el fin de transformarlos en compostaje, para esta planta se adquirió una maquinaria sin tener en cuenta la cantidad de residuos orgánicos generados por el Municipio, lo cual implicó que la maquinaria adquirida es de una capacidad superior a los residuos a procesar.

En la construcción de la obra civil, la zona de compostaje era a cielo abierto, no existían canales recolectores de lixiviados, ni tenía una zona de secado, lo que indica que no se tenía conocimiento en cuanto a la transformación de los residuos orgánicos en compostaje; días después puesta en marcha la planta, la comunidad empezó a manifestar inconformidades por la generación olores indeseables y proliferación de insectos. Estos problemas se presentaron porque las pilas de compostaje no estaban protegidas de la lluvia y el Municipio tiene una precipitación anual de 2000 mm, es decir se caracteriza por ser húmedo, causando que las pilas se volvieran como lodos y se estaba contaminando el suelo por lixiviados al no tener canales recolectores; estos inconvenientes llevaron a la administración a solicitar asesoría en cuanto al proceso realizado en la planta. Producto de esta asesoría se colocaron techos a la planta, se implementaron unos canales de lixiviados que los conduce a un tanque de almacenamiento y se colocaron trampas mecánicas para controlar insectos.

En la administración del Alcalde Yuri Heltmhur García Torres hubo continuidad del proceso y se construyó una nueva zona de compostaje, una zona de secado, se implemento un equipo de inyección de aire el cual es utilizado para airear las pilas. Con asesoría de la Corporación Autónoma Regional CAS se regionalizó la planta, dialogando con las administraciones de los municipios aledaños para procesarles los residuos sólidos orgánicos, así aprovechar la capacidad que tiene la maquinaria. A pesar de los esfuerzos realizados por las anteriores administraciones, se puede mejorar la planta en cuanto a su diseño y operación, por esta razón se planteó este proyecto.

En la actualidad a la planta llegan solo residuos orgánicos, lo cual indica que las campañas de sensibilización ambiental han continuado, permitiendo que siga funcionando adecuadamente el programa de clasificación en la fuente.

En el Municipio de Pueblo Nacional, se cuenta con una Planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, con licencia de funcionamiento aprobada mediante resolución No 01146 del 30 de agosto de 1999 expedida por la CAS, fue puesta en funcionamiento a partir de agosto del año 2001 con muy buenos resultados ya que en la actualidad es una solución regional para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de los municipios de Vélez, Guavata, Santana, Pueblo Nacional, Parte de Moniquirá y Jesús María, prestando el servicio a la provincia de Vélez en Santander y a la provincia de Ricaurte en Boyacá.

Figura 6. Tolva de recibo y alimentador a banda transportadora.



Luego los residuos pasan por una banda transportadora donde se encuentran operarios haciendo una preselección para evitar la entrada de material inorgánico al proceso. (Ver figura 7).

Figura 7. Banda transportadora



En la parte final del recorrido por la banda transportadora se adiciona "Agroplus", inculo producido por la FUNDACIÓN DE ASESORÍA PARA EL SECTOR RURAL (FUNDASES). El Agroplus es un cultivo líquido de microorganismos compuesto por diversas especies de bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos, para acelerar el proceso de descomposición, su color es amarillo, olor a fermento y su pH oscila entre 3.5 - 4.5. Este cultivo se encuentra en dos tanques plásticos con capacidad de 1000 litros cada uno. (Ver figura 4).

Figura 8. Tanques de almacenamiento de Agropilus y adición a los RSO



Para el sostenimiento del cultivo de microorganismos se suministra alimento cada vez que el contenido del tanque se reduce a la mitad, aproximadamente cada 5 días; adicionando agua y sustrato hasta completar el volumen del tanque. Este sustrato está compuesto por un derivado de la leche, melaza, soya o alguna otra harina y yogurt natural. El tanque es oxigenado con un aireador y cada tres días lo agitan.

Una vez son preseleccionados e inoculados los residuos, pasan a un tornillo sin fin que los transporta a una trituradora donde son molidos a un tamaño que oscila entre 2.0 y 2.5 cm. y posteriormente son recibidos en una carretilla manipulada por un operario y llevada a la zona del proceso. Esta es una de las variables que se controlan dentro del proceso logrando un tamaño de partícula adecuado para acelerar el proceso de compostación (Ver figura 9).

Figura 9. Tornillo sin fin y triturador



En la zona de fermentación, maduración y estabilización se encuentran pilas estáticas con aireación forzada, donde cada pila tiene una capacidad de almacenar 3,6 toneladas equivalentes a un volumen 18 m^3 . La planta esta divida en dos zonas: La primera tiene siete pilas una capacidad de almacenamiento de 25,2 toneladas y la segunda posee 8 pilas y almacena 28,8 toneladas. La capacidad total de la planta con sus 15 pilas es 54 toneladas con un volumen de 270 m^3 . (Ver figura 10).

Figura 10. Zona de maduración



El sistema de inyección de aire caliente consiste en un horno alimentado por carbón coke, el cual esta conectado a una red de tuberías en PVC de alta densidad por las cuales se inyecta aire a las pilas estáticas. (Ver Figura 10).

Figura 11. Ventilador y Generador de aire caliente



Luego pasan a la zona de secado esta compuesta por un falso fondo donde se inyecta aire caliente para lograr una humedad adecuada al producto para poder ser comercializado (Ver figura 12).

Figura 12. Área de secado con inyección de aire caliente.



Terminado el proceso de secado de los residuos pasan por una cribadora, mecánica la cual cuenta con tres tolvas de salida dos para el producto terminado y una para la salida del producto que no cumple con el tamaño de partícula y los residuos inertes que pasan a través de todo el proceso y no han sido retirados. (Ver figura 13).

Figura 13. Cribado y empaque del producto final



El producto final es pesado y comercializado en bultos de aproximadamente 30 kilos y en empaques para ventas en supermercado de 5 kilos, luego es almacenado en una bodega debidamente techada y sobre estibas para evitar la humedad del suelo; el producto es comercializado y presenta una muy buena demanda dentro del municipio y en municipios vecinos. (Ver Figura 14).

Figura 14. Presentaciones mejorador de suelos afat



Para el manejo de los lixiviados se cuenta con unos canales recolectores construidos en cemento, que conducen el líquido percolado generado por la descomposición del material orgánico a un reactor biológico en el cual se estabilizan, se homogenizan los lixiviados para ser recirculados dentro del proceso de maduración regándolos sobre las pilas para mantener la humedad y acelerar el proceso de compostación, además de que se comercializan como abono líquido para cultivos pero es necesario hacerles dilución con agua.(Ver figura 15).

Figura 15. Tanque de almacenamiento de lixiviados



Una vez realizado todo el proceso de maquila es necesario lavar toda la maquinaria y todo el área de proceso por lo cual el agua de lavado es tratada en un pozo séptico que contiene una trampa de grasa, un sedimentador y un reactor biológico que a su vez, el desagüe esta conectado a un campo de infiltración de 160 metros lineales y de esta manera no producir aguas de escorrenteria y no contaminar. (Ver Figura 16).

Figura 16. Pozo séptico para tratamiento aguas de lavado



Una vez conocido el diagnóstico de la forma como se aprovechan los residuos orgánicos en la planta de compostaje se procedió a obtener la información necesaria de la empresa EMSERPUNAL en cuanto a la cantidad de residuos procesados, la cantidad de energía consumida, la cantidad de insumos utilizados en el proceso, el costo de personal, el costo de los insumos, la cantidad de producto comercializado, el valor del producto vendido, etc., y de esta manera realizar los balances de materia, energía, económico, con el fin de poder establecer si hay viabilidad en el proceso productivo tanto económicamente como de funcionamiento.

4.1 BALANCE DE MATERIA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL

Cantidad de residuos procesados:

Municipio de Vélez: 10 toneladas/semanales = 40 toneladas/mes = 1.333.33 kg/día

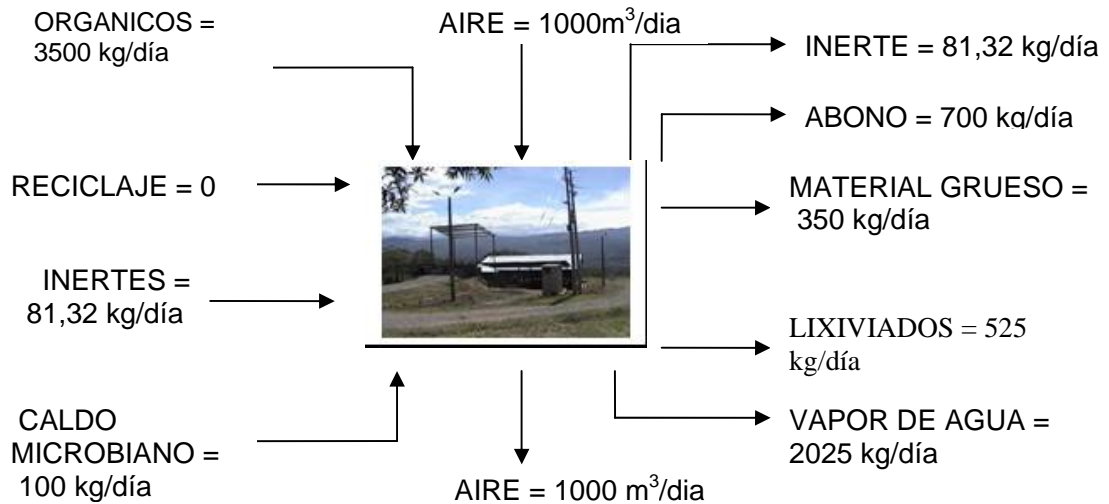
Municipio de Guavata: 2,86 toneladas/semana = 11,44toneladas/mes = 381,33 kg/día

Municipio de Santana: 4 toneladas/semana = 16 toneladas/mes = 533,33 kg/día

Municipio de Puente nacional: 10 toneladas/semana = 40toneladas/mes = 1333.33 kg/día

Total procesadas: 3581,32 kg/día

Figura 17. Balance general de materia puente nacional



Del balance de materia se obtiene que la planta de compostaje de Puente Nacional procesa 3500 kilogramos por día de materia orgánica previamente seleccionada en la fuente y sin embargo llegan a la planta un total de 81,32 kilogramos por día de material inerte y en promedio se están agregando 100 kilogramos por día de caldos microbianos para acelerar el proceso de compostaje y lograr reducir los tiempos de producción del mejorador de suelo.

Se le inyectan un total de 1000 metros cúbicos por día de aire forzado por medio de un ventilador de tiro inducido para lograr mantener la cantidad de oxígeno necesaria dentro de las pilas de compostación y asegurar un proceso aeróbico de descomposición de tal forma que se minimicen los olores generados por la descomposición.

Los residuos inertes que ingresan, se retiran durante todo el proceso de producción y salen en la misma cantidad como residuos inertes y son dispuestos en el relleno sanitario. Se generan 700 kilogramos por día de mejorador de suelos logrando una transformación del 20% a partir de los residuos sólidos orgánicos que ingresan; de igual manera se están generando 350 kilogramos por día de material grueso el cual se reprocesa para que cumpla con el tamaño de partícula adecuado para su comercialización.

Durante el procesamiento de los residuos orgánicos se generan 525 kilogramos por día de lixiviados que son líquidos que se generan por lixiviación de las pilas de compostación que se encuentran en forma piramidal los cuales son excelentes caldos nutritivos los cuales deben ser caracterizados y estabilizados para su comercialización.

Por último se generan 2025 kilogramos por día de vapor de agua ya que una vez los residuos orgánicos pasan por el proceso de fermentación se procede a realizarles un secado por medio de un deshidratador por aire caliente donde se utiliza aire que es calentado por medio de una hornilla cuyo combustible es carbón coque y con ayuda de un

ventilador se hace pasar a través de un lecho de secado logrando que se evapore toda el agua restante que presenta el compost, con la finalidad de lograr una humedad adecuada para su comercialización.

Durante todo el proceso desde la misma recolección se esta perdiendo vapor de agua ya que los residuos orgánicos presentan un 52% de agua en su estructura y por tal motivo se generan 1885 kilogramos de vapor de agua por día que van a la atmósfera.

Se utilizan 400 metros cúbicos de aire por día para el proceso de aireación de las pilas y así poder mantener en buena condición aerobia los microorganismos encargados de acelerar la descomposición de los residuos.

Se utilizan para el proceso de secado 600metros cúbicos por día de aire que es calentado a través de la hornilla y el carbón coque, los cuales salen a la atmósfera saturados de agua.

Se observa que dentro del proceso no se presentan productos reciclables gracias a la buena selección en la fuente realizada en los diferentes municipios.

Se observa que la cantidad de residuos inertes generados es pequeña equivaliendo a una correcta selección en la fuente por parte de los usuarios y su finalidad es poder no generar ningún tipo de estos residuos en el proceso.

La planta de tratamiento y aprovechamiento de residuos orgánicos de Puente Nacional tiene algo particular para el control biológico, consistente en la utilización de gallinas para que mantengan controlada la larva del mosco que se presente aparte de que las áreas de producción están encerradas con mallas para evitar entrada de insectos.

La maquinaria tiene una capacidad teórica para procesar 2 ton./hora de residuos sólidos orgánicos. Para el proceso se dispone de un operario en la tolva, uno que manipula los controles eléctricos, luego encontramos 3 o 4 operarios en la banda transportadora y otro que recibe los residuos triturados para disponerlos en la zona de compostaje en las carretillas. El personal no es calificado, son campesinos de la zona aledaña a la planta, que reciben instrucciones.

En la actualidad se están procesando los residuos sólidos orgánicos de los siguientes municipios:

1. Municipio de Velez en cantidad aproximada de 10Ton/semana
2. Municipio de Guavata en cantidad aproximada de 3Ton/semana.
3. Municipio de Jesús Maria en Cantidad aproximada de 3Ton/semana.
4. Municipio de Puente Nacional en cantidad aproximada de 10Ton/sem.

Es importante establecer que para poder seguir regionalizando la planta, y recibirle residuos orgánicos a municipios como Barbosa, Moniquirá etc. se necesita ampliar las zonas de maduración o compostación y el área de bodegaje.

Es necesario adquirir un molino de trituración para el producto final ya que en la actualidad se esta triturando con el molino inicial de trituración haciendo lenta la operación

ya que todo el material una vez seco es llevado por carretilla y operador a este molino incrementando la mano de obra y el costo final del producto.

Como el horno de calentar el aire es a base de carbón coque pero este carbón incremento su precio en un 500%, se hace necesario realizar un estudio para la utilización de otro combustible ya sea gas natural o diesel que haga menos costoso el proceso de secado del producto final, con la utilización de un intercambiador de calor.

Es necesario continuar con la construcción del parque ecológico de la guayaba en el lote donde actualmente funciona la Planta de compostaje, para beneficio del sector y que los visitantes tengan la opción de un paseo ecológico pasivo.

4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL

Se presentan a continuación un análisis económico de conformidad a los datos suministrados por EMSERPUNAL E.S.P. entidad encargada de la operación y funcionamiento de la planta de compostaje por lo cual se presenta el estado de resultados y el balance de causación de la planta para el año 2005.

Tabla 5. Estado de resultados de la planta de compostaje de puente nacional

DICIEMBRE 31 DE 2005 (Cifras en miles de pesos)		
Cuentas		
INGRESOS		47,880
INGRESOS PLANTA	47,880	
Ingresos venta Mejorador de suelos	18,000	
Ingresos Disposición final otros Municipios	19,200	
Ingresos por Tarifas	10,680	
GASTOS		47,480
GASTOS DE FUNCIONAMIENTO	26,480	
Personal asociado a la nomina administrativa	2,000	
Personal operación planta compostaje	24,480	
GASTOS OPERACIONALES	21,000	
Insumos	4,200	
Mantenimiento	3,600	
Energía Electrica	9,600	
Energía Carbon Coque	3,600	
UTILIDAD DEL EJERCICIO		400

Fuente: Emserpunal.

El estado de resultados (estado de pérdidas y ganancias) se establece para el año 2005 y presenta ingresos por venta del mejorador de suelos en presentación de bultos de aproximadamente 30 kilos, con un costo por bulto de \$4.000; pero es de aclarar que únicamente se están comercializando la mitad del mejorador de suelos producido debido a que el municipio tiene convenio con los productores orgánicos del municipio en subsidiarles parte del abono que ellos utilizan en sus cultivos y otra parte debe ser donada a las fincas vecinas de la planta de la vereda alto semisa, como regalía por encontrarse funcionando la planta en esa vereda; también apoya con donaciones a los colegios rurales o potsprimarias con vocación agropecuaria para sus proyectos productivos y los SAT o bachillerato rural; e igualmente apoya proyectos productivos agropecuarios de madres comunitarias.

Otros ingresos por prestar la disposición final de residuos orgánicos a otros municipios cercanos y un ingreso derivado del cobro por tarifas dentro del costo por disposición final de residuos sólidos.

Presenta unos Gastos de funcionamiento por nomina asociada a la parte administrativa y se deriva de un porcentaje de la nómina que se paga en la parte administrativa equivalente a los costos asociados a los gastos administrativos que incurre la planta de compostaje para su correcto funcionamiento; también presenta gastos de funcionamiento asociados al personal para asegurar la operación de la planta y su correcto funcionamiento.

En los gastos operacionales se presentan por insumos necesarios para el correcto funcionamiento de la planta como es los insumos de los caldos microbianos, los de seguridad industrial y del proceso; otros gastos en mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento de la maquinaria pues es una operación que no puede parar mas de tres días; y los gastos asociados al consumo de energía que vienen representados por los consumos de energía eléctrica para el funcionamiento de los motores de la banda transportadora, la picadora, el ventilador y la zaranda de selección final del producto y los consumos de carbón coque para el sistema de secado por aire caliente.

Se obtiene una utilidad del ejercicio por valor de \$400.000 para el año 2005 lo que indica que se hace económicamente viable el proceso pero hay que tener en cuenta que es de suma importancia mantener la regionalidad de la planta para obtener los recursos necesarios por disposición final de residuos de los municipios cercanos y se debe procurar adecuar y optimizar la planta para lograr incluir en esa disposición final a otros municipios como Barbosa y Moniquira, de igual manera realizar un estudio de mercado con el fin de ajustar el precio de venta del producto y procurar comercializar la otra presentación de jardín con unos mejores dividendos por esta venta.

Tabla 6. Balance general de la Planta de Compostaje Puente Nacional

**BALANCE GENERAL PLANTA DE COMPOSTAJE PUENTE NACIONAL
DICIEMBRE 31 DE 2005
(Cifras en miles de pesos)**

ACTIVO		PASIVO	
CORRIENTE	900	CORRIENTE	0
EFFECTIVO	800	Operaciones de Credito	0
Caja	800	Obligaciones Financieras	0
Rentas por Cobrar	0	Cuentas por pagar	0
DEUDORES	0	Obligaciones laborales	0
Cuentas por cobrar	0	Pasivos estimados	0
INVENTARIOS	100		
Materiales prestación del servicio	100	NO CORRIENTE	0
		Cuentas por pagar	0
NO CORRIENTE	332,700	Obligaciones laborales	0
PROPIEDAD PLANTA Y EQUIPO	332,700	TOTAL PASIVO	0
Terreno	80,000		
Maquinaria y Equipo	250,000	PATRIMONIO	333,600
Depreciación Acumulada	2,700	CAPITAL SOCIAL	333,200
		UTILIDAD DEL EJERCICIO	400
TOTAL ACTIVO	333,600	TOTAL PATRIMONIO	333.600
		TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO	333,600

Fuente: Emserpunal.

En el balance encontramos que se encontraban a 31 de diciembre del año 2005 \$800.000 en caja, en materiales para la prestación del servicio la suma de \$100.000, el terreno avaluado en \$80.000.000 y la maquinaria y equipos existentes en \$250.000.000, una depreciación de \$2.700.000, para un total de activos \$333.600.000.

En cuanto a los pasivos no se presentan y un patrimonio de \$333.600.000 representados en capital social y utilidad, indicando un equilibrio: Activo igual al Pasivo más el Patrimonio.

Analizando la información anterior se observa que la planta de compostaje del municipio de Puente Nacional, cuenta con una viabilidad económica pues tiene ingresos por \$ 3.990.000 pesos mensuales equivalentes al cobro por disposición final de residuos sólidos orgánicos a razón promedio de \$25.000 por tonelada dispuesta en la planta de

compostaje, un valor de venta del bulto de mejorador de suelos producido, de aproximadamente 30 kilos a razón de \$ 4.000 establecido por la junta directiva de la Empresa Emserpunal y por vía de las tarifas se esta cubriendo para esta disposición final la suma de \$ 890.000 mensuales, que en promedio equivale a 100 usuarios del servicio de aseo de los 1250 con que cuenta la totalidad del servicio haciendo viable dichos ingresos; por el otro lado posee unos gastos por \$ 3.956.667, mensuales, equivalentes a los operadores que se contratan por jornales a razón de \$13.000 por día establecido por la junta directiva de la Empresa Emserpunal y los dos celadores con que cuenta la planta uno para el turno de día y el otro para el turno de la noche a razón de \$500.000 por mes lo que nos indica que mensualmente se están contratando 80 jornales diarios que benefician a los habitantes de la vereda Alto Semisa donde esta construida la planta de compostaje.

Los insumos equivalen a las dotaciones necesarias en la planta para la producción, el sustrato para la producción de microorganismos y las herramientas necesarias para la operación.

El mantenimiento equivale a lo realizado sobre la maquinaria, las instalaciones y la infraestructura propia de la planta de compostaje.

La energía equivale a lo cancelado a la empresa de energía de Santander mensualmente por el servicio.

Por ultimo el valor del carbón coque equivale a lo utilizado en el calentamiento del aire para el secado del producto final y lograr obtenerlo con una humedad adecuada para la comercialización.

4.3 ANÁLISIS FISICO QUIMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL

Para conocer la calidad del producto y analizar el proceso productivo se realizaron los análisis de laboratorio de las muestras de producto tomadas en la planta de compostaje, desde el inicio cuando llega el producto fresco y semanalmente se tomaron dos muestras logrando tener una secuencia de la evolución o maduración del producto dando los siguientes resultados:

4.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Para analizar, evaluar y garantizar la correcta producción del mejorador de suelos se procede a realizar unos análisis fisicoquímicos de la materia prima, del producto en proceso y del producto final con el fin de establecer la eficiencia del proceso y la calidad del producto final, para lo cual se contrato por parte de la Empresa de Servicios públicos Domiciliarios de Puente Nacional EMSERPUNAL E.S.P. con el laboratorio PSL PROANALISSI LTDA con Nit 800.193.010-3 localizado en la carrera 14 No 55 – 18 de Bucaramanga para que realizara las siguientes pruebas, utilizando los métodos validados por la legislación colombiana.

El laboratorio esta autorizado por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA para análisis fisicoquímico de alimentos, Resolución 00921, mayo de 2001.

Laboratorio inscrito al Sistema Nacional Ambiental (SINA) del Ministerio del Medio Ambiente y en proceso de Acreditación ante el IDEAM y la Superintendencia de Industria y Comercio, Participante en programas de pruebas de ínter laboratorios.

Laboratorio autorizado por la Secretaria de Salud Departamental de Santander para análisis de Alimentos y aguas para consumo humano cod. 6800109109.

Tabla 6. Métodos de análisis pruebas de laboratorio

PARAMETRO	METODO DE ANÁLISIS
PH	NORMA ICONTEC 684
TEXTURA	GRANULOMETRIA
HUMEDAD	NORMA ICONTEC 529
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	S.M.5310 – C Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
NITRÓGENO	S.M. 4500 NT.B Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
FÓSFORO	NORMA ICONTEC 233 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
HIERRO	S.M. 3500 Fe
ZINC	NORMA ICONTEC 954 Y/O S.M. 3500 – Zn
MANGANESO	S.M. 3500 – Mn
COBRE	NORMA ICONTEC 627 Y/O S.M. 3500 – Cu
CAPACIDAD INTERCANBIO IONICO	NORMA ICONTEC 712 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
POTASIO	NORMA ICONTEC 202 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
CALCIO	S.M. 3500 – Ca
MAGNESIO	NORMA ICONTEC 643

Fuente: Proanálisis Ltda.

Las pruebas de temperatura se realizaron directamente en la planta de compostaje y se realizaron sobre una misma pila en tres posiciones diferentes una al inicio de la pila, otra en la mitad de la pila y otra al final de la pila de compostación y se obtuvo un promedio de las tres para hacerla representativa como se consigna en la tabla 7.

Tabla 7. Toma de temperatura en Puente Nacional

Fecha	Hora	Temperatura (°C)			
Año-mes-día		1	2	3	Promedio
3/10/2005	18:00	13	14	15	14
4/10/2005	12:00	21	24	20	22
6/10/2005	7:00	21	24	20	22
6/10/2005	17:00	25	26	25	25
7/10/2005	7:00	28	28	29	28
7/10/2005	17:00	29	25	28	27
8/10/2005	7:00	29	26	29	28
8/10/2006	17:00	32	31	29	31
9/10/2005	7:00	33	32	33	33
9/10/2005	17:00	34	32	33	33
10/10/2005	7	37	38	38	38
10/10/2005	17:00	37	37	37	37
11/10/2005	7:00	38	39	39	39
11/10/2005	17:00	38	36	39	38
13-10-2005	7	40	39	41	40
13-10-2005	17:00	39	40	41	40
14-10-2005	7	41	40	43	41
14-10-2005	17:00	42	41	45	43
15-10-2005	7:00	42	43	44	43
15-10-2005	17:00	45	47	45	46
16-10-2005	7:00	46	45	47	46
16-10-2005	17:00	49	50	49	49
17-10-2005	7:00	50	50	53	51
17-10-2005	17:00	50	50	53	51
18-10-2005	7:00	52	52	54	53
20-10-2005	7:00	53	54	55	54
20-10-2005	17:00	54	53	55	54
21-10-2005	7:00	54	55	55	55
21-10-2005	17:00	55	56	59	57
22-10-2005	7:00	55	56	59	57
22-10-2005	17:00	55	55	58	56

Fecha	Hora	Temperatura (°C)			
Año-mes-día		1	2	3	Promedio
23-10-2005	17:00	56	55	60	57
24-10-2005	7:00	62	60	60	61
24-10-2005	17:00	60	60	63	61
25-10-2005	7:00	61	61	63	62
25-10-2005	17:00	60	62	66	63
27-10-2005	7:00	61	62	65	63
27-10-2005	17:00	63	61	67	64
28-10-2005	7:00	59	61	65	62
28-10-2005	17:00	59	62	64	62
29-10-2005	7:00	58	60	64	61
29-10-2005	17:00	57	60	63	60
30-10-2005	7:00	56	59	61	59
31-10-2005	7	56	57	58	57
1/11/2005	7:00	53	53	55	54
1/11/2005	7:00	53	52	53	53
3/11/2005	17:00	49	48	50	49
3/11/2005	7:00	46	46	46	46
4/11/2005	17:00	44	44	45	44
5-11-2005	7:00	41	42	43	42
5-11-2005	17:00	40	43	43	42
6/11/2005	7:00	40	41	42	41
6/11/2005	17:00	38	40	42	40
7/11/2005	7:00	37	37	41	38
7/11/2005	17:00	37	37	39	38
8/11/2005	7:00	35	35	38	36
10/11/2005	7:00	33	33	35	34
10/11/2005	17:00	32	31	34	32
11/11/2005	7:00	32	33	33	33
11/11/2005	17:00	31	31	31	31
12/11/2005	7:00	29	29	29	29
12/11/2005	17:00	29	28	28	28
13-11-2005	7	28	23	25	25
13-11-2005	17:00	25	22	22	23

Fecha	Hora	Temperatura (°C)			
Año-mes-día		1	2	3	Promedio
14-11-2005	17:00	25	21	22	23
15-11-2005	7:00	23	20	20	21
15-11-2005	17:00	22	20	18	20

Fuente: Los Autores

Tabla 8. Análisis Físicoquímico de Compost en Puente Nacional

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 1-PN-05

Fecha de emisión: Octubre 8 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 – 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del

Muestras tomadas por:

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – PUENTE NACIONAL**

Fecha de muestreo: Septiembre 20, 22 y 27 **Tipo de muestras:** Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Septiembre 28 **Fecha de análisis:** Octubre 1 – 8 de

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST PUENTE NACIONAL SEPT. 20/05	COMPOST PUENTE NACIONAL SEPT. 22/05	COMPOST PUENTE NACIONAL SEPT. 27/05		
PH	5.8	5.6	5.9	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	59.5	56.8	51.4	%	25 – 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	44.5	48.3	46.3	%	40 – 60
NITRÓGENO	1.4	1.3	1.4	%	1 – 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 9. Análisis Físicoquímico de Compost en Puente Nacional

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 2-PN-05

Fecha de emisión: Octubre 18 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del Cliente **Muestras tomadas por:**

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – PUENTE NACIONAL**

Fecha de muestreo: Sept. 29, Octubre 4, 10 **Tipo de muestras:** Muestra

Fecha / Hora de recepción: Octubre 12 de **Fecha de análisis:** Octubre 12 – 18

ANALISIS FISICOQUIMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST PUENTE NACIONAL SEPT.29/05	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT. 4/05	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT.10/05		
PH	6.2	6.3	6.4	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	43.2	42.3	36.1	%	25 – 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	45.2	47.5	48.1	%	40 – 60
NITRÓGENO	2.3	2.4	2.6	%	1 – 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 10. Análisis Físicoquímico de Compost en Puente Nacional

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 3-PN-05

Fecha de emisión: Octubre 31 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del

Muestras tomadas por:

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – PUENTE NACIONAL**

Fecha de muestreo: Octubre 11, 13 y 18 de

Tipo de muestras: Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Octubre 21 de

Fecha de análisis: Octubre 21 – 30

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT.11/05	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT.13/05	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT.18/05		
PH	6.7	6.6	6.7	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	32.6	25.2	20.3	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	47.3	49.2	48.8	%	40 – 60
NITRÓGENO	2.7	2.8	2.8	%	1 – 3
FÓSFORO	1.2	1.2	1.3	%	1.5 - 10.0
HIERRO	0.39	0.39	0.41	%	-
ZINC	3.2	3.6	3.8	mg/Kg	Mayor 10
MANGANESO	54.3	57.4	59.3	mg/Kg	-

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT.11/05	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT.13/05	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT.18/05		
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO	26.7	28.0	27.6	UNIDADES	15 -2 5
POTASIO	0.95	0.81	0.82	%	1.0 - 3.0
CALCIO	5.1	4.9	5.0	%	3 – 5
MAGNESIO	3.1	3.2	3.1	%	1 -2

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 11. Análisis fisicoquímico de Compost en Puente Nacional

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 4-PN-05

Fecha de emisión: Noviembre 20 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 – 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del **Muestras tomadas por:** EMSERPUNAL

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – PUENTE NACIONAL**

Fecha de muestreo: Octubre 25, 27 y **Tipo de muestras:** Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Noviembre **Fecha de análisis:** Noviembre 9 – 16 de

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT.20/05	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT.25/05	COMPOST PUENTE NACIONAL OCT. 27/05		
PH	6.8	6.9	7.1	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	26.6	24.2	22.3	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	46.3	47.6	48.4	%	40 – 60
NITRÓGENO	2.9	2.8	2.8	%	1 – 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 12. Análisis Físicoquímico de Compost en Puente Nacional**NFORME DE LABORATORIO****Informe No.:** 5-PN-05**Fecha de emisión:**

Noviembre 26 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL**Dirección:** Carrera 10 N° 13 – 78 San Gil. Tel:**Protocolo de muestreo:** Protocolo del Cliente**Muestras tomadas por:**Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE –****Fecha de muestreo:** Noviembre 8, 12, 16 de 2005**Tipo de muestras:** Muestra**Fecha / Hora de recepción:** Noviembre 18 de 2005**Fecha de análisis:**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST PUENTE NACIONAL NOV.8/05	COMPOST PUENTE NACIONAL NOV.12/05	COMPOST PUENTE NACIONAL NOV.16/05		
PH	6.8	6.9	7.0	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	20.3	20.2	19.3	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	48.3	49.1	48.2	%	40 – 60
NITRÓGENO	2.9	2.9	2.9	%	1 – 3
FÓSFORO	1.3	1.4	1.3	%	1.5 - 10.0
HIERRO	0.41	0.43	0.44	%	-
ZINC	2.3	4.3	3.8	mg/Kg	Mayor 10
MANGANESO	52.3	65.3	63.2	mg/Kg	-
COBRE	1.1	1.2	1.2	mg/Kg	Mayor 0.2
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IÓNICO	28.2	28.1	28.0	UNIDADES	15 -2 5
POTASIO	0.77	0.78	0.83	%	1.0 - 3.0
CALCIO	5.2	5.2	5.1	%	3 – 5
MAGNESIO	3.2	3.4	3.3	%	1 -2

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Las muestras fueron tomadas por el personal de apoyo de cada una de las plantas, para lo cual se tomo aproximadamente 1,5 kg. Para cada muestra, almacenando la misma en

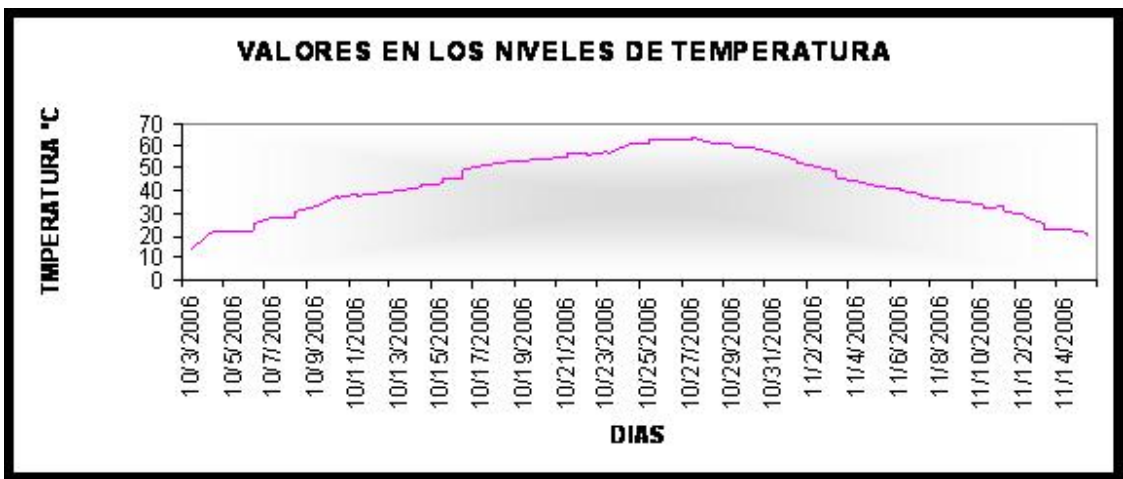
bolsas apropiadas y debidamente etiquetadas para ser transportadas al laboratorio para su análisis correspondiente.

El monitoreo se llevo a cabo durante aproximadamente 4 a 5 semanas tiempo el cual dura el proceso de aprovechamiento, con el fin de realizar un seguimiento a los porcentajes y concentraciones de los diferentes parámetros incluidos en el estudio.

Con los análisis fisicoquímicos del compost se procederá a realizarle una valoración, análisis e interpretación de forma estadística de cada una de las variables, su evolución o cambio a través del tiempo para obtener información sobre el proceso realizado y de la calidad del producto que se obtiene.

En primer lugar se analizara la evolución o cambio experimentado por cada una de las variables estudiadas y su comportamiento con relación al proceso, a los valores teóricos ideales y su importancia dentro del esquema productivo de la planta.

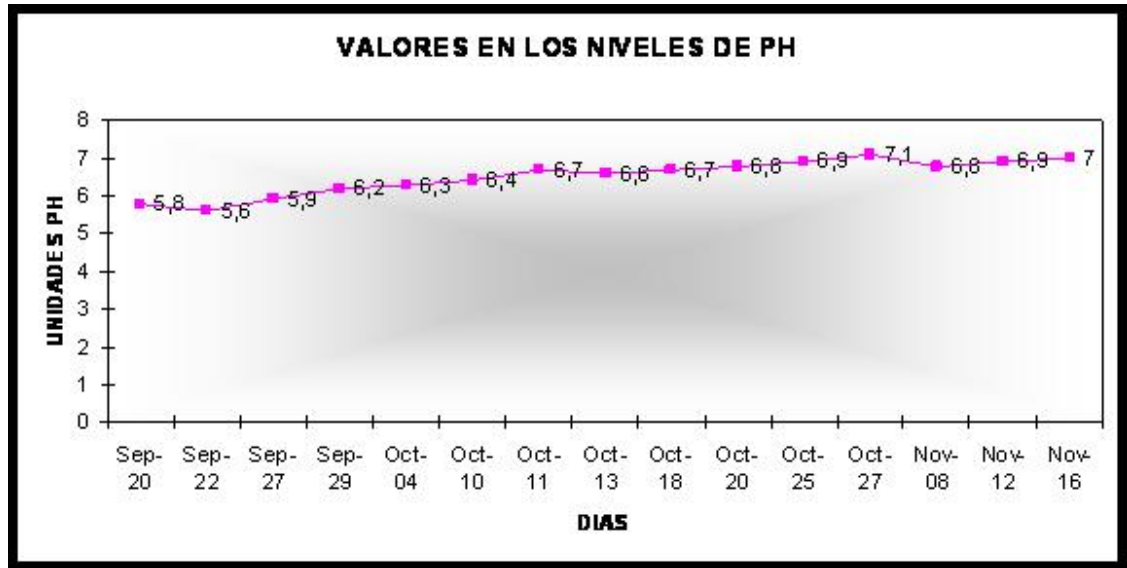
Figura 18. Valores en los niveles de temperatura en Puento Nacional



- Se observa que se presentan las dos regiones de temperatura la mesofílica que va hasta 35°C y la termofílica entre 55 y 65 °C para luego presentar un descenso en la temperatura indicando que el proceso se termina.
- La subida de temperatura se produce por una fermentación asociada a reacciones exotérmicas por parte de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos.
- Se observa que como el proceso es por pilas estáticas aireadas, se puede regular la temperatura supervisando la temperatura y controlando la corriente de aire suministrada a la pila.
- La temperatura máxima alcanzada fue de 67°C.

- Se observa que se presentó un periodo de más de 3 días con temperaturas superiores a los 60°C lográndose de esta forma que se destruyeran la mayoría de los organismos patógenos.

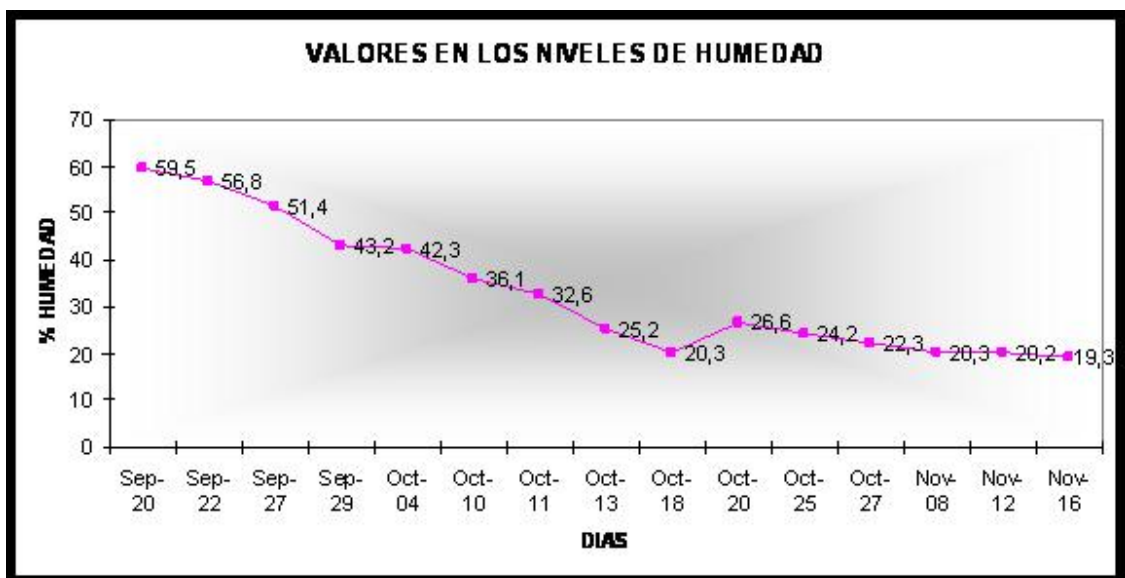
Figura 19. Valores en los niveles de Ph Puente Nacional



- Para lograr una descomposición aerobia óptima, el pH debería permanecer en el rango de 7 a 7.5.
- Para minimizar la pérdida de nitrógeno en la forma de gas amoníaco, el pH no debería sobrepasar un valor de 8,5, observándose que este fenómeno no se está presentando durante todo el proceso de descomposición.
- Las condiciones ambientales de pH tienen un efecto sobre la supervivencia y el crecimiento de los microorganismos. La concentración de iones de hidrógeno, expresada como pH, no es un factor significativo en el crecimiento de microorganismos, en sí mismo, dentro de la gama de 6 a 9.
- Generalmente el pH óptimo en el crecimiento bacteriano queda entre 6.5 y 7.5; sin embargo cuando el pH sube por encima de 9 o baja por debajo de 4.5 parece que las moléculas sin disociar de los ácidos débiles o bases pueden entrar en la célula más fácilmente que los iones de hidrógeno y oxhidrilo y, alterando el pH interno, dañar la célula.
- El valor mínimo encontrado fue de 5,6 en la primera semana de la toma cuando el producto está fresco y se va incrementando a medida que se va degradando la materia orgánica lentamente hasta lograr un máximo en la cuarta semana de 7,1.

- El valor de pH inicial de los residuos sólidos orgánicos está normalmente entre 5 y 7, observándose que en Puente Nacional se presentan valores alrededor de 5.8.
- El valor de pH varia según el perfil pH – tiempo que se muestra en el gráfico 5. En los primeros días de compostaje el pH cae a 5.6, en esta etapa la masa orgánica esta a temperatura ambiente, comienza la reproducción de organismos mesofílicos y empieza a subir rápidamente la temperatura. Entre los productos de esta etapa inicial de aproximadamente 3 días, la temperatura llega a la etapa termofílica, y el ph empieza a subir hasta 7.1 para el resto del proceso aerobio. El pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a valores de 6.8 a 7 en el compost maduro.
- En la última muestra que equivale al producto listo para ser comercializado se observa que el Ph presenta valores cercanos a 7 siendo apto para el uso de suelos agrícolas y en cualquier cultivo a ser utilizado.
- Se concluye que la aireación forzada que se realiza asegura la descomposición aerobia, ya que si la aireación no es la adecuada se producirán condiciones anaerobias y el pH caerá a valores hasta aproximadamente 4 a 5 y el proceso de compostaje se retrasaría.
- Esta variable juega un papel muy importante en el análisis de laboratorio ya que es de fácil toma o muestreo y se puede correlacionar con otras variables mediante una ecuación de regresión conocida y así poder establecer valores de otras variables sin necesidad de realizar su análisis.

Figura 20. Valores en los Niveles de Humedad Puente Nacional

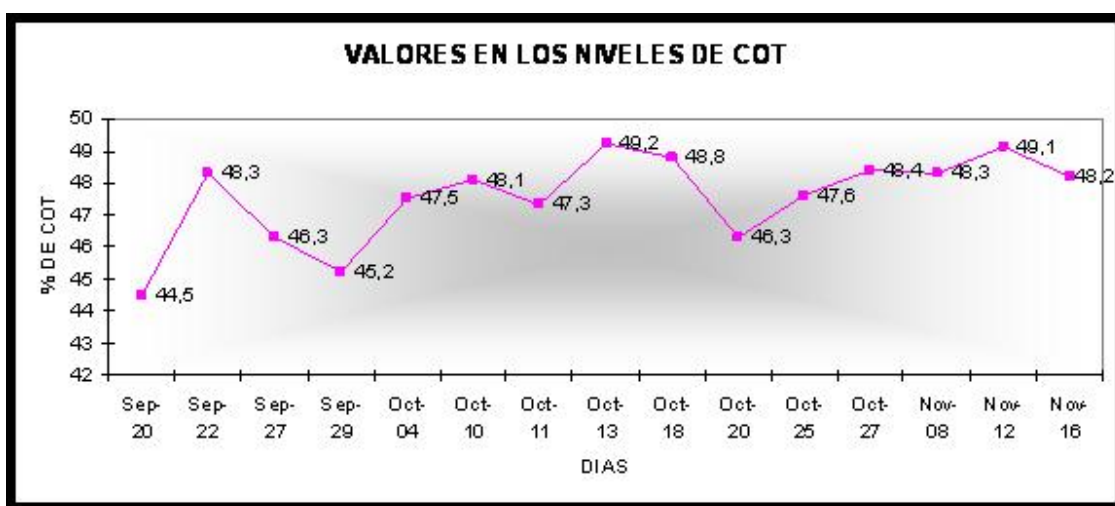


- Se observa que la humedad inicial es grande empezando en un 59,5% lo que indica que el producto fresco (residuo sólido domiciliario) contiene altas cantidades de agua, pero una vez se tritura y se composta en la pila de producción empieza a perder humedad

por escorrenteria la cual va aumentando a medida que el proceso pasa a ser termofílico y con el aumento de la temperatura se pierde humedad por evaporación haciendo reducir la humedad en la mitad de proceso hasta un valor de 20,3 %, a partir de la cual se mantiene casi estable y durante el proceso de enfriamiento no se presentan cambios considerables de humedad, hasta lograr en el producto final unos valores de 19,3%.

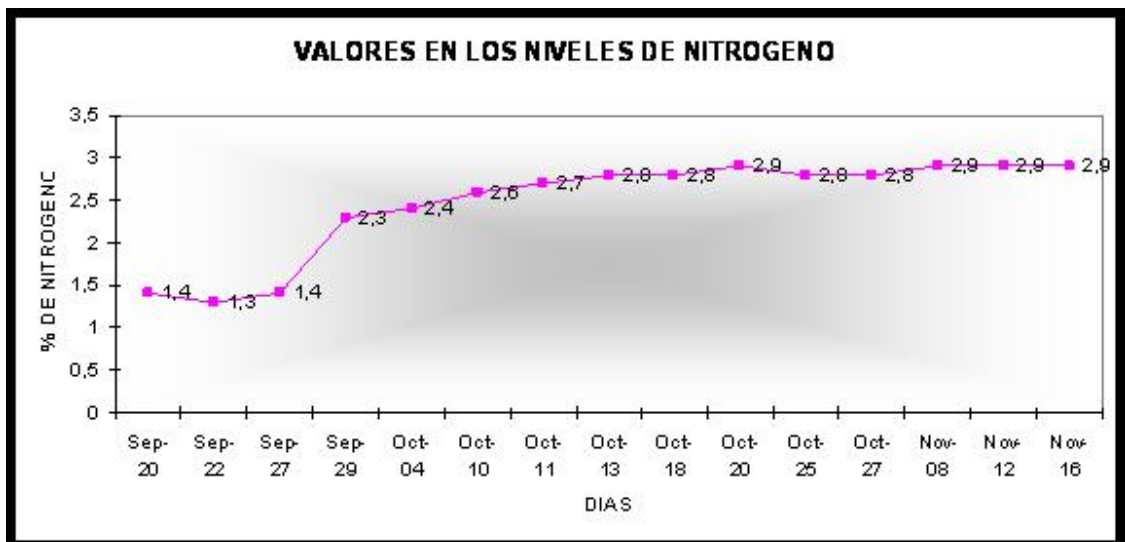
- El contenido de humedad debería estar entre el 50% y el 60% durante el compostaje siendo un valor optimo el 55%, por tal motivo es necesario en la planta de Puente Nacional, agregar agua desde el principio del proceso hasta su culminación, pero cabe anotar que en esta planta se argumento que los lixiviados generados en la pilas de compostación son recirculados al proceso mediante riego a las pilas de compostación manualmente por parte de los operadores, por tal motivo la recomendación es de realizar más continuamente el riego de los lixiviados sobre las pilas de compostaje, para lograr aumentar la humedad de las pilas de compostaje, esto con el fin de obtener una optima actividad bacteriana.
- La humedad puede ajustarse mediante la adición de agua o de lixiviados como se comento anteriormente ya que si el contenido de humedad cae por debajo del 40% se reduce la velocidad de fermentación, hecho que está ocurriendo desde la segunda semana del proceso.
- La humedad final del 19,3% se está logrando en tan corto tiempo (20 días) por el proceso de secado con aire caliente que se realiza, logrando que durante su almacenamiento en la bodega no se produzca fermentación del producto, se evite la producción de hongos, se disminuya su peso para el transporte y se entregue el producto final con una humedad final adecuada. Sin embargo se recomienda tratar de disminuir la humedad del producto final hasta lograr valores de alrededor de 10% de humedad final.

Figura 21. Valores en los Niveles de Carbono Orgánico Total Puente Nacional



- Se observa que los niveles de carbono orgánico total son fluctuantes a través de todo el proceso teniendo un máximo de 49,2% y un mínimo con el material fresco de 44,5%, teniendo un promedio de 47,5%.
- En el proceso mesofílico se presenta un aumento de la cantidad de carbono total, para luego volver a reducirse en la etapa inicial termofílica, continua sus fluctuaciones a través de todo el proceso hasta obtener un valor muy cercano al inicial de 48,2 %.
- La cantidad de carbono presente en el producto final se encuentra dentro del intervalo de los valores normales para un fertilizante orgánico (40% - 60%), indicándonos que el producto posee buenos niveles de carbono para ser asimilados por las plantas.
- Se debe mejorar el procedimiento de compostaje en las fases de humectación, agregar mejor la aireación de las pilas y mejorar el proceso de agregación de microorganismos para lograr valores más altos de carbono y así obtener mejores relaciones de carbono/nitrógeno.
- Se debe analizar con las relaciones carbono / nitrógeno con el fin de conocer que ventajas hay entre los diferentes mejorados de suelo por tal motivo las relaciones iniciales por masa deben ser entre 25% y 50% siendo óptimas para el compostaje aerobio. Con relaciones más bajas se emite amoníaco presentando pérdidas de nitrógeno, también se impide la actividad biológica.
- Con relaciones más altas, el nitrógeno puede ser un nutriente limitante.

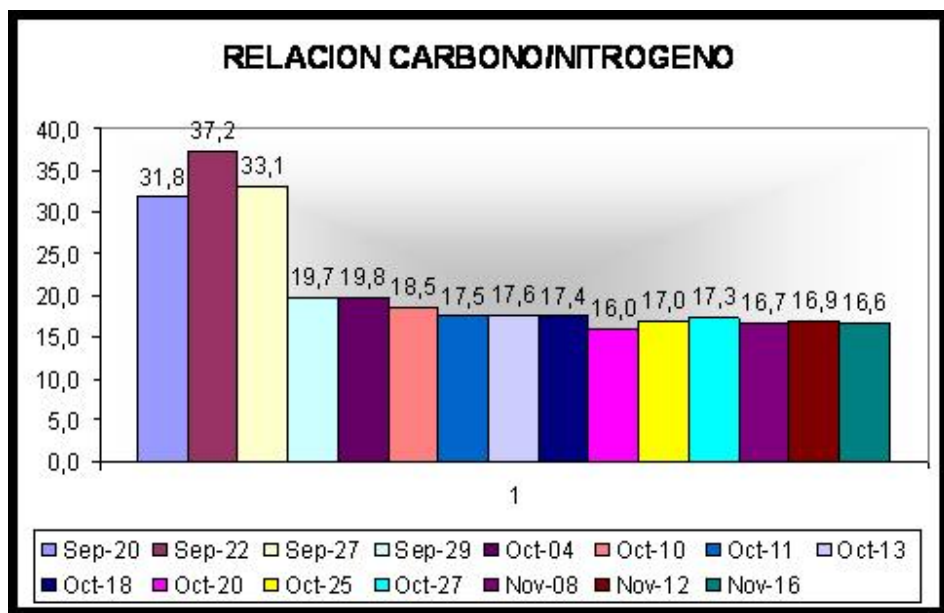
Figura 22. Valores En Los Niveles De Nitrógeno Puente Nacional



- Se observa que en el inicio del proceso se presenta unos niveles bajos de nitrógeno alrededor de 1,4% y si lo comparamos con los valores de la tabla 11 se puede concluir que los residuos sólidos orgánicos frescos vienen con un alto contenido de residuos de fruta fresca como se comprobó en las diferentes visitas realizadas al municipio.

- Se presenta en las siguientes etapas del proceso una tendencia a aumentar y llegar a estabilizarse en valor de 2,9% pero teniendo un promedio en todo el proceso de 2,46%.
- Relacionando la cantidad de nitrógeno generado durante el proceso se observa que a partir de la segunda semana, aproximadamente cuando se inicia el aumento de temperatura y pasa a ser un proceso termofílico la cantidad de nitrógeno tiene un aumento considerable el cual se mantiene casi estable durante todo el proceso termofílico, y continua estable durante la etapa de enfriamiento.
- El producto final a ser comercializado que corresponde al de las dos ultimas muestras, equivaldría de conformidad a la tabla 11 al ofrecido por un estiércol indicándonos que hay relación entre la actividad microbiana generada en los estómagos de los seres vivos con el proceso generado en la planta de compostaje. De igual manera se aprecia que es buena la cantidad de nitrógeno ofrecida por los residuos sólidos domésticos, teniendo en cuenta que el municipio tiene un habito de consumo de productos frescos, de mucha fruta, hortaliza, productos naturales y en muy poca importancia los enlatados o empacados o sintéticos.
- Revisando el nivel de nitrógeno de las dos ultimas muestras correspondiente a el producto a comercializar, presenta un valor de 2,9% estando dentro del rango que se especifica para niveles normales de nitrógeno en un fertilizante orgánico que es de 1% a 3%.
- Estos porcentajes bajos de nitrógeno nos indican que el producto obtenido no corresponde a un abono orgánico ya que este es un nutriente mayor y sus niveles son muy bajos, por esta razón consideramos al producto obtenido en la planta de compostaje como mejorador de suelos.

Figura 23. Relación Carbono / Nitrógeno Puente Nacional



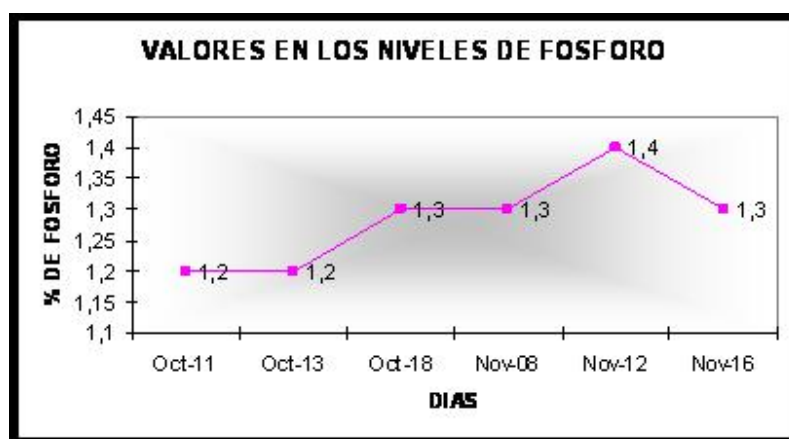
- Como se observa en la gráfica los niveles de nitrógeno en la primera semana son los más bajos por tal razón se obtiene una relación alta de carbono nitrógeno, una vez se inicia la etapa termofílica se produce un incremento en los niveles de nitrógeno que causan la disminución de la relación carbono / nitrógeno para mantenerse aproximadamente constante en el resto del proceso.
- Presenta un valor máximo de 37,2, en el inicio del proceso y un valor mínimo de 16 aproximadamente en la mitad del proceso, se obtiene un promedio durante todo el proceso de 20,9, para obtener un producto final con una relación de 16,6 equivaliendo a ser un poco baja con respecto a lo consignado en la tabla 13 donde el rango óptimo para la mayoría de los residuos orgánicos con respecto a la relación carbono - nitrógeno (relación C/N) está entre 20 y 25 a 1.
- De conformidad a la tabla 13 se analiza que los valores de la relación carbono / nitrógeno están por debajo de los niveles para compostaje aerobio, por tal motivo se recomienda realizar mejoras en el proceso productivo para lograr mejorar los niveles de carbono.
- Los niveles bajos en la relación carbono – nitrógeno (C/N) por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- De igual forma se recomienda establecer un cronograma para realizar a nivel de un laboratorio reconocido o al proveedor de los microorganismos un análisis del estado de los microorganismos, del estado de los hongos y de las levaduras presentes en el agroplus utilizado para acelerar el proceso de compostación.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.
- Se recomienda tener un control estricto en el proceso de secado por aire caliente ya que si la temperatura es muy elevada se puede presentar una pérdida o desnaturalización de los nutrientes presentes en el producto final afectando considerablemente la calidad del producto final.

Tabla 13. Contenido de nitrógeno y relaciones carbono / nitrógeno nominales de materiales compostables seleccionados (base seca)

MATERIAL	PORCENTAJE N	RELACIÓN C/N
RESIDUOS FRUTA	1,52	34,8
RESDUOS MEZCLADOS MATADERO	7.0 - 10.0	2
PIELAS DE PAPA	1,5	25
ESTIERCOL DE VACA	1,7	18
ESTIERCOL DE CABALLO	2,3	25
ESTIERCOL DE CERDO	3,75	20
ESTIERCOL DE AVES DE CORRAL	6,3	25
ESTIERCOL DE OVEJA	3,75	22
FANGOS DIGERIDOS ACTIVADOS	1,88	15,7
FANGOS CRUDOS ACTIVADOS	5,6	6,3
RESIDUOS DE ASERRADEROS	0,13	170
PAJA DE AVENA	1,05	48
SERRIN	0,1	200 – 500
PAJA DE TRIGO	0,3	128
MADERA DE PINO	0,07	723
PAPEL MEZCLADO	0,25	173
PAPEL DE PERIÓDICO	0,05	983
PAPEL MARRON	0,01	4.490
REVISTAS COMERCIALES	0,07	470
CORREO BASURA	0,17	223
RESIDUOS DE CESPED	2,15	20,1
HOJAS FRESCAS	0,5 - 1,0	40 – 80

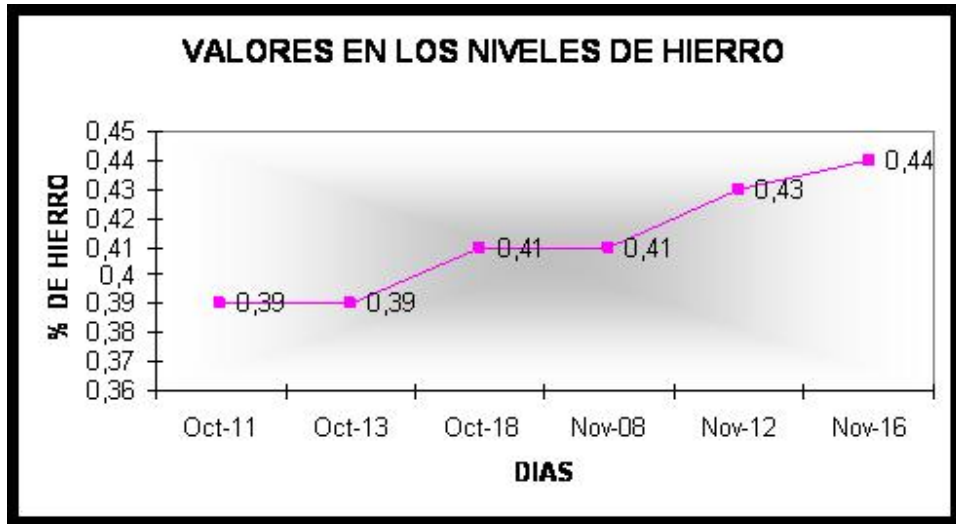
FUENTE: Gestión Integral de Residuos Sólidos George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel A. Gil.

Figura 24. Valores en los Niveles se Fósforo Puente Nacional



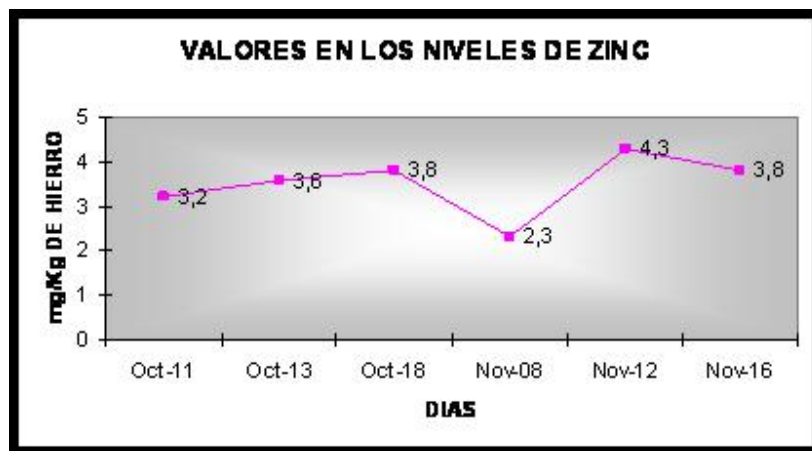
- Para los niveles de fósforo se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de fósforo no se ve afectado por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante a un valor promedio de 1,28%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de fósforo hasta tener en el producto final un valor de 1,3%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (1,5% – 10%), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de fósforo ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de fósforo por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de fósforo por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- De igual forma se recomienda establecer un cronograma para realizar a nivel de un laboratorio reconocido o al proveedor de los microorganismos un análisis del estado de los microorganismos, del estado de los hongos y de las levaduras presentes en el agroplus utilizado para acelerar el proceso de compostación.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.
- Se recomienda tener un control estricto en el proceso de secado por aire caliente ya que si la temperatura es muy elevada se puede presentar una pérdida o desnaturalización de los nutrientes presentes en el producto final afectando considerablemente la calidad del producto final.

Figura 25. Valores en los niveles de hierro puente nacional



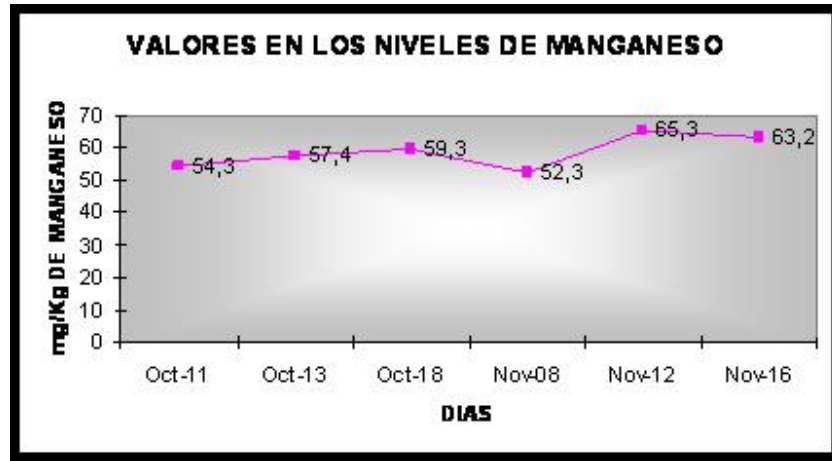
- Para los niveles de hierro se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de hierro se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece constante, luego presenta un comportamiento de aumento hasta obtener un valor final de 0,44% y un valor promedio de 0,41%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de hierro hasta tener en el producto final un valor de 0,44%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Los niveles normales de hierro no se encuentran contemplados en los fertilizantes orgánicos, pero si son necesarios como nutrientes menores dentro de las necesidades de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

Figura 26. Valores En Los Niveles De Zinc Puente Nacional



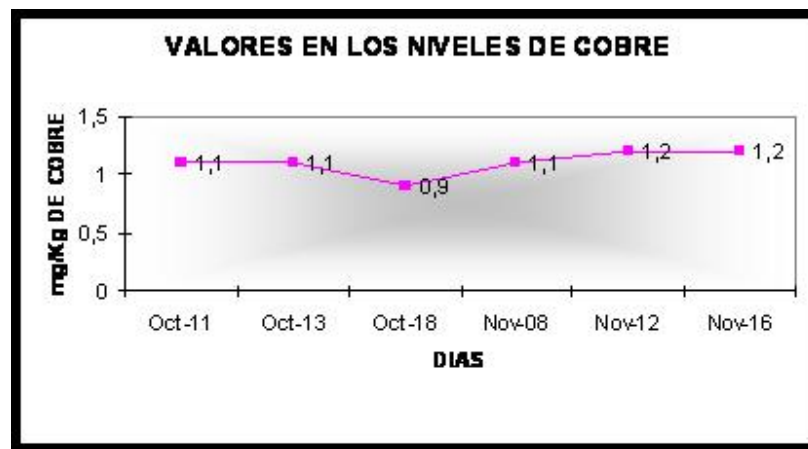
- Para los niveles de zinc se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de zinc se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico presenta un leve aumento para luego en la muestra del 8 de noviembre presento una leve disminución y luego si continua su aumento hasta obtener un valor final de 3,8mg/Kg. y un valor promedio de 3,5mg/Kg.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se disminuye un poco la cantidad de zinc hasta tener en el producto final un valor de 3,8mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (mayor de 10mg/Kg.), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de zinc ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de zinc por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de zinc por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- Se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- Se recomienda establecer un cronograma para realizar a nivel de un laboratorio reconocido o al proveedor de los microorganismos un análisis del estado de los microorganismos, del estado de los hongos y de las levaduras presentes en el agroplus utilizado para acelerar el proceso de compostación.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.
- Se recomienda tener un control estricto en el proceso de secado por aire caliente ya que si la temperatura es muy elevada se puede presentar una perdida o desnaturalización de los nutrientes presentes en el producto final afectando considerablemente la calidad del producto final.

Figura 27. Valores en los Niveles de Manganeso Puente Nacional



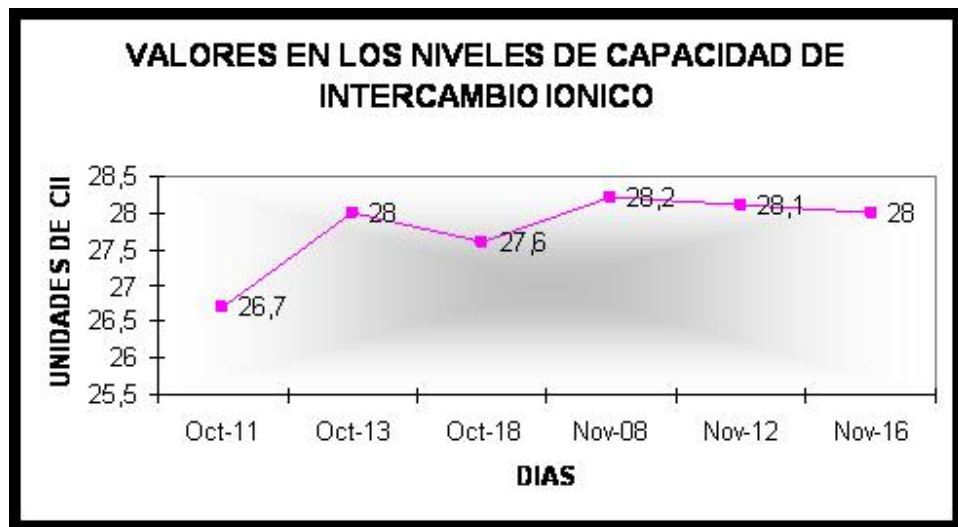
- Para los niveles de manganeso se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de manganeso se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta una leve disminución, pero luego sube hasta volver a ser casi constante, hasta obtener un valor final de 63,2mg/Kg y un valor promedio de 58,6mg/Kg.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene casi constantela cantidad de manganeso hasta tener en el producto final un valor de 63,2mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Los niveles normales de manganeso no se encuentran contemplados en los fertilizantes orgánicos, pero si son necesarios como nutrientes menores dentro de las necesidades de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

Figura 28. Valores en los niveles de cobre Puente Nacional



- Para los niveles de cobre se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de cobre se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta una leve disminución, pero luego sube hasta volver a ser casi constante, hasta obtener un valor final de 1,2mg/Kg y un valor promedio de 1,1mg/Kg. durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene casi constante la cantidad de cobre hasta tener en el producto final un valor de 1,2mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con los valores normales de un fertilizante orgánico (mayor 0,2mg/Kg.) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición buenos niveles de cobre.
- Se analiza que la cantidad de cobre no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, siendo óptimo para ser mejorador de suelos.

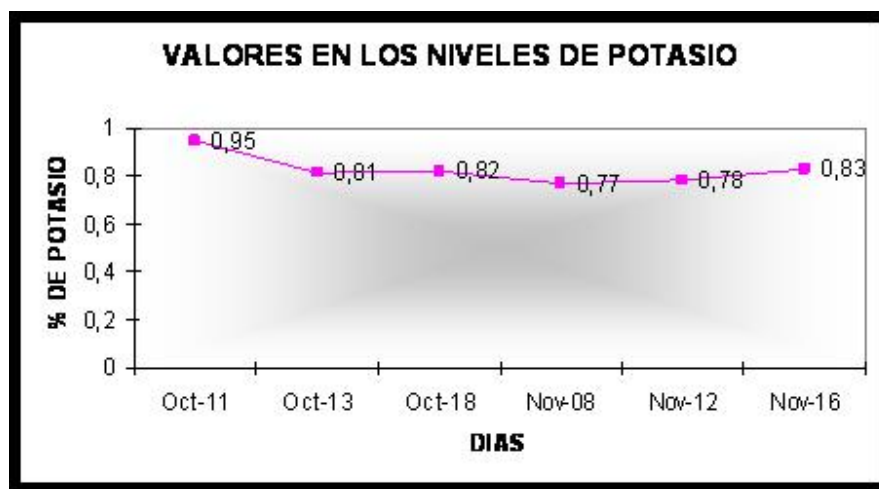
Figura 29. Valores en los niveles de capacidad de intercambio iónico Puente Nacional



- Para los niveles de capacidad de intercambio iónico se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de CII se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta un leve aumento, para luego ser casi constante, hasta obtener un valor final de 28 unidades y un valor promedio de 27,7 unidades durante el proceso.

- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene constante la cantidad de CII hasta tener en el producto final un valor de 28 unidades, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (15 – 25 unidades) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de CII.
- Se analiza que la cantidad de CII no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, siendo optimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

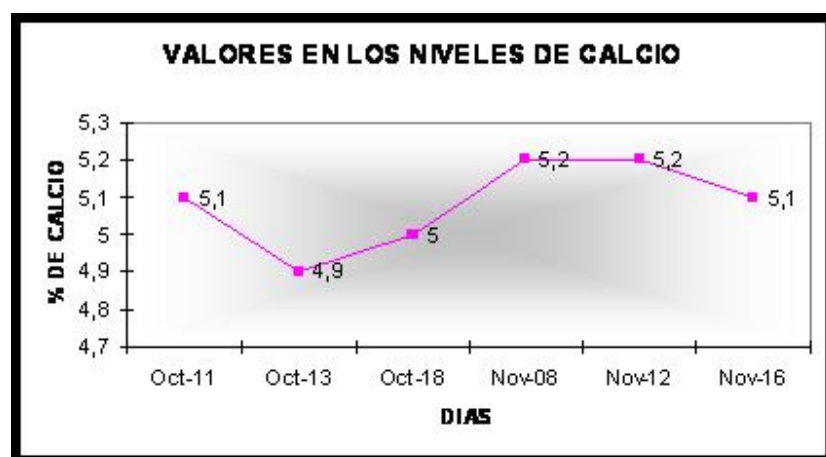
Figura 30. Valores en los niveles de potasio Puente Nacional



- Para los niveles de potasio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de potasio no se ve afectado por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante a un valor promedio de 0,82%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de potasio hasta tener en el producto final un valor de 0,83%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (1,0% – 3,0%), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de potasio ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos orgánicos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de potasio por debajo de los valores normales.

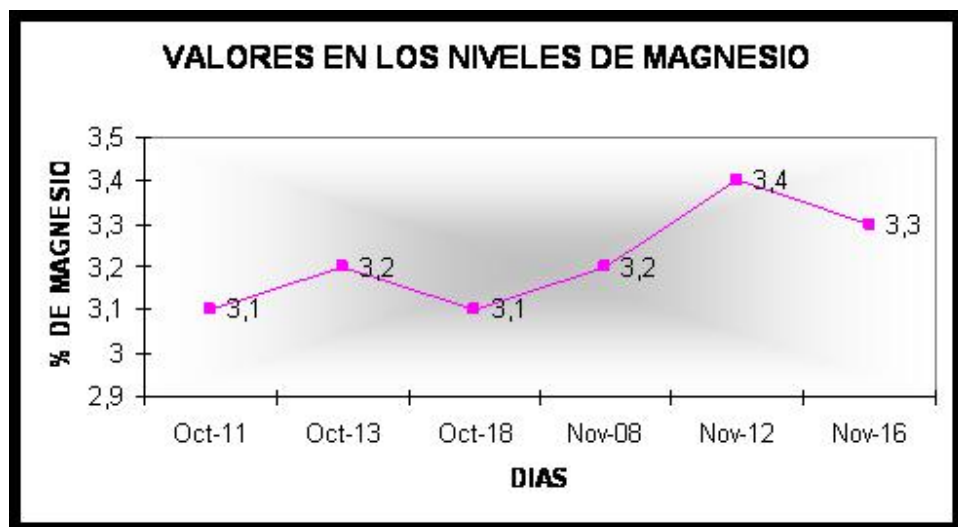
- Los niveles bajos de potasio por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- De igual forma se recomienda establecer un cronograma para realizar a nivel de un laboratorio reconocido o al proveedor de los microorganismos un análisis del estado de los microorganismos, del estado de los hongos y de las levaduras presentes en el agroplus utilizado para acelerar el proceso de compostación.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.
- Se recomienda tener un control estricto en el proceso de secado por aire caliente ya que si la temperatura es muy elevada se puede presentar una perdida o desnaturalización de los nutrientes presentes en el producto final afectando considerablemente la calidad del producto final.

Figura 31. Valores en los niveles de calcio Puentes Nacional



- Para los niveles de calcio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de calcio se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta un leve aumento, para luego ser casi constante, hasta obtener un valor final de 5,1% y un valor promedio de 5,08% durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene constante el porcentaje de calcio hasta tener en el producto final un valor de 5,1%, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (3% - 5%) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de calcio.
- Se analiza que la cantidad de calcio no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor iniciando en 5,1% como producto fresco, siendo óptimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

Figura 32. Valores en los niveles de magnesio Puente Nacional



- Para los niveles de magnesio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de magnesio se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta un leve aumento, para luego ser casi constante, hasta obtener un valor final de 3,3% y un valor promedio de 3,22% durante el proceso.

- Se analiza que en la etapa de enfriamiento mantiene casi constante el porcentaje de calcio hasta tener en el producto final un valor de 3,3%, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (1% - 2%) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de magnesio.
- Se analiza que la cantidad de magnesio no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, iniciando con un valor de 3,1% equivaliendo a un valor superior de las condiciones normales de un fertilizante orgánico, siendo óptimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

4.5 REQUISITOS DEL ICA COMO ABONO

El Instituto Colombiano Agropecuario ICA ha realizado un proyecto de norma técnica Colombiana sobre productos para la industria agrícola, con el objeto de 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.

REQUISITOS GENERALES

- Los productos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o líquida como concentrados solubles.
- Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación.
- Deberá declararse el origen (clase y procedencia) de las materias primas y los procesos de transformación empleados.

REQUISITOS ESPECÍFICOS

Los productos orgánicos empleados como fertilizantes o abonos y enmiendas⁵ del suelo, deben cumplir con los requisitos que se mencionan a continuación:

Indicaciones relacionadas con la obtención del Abono orgánico y los componentes principales: Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de 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 indiquen.

Parámetros a caracterizar:

- Pérdidas por volatilización %.

⁵ De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1927, la definición de enmienda corresponde a Acondicionador de Suelos.

- Contenido de cenizas máximo 60%.
- Contenido de humedad:
 1. Para materiales de origen animal, máximo 20 %.
 2. Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %.
 3. Para mezclas, el contenido de contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.
- Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %.
- N, P₂O₅ y K₂O totales, declararlos si cada uno es mayor de 1 %.
- Relación carbono / nitrógeno.
- Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg⁻¹ (meq/100g).
- Capacidad de retención de humedad mínimo su propio peso.
- pH mayor de 4 y menor de 9
- Densidad máximo 0.6 g / cm³.
- Se indicará la materia prima de que procede el producto.

Para iniciar el proceso de certificación del compostaje por el ICA se deben cumplir con los parámetros mencionados anteriormente. Es de destacar que el mejorador de suelos de la planta cumple con el parámetro fundamental que define si se puede someter a certificación o no el producto, siendo este la separación en la fuente, porque en la norma expresa claramente que la materia prima de la cual procede el compost debe ser separada en la fuente, de lo contrario no obtendrá la acreditación del ICA.

El mejorador de suelos de la planta de Puente Nacional cumple con:

- Contenido de humedad:
Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %, y el mejorador de suelos tiene 20%
- Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %, y el mejorador de suelos tiene 48%.
- N, P₂O₅ y K₂O totales, declararlos si cada uno es mayor de 1 % y el mejorador de suelos tiene: 2,9% de N, 1,3% de Fósforo y no cumpliría con 0,8 de potasio
- Relación carbono / nitrógeno, es de 20,9 en promedio.
- pH mayor de 4 y menor de 9 y tiene un pH de 6,9.

Por lo anterior el mejorador de suelos si estaría cumpliendo los parámetros que exigiría el ICA para su comercialización.

Una vez analizados cada uno de los parámetros muestreados en la planta de compostaje se procederá a realizar un análisis ESTADISTICO de correlación y de regresión de las variables muestreadas con el fin de obtener la relación entre dichas variables y su comportamiento, no se tiene en cuenta la temperatura puesto que esta variable fue tomada directamente sobre las pilas de compostaje, por tal motivo no serian valores representativos con los analizados en las muestras en el laboratorio; para esto se presenta una explicación de estas procedimientos así:

5. ANÁLISIS VARIABLES DE CORRELACION PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL

La covarianza estadística entre dos variables suele ser analizada haciendo una tabla o una presentación gráfica, pero también hay disponibles estadísticas especiales para indicar su intensidad. Los medios disponibles para el análisis de los vínculos entre las variables dependen de con qué tipo de escala que han medido las variables.

Para variables sobre escalas aritméticas, el método usual es la correlación estándar, mejor dicho la correlación del momento-producto o correlación de Pearson.

Para el análisis de las variables se establece la asociación entre dos variables cuantitativas estudiando el método conocido como correlación. Dicho cálculo es el primer paso para determinar la relación entre las variables. La predicción de una variable.

La cuantificación de la fuerza de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, se estudia por medio del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (1-3). Dicho coeficiente oscila entre -1 y $+1$. Un valor de -1 indica una relación lineal o línea recta positiva perfecta. Una correlación próxima a cero indica que no hay relación lineal entre las dos variables.

El realizar la representación gráfica de los datos para demostrar la relación entre el valor del coeficiente de correlación y la forma de la gráfica es fundamental ya que existen relaciones no lineales.

El coeficiente de correlación posee las siguientes características:

- El valor del coeficiente de correlación es independiente de cualquier unidad usada para medir las variables.
- El valor del coeficiente de correlación se altera de forma importante ante la presencia de un valor extremo, como sucede con la desviación típica. Ante estas situaciones conviene realizar una transformación de datos que cambia la escala de medición y modera el efecto de valores extremos (como la transformación logarítmica).
- El coeficiente de correlación mide solo la relación con una línea recta. Dos variables pueden tener una relación curvilínea fuerte, a pesar de que su correlación sea pequeña. Por tanto cuando analicemos las relaciones entre dos variables debemos representarlas gráficamente y posteriormente calcular el coeficiente de correlación.
- El coeficiente de correlación no se debe extrapolar más allá del rango de valores observado de las variables a estudio ya que la relación existente entre X e Y puede cambiar fuera de dicho rango.

- La correlación no implica causalidad. La causalidad es un juicio de valor que requiere más información que un simple valor cuantitativo de un coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación de Pearson (r) puede calcularse en cualquier grupo de datos, sin embargo la validez del test de hipótesis sobre la correlación entre las variables requiere en sentido estricto:

a) que las dos variables procedan de una muestra aleatoria de individuos.

b) que al menos una de las variables tenga una distribución normal en la población de la cual la muestra procede. Para el cálculo válido de un intervalo de confianza del coeficiente de correlación de r ambas variables deben tener una distribución normal. Si los datos no tienen una distribución normal, una o ambas variables se pueden transformar (transformación logarítmica) o si no se calcularía un coeficiente de correlación no paramétrico (coeficiente de correlación de Spearman) que tiene el mismo significado que el coeficiente de correlación de Pearson y se calcula utilizando el rango de las observaciones.

5.1 TEST DE HIPÓTESIS DE R

Tras realizar el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r) debemos determinar si dicho coeficiente es estadísticamente diferente de cero. Para dicho cálculo se aplica un test basado en la distribución de la t de student.

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$$

Si el valor del r calculado (para un ejemplo con $r = 0.885$) supera al valor del error estándar multiplicado por la t de Student con $n-2$ grados de libertad, diremos que el coeficiente de correlación es significativo.

El nivel de significación viene dado por la decisión que adoptemos al buscar el valor en la tabla de la t de Student.

Para un ejemplo donde la población es 20, los grados de libertad son 18 y el valor de la tabla de la t de student para una seguridad del 95% es de 2.10 y para un 99% de seguridad el valor es 2.88. (Tabla 2)

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-0.885^2}{20-2}} = 0.109$$

Como quiera que $r = 0.885 > 2.10 \cdot 0.109 = 2.30$ podemos asegurar que el coeficiente de correlación es significativo ($p < 0.05$). Si aplicamos el valor obtenido en la tabla de la t de Student para una seguridad del 99% ($t = 2.88$) observamos que como $r = 0.885$ sigue siendo $> 2.88 \cdot 0.109 = 0.313$ podemos a su vez asegurar que el coeficiente es significativo ($p < 0.001$). Este proceso de razonamiento es válido tanto para muestras pequeñas como para muestras grandes. En esta última situación podemos comprobar en

la tabla de la t de student que para una seguridad del 95% el valor es 1.96 y para una seguridad del 99% el valor es 2.58.

5.2 INTERVALO DE CONFIANZA DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN.

La distribución del coeficiente de correlación de Pearson no es normal pero no se puede transformar r para conseguir un valor z que sigue una distribución normal (transformación de Fisher) y calcular a partir del valor z el intervalo de confianza.

La transformación es:

$$z = 1/2L_n \frac{1+r}{1-r}$$

L_n representa el logaritmo neperiano en la base e

$$\text{El error standard de } z \text{ es} = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$$

donde n representa el tamaño muestral. El 95% intervalo de confianza de z se calcula de la siguiente forma:

$$z_1(\text{limite inferior}) = z - 1.96/\sqrt{n-3}$$

$$z_2(\text{limite superior}) = z + 1.96/\sqrt{n-3}$$

Tras calcular los intervalos de confianza con el valor z debemos volver a realizar el proceso inverso para calcular los intervalos del coeficiente r

$$\frac{e^{2x_1} - 1}{e^{2x_1} + 1} \quad \alpha \quad \frac{e^{2x_2} - 1}{e^{2x_2} + 1}$$

5.3 ANÁLISIS DE REGRESION

En un Análisis de Regresión simple existe una variable respuesta o dependiente (y) que puede ser el número de especies, la abundancia o la presencia-ausencia de una sola especie y una variable explicativa o independiente (x). El propósito es obtener una función sencilla de la variable explicativa, que sea capaz de describir lo más ajustadamente posible la variación de la variable dependiente. Como los valores observados de la variable dependiente difieren generalmente de los que predice la función, ésta posee un error. La función más eficaz es aquella que describe la variable dependiente con el menor error posible o, dicho en otras palabras, con la menor diferencia entre los valores observados y predichos. La diferencia entre los valores observados y predichos (el error de la función) se denomina variación residual o residuos. Para estimar los parámetros de la función se utiliza el ajuste por mínimos cuadrados. Es decir, se trata de encontrar la función en la cual la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y esperados sea menor. Sin embargo, con este tipo de estrategia es necesario que los residuos o errores estén distribuidos normalmente y que varíen de modo similar a lo largo de todo el rango de valores de la variable dependiente. Estas

suposiciones pueden comprobarse examinando la distribución de los residuos y su relación con la variable dependiente.

Cuando la variable dependiente es cuantitativa (por ejemplo, el número de especies) y la relación entre ambas variables sigue una línea recta, la función es del tipo $y = c + bx$, en donde c es el intercepto o valor del punto de corte de la línea de regresión con el eje de la variable dependiente (una medida del número de especies existente cuando la variable ambiental tiene su mínimo valor) y b es la pendiente o coeficiente de regresión (la tasa de incremento del número de especies con cada unidad de la variable ambiental considerada). Si la relación no es lineal pueden transformarse los valores de una o ambas variables para intentar linearizarla. Si no es posible convertir la relación en lineal, puede comprobarse el grado de ajuste de una función polinomial más compleja. La función polinomial más sencilla es la cuadrática ($y = c + bx + bx^2$) que describe una parábola, pero puede usarse una función cúbica u otra de un orden aun mayor capaz de conseguir un ajuste casi perfecto a los datos. Cuando la variable dependiente se expresa en datos cualitativos (presencia-ausencia de una especie) es aconsejable utilizar las regresiones logísticas ($y = \frac{\exp(c + bx)}{1 + \exp(c + bx)}$).

De conformidad a lo anterior se analizaran los datos en dos grupos el primero que equivale a las variables pH, Humedad, Carbono Orgánico Total y Nitrógeno, por tener valores en todos los días de muestreo que equivalen a los siguientes:

Tabla 14. Valores de muestreo para las variables PH, Humedad, Cot, Nitrógeno.

VARIABLE	UNIDADES	Sep-20	Sep-22	Sep-27	Sep-29	Oct-04	Oct-10	Oct-11	Oct-13
PH	UNIDAD	5,8	5,6	5,9	6,2	6,3	6,4	6,7	6,6
HUMEDAD	%	59,5	56,8	51,4	43,2	42,3	36,1	32,6	25,2
COT	%	44,5	48,3	46,3	45,2	47,5	48,1	47,3	49,2
NITRÓGENO	%	1,4	1,3	1,4	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8

VARIABLE	UNIDADES	Oct-18	Oct-20	Oct-25	Oct-27	Nov-08	Nov-12	Nov-16
PH	UNIDAD	6,7	6,8	6,9	7,1	6,8	6,9	7
HUMEDAD	%	20,3	26,6	24,2	22,3	20,3	20,2	19,3
COT	%	48,8	46,3	47,6	48,4	48,3	49,1	48,2
NITRÓGENO	%	2,8	2,9	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9

Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis.

Con los datos anteriores se procederá a realizarle un análisis de correlación de Pearson para obtener cuáles son las variables que pueden tener relación entre sí y poder analizarlas:

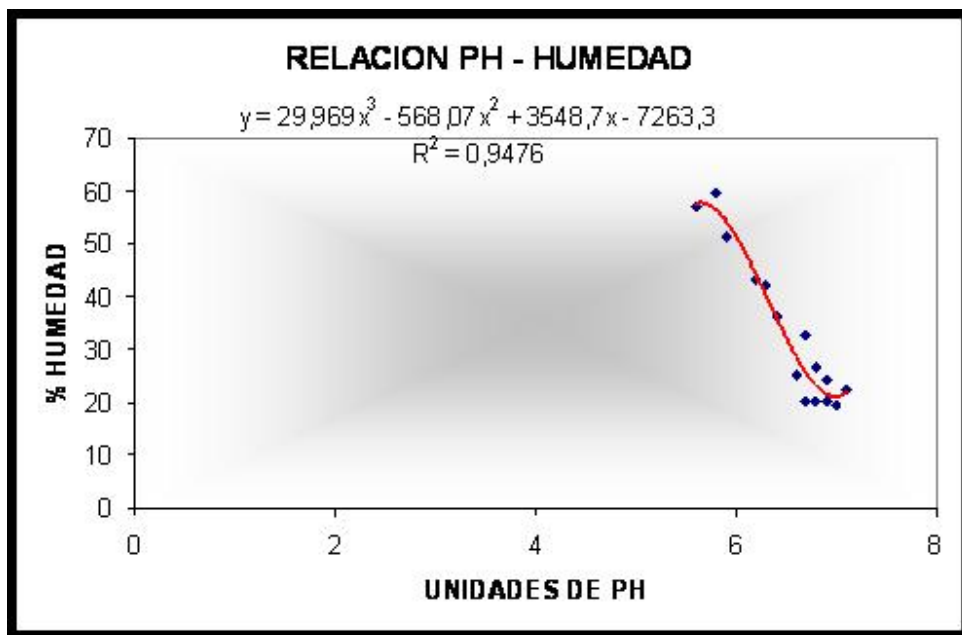
Tabla 15. Coeficientes de correlación para PH, Humedad, COT, Nitrógeno

	PH	HUMEDAD	COT	NITRÓGENO
PH	1			
HUMEDAD	-0,95803916	1		
COT	0,50454211	-0,6438989	1	
NITRÓGENO	0,94061839	-0,94627031	0,52778527	1

Fuente: los Autores.

Una vez realizado el procedimiento de correlación por intermedio de Excel se obtienen los datos consignados en la tabla 15 donde se observa que existe una relación aceptable entre las variables de pH – Humedad, pH – Nitrógeno, Humedad – Nitrógeno, para dichas relaciones se procederá a establecer los análisis de regresión y así poder conocer su comportamiento durante el proceso de compostación:

Figura 33. Relación entre PH y la Humedad Puente Nacional

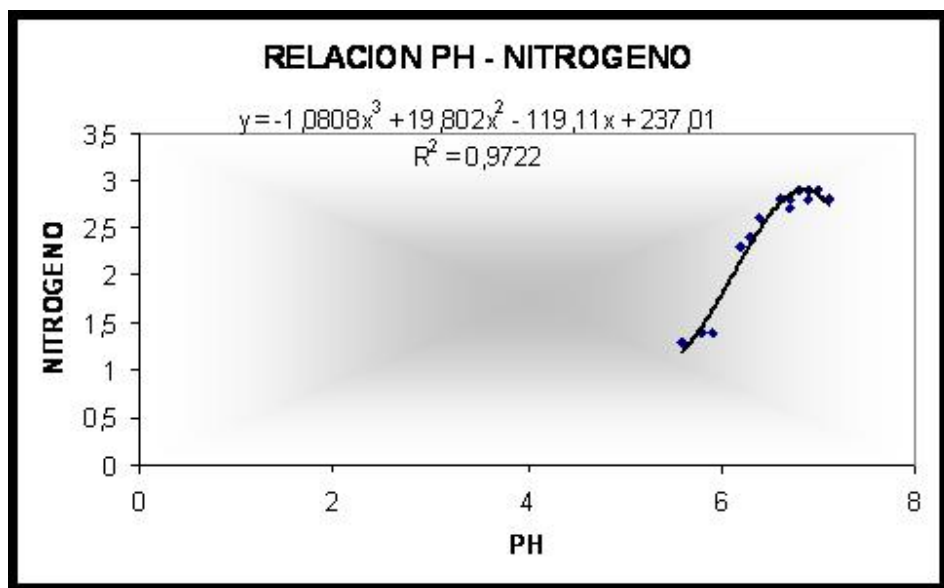


- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9476, siendo válido para describir el comportamiento entre estas dos variables.
- La ecuación que representa el cambio de la humedad con respecto al pH es la siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = 29,969 \text{ pH}^3 - 568,07\text{pH}^2 + 3548,7\text{pH} - 7263,3$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 17 se puede establecer el porcentaje de humedad del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el valor del Ph de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de humedad en esa etapa del proceso.
- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Humedad presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, tomando el valor del pH presente en el producto terminado.

Figura 34. Relación entre PH y el Nitrógeno Puesto Nacional

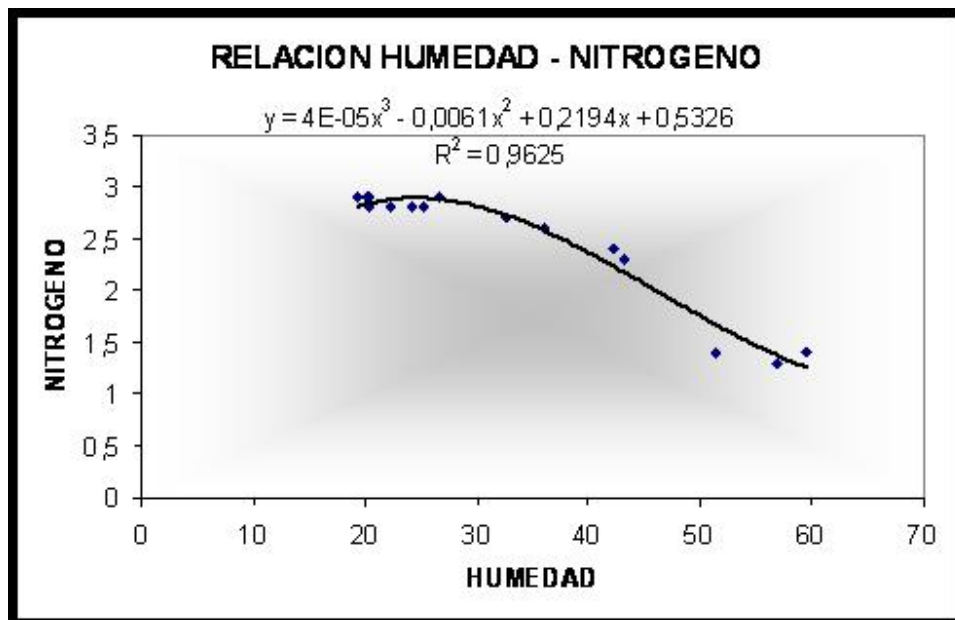


- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9722, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.
- La ecuación que representa el cambio del % nitrógeno con respecto al pH es la siguiente:

$$\% \text{ Nitrógeno} = - 1,0808 \text{ pH}^3 + 19,802\text{pH}^2 - 119,11\text{pH} + 237,01$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 18 se puede establecer el porcentaje de nitrógeno del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el valor del Ph de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de nitrógeno en esa etapa del proceso.
- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, tomando el valor del pH presente en el producto terminado.

Figura 35. Relación entre humedad y el nitrógeno puente nacional.



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9625, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Nitrógeno con respecto al porcentaje de humedad es la siguiente:

$$\% \text{ Nitrógeno} = 4 \times 10^{-5} \text{ Humedad}^3 - 0,0061 \text{ humedad}^2 + 0,2194 \text{ humedad} + 0,5326$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 19 se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el porcentaje de Humedad de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de Nitrógeno en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, tomando el valor de la Humedad presente en el producto terminado.

Por otro parte se debe analizarlos coeficientes de correlación de las demás variables de conformidad a las muestras realizadas, teniendo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 16. Valores de muestreo para las demás variables analizadas

VARIABLE	UNIDADES	Oct-11	Oct-13	Oct-18	Nov-08	Nov-12	Nov-16
PH	UNIDAD	6,7	6,6	6,7	6,8	6,9	7
HUMEDAD	%	32,6	25,2	20,3	20,3	20,2	19,3
COT	%	47,3	49,2	48,8	48,3	49,1	48,2
NITRÓGENO	%	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9
FÓSFORO	%	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3
HIERRO	%	0,39	0,39	0,41	0,41	0,43	0,44
ZINC	mg/Kg	3,2	3,6	3,8	2,3	4,3	3,8
MANGANESO	mg/Kg	54,3	57,4	59,3	52,3	65,3	63,2
COBRE	mg/Kg	1,1	1,1	0,9	1,1	1,2	1,2
CII	UNIDAD	26,7	28	27,6	28,2	28,1	28
POTASIO	%	0,95	0,81	0,82	0,77	0,78	0,83
CALCIO	%	5,1	4,9	5	5,2	5,2	5,1
MAGNESIO	%	3,1	3,2	3,1	3,2	3,4	3,3

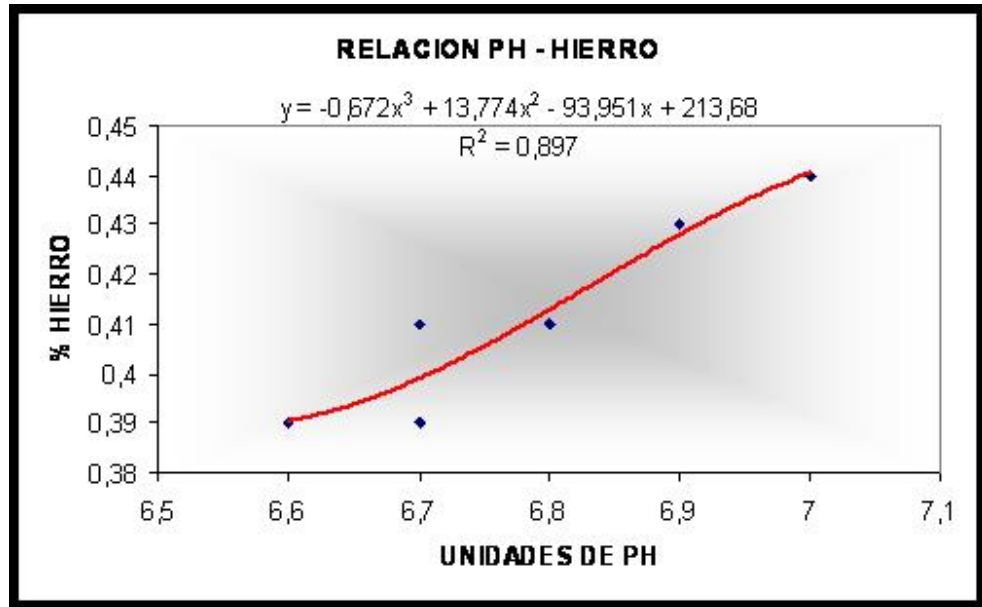
Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis.

Con los datos anteriores se procederá a realizarle un análisis de correlación de Pearson para obtener cuáles son las variables que pueden tener relación entre sí y poder analizarlas:

Tabla 17. Coeficientes de correlación para las variables

	PH	HUME	COT	NITRÓ	FÓSFO	HIERRO	ZINC	MANGA	COBRE	CII	POTA	CALCIO	MAGNE
PH	1,0000												
HUMEDAD	- 0,5666	1,0000											
COT	- 0,0991	- 0,5922	1,0000										
NITRÓGENO	- 0,7211	- 0,8909	- 0,4611	1,0000									
FÓSFORO	- 0,6919	- 0,7527	- 0,4064	- 0,7593	1,0000								
HIERRO	- 0,9430	- 0,7650	- 0,1821	- 0,8000	- 0,8026	1,0000							
ZINC	- 0,2373	- 0,2020	- 0,4727	- 0,0713	- 0,3867	- 0,4136	1,0000						
MANGANESO	- 0,5933	- 0,4983	- 0,4741	- 0,4503	- 0,6471	- 0,7445	- 0,9087	1,0000					
COBRE	- 0,6202	- 0,0389	- 0,0773	- 0,4472	- 0,2425	- 0,4472	- 0,1329	- 0,3598	1,0000				
CII	- 0,3795	- 0,8460	- 0,7232	- 0,9024	- 0,5526	- 0,5298	- 0,0571	- 0,3383	- 0,2929	1,0000			
POTASIO	- 0,2590	- 0,8607	- 0,7826	- 0,8455	- -0,6296	- -0,4492	- 0,0405	- -0,2802	- -0,0846	- 0,9569	1,0000		
CALCIO	- 0,6780	- 0,2393	- 0,3180	- 0,4889	- 0,6439	- 0,5168	- 0,2241	- 0,0727	- 0,4685	- 0,1423	- 0,1675	1,0000	
MAGNESIO	- 0,7167	- 0,5366	- 0,4388	- 0,7683	- 0,7197	- 0,7403	- 0,4731	- 0,7345	- 0,7809	- 0,6506	- 0,5464	- 0,4634	1,0000

Figura 36. Relación entre Ph y Hierro Puente Nacional



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,897, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

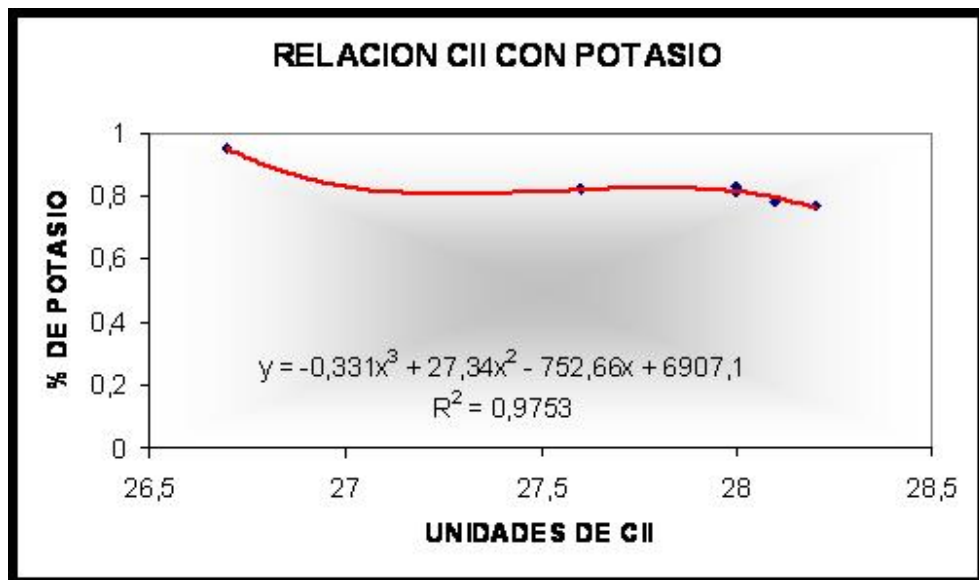
- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Hierro con respecto al pH es la siguiente:

$$\% \text{ Hierro} = -0,672 \text{ pH}^3 + 13,774 \text{ pH}^2 - 93,951 \text{ pH} + 213,68$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 20 se puede establecer el porcentaje de Hierro del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el valor del Ph de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de Hierro en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Hierro en el producto final a partir del valor de pH en el producto final.

Figura 37. Relación entre capacidad de intercambio iónico con potasio puente nacional

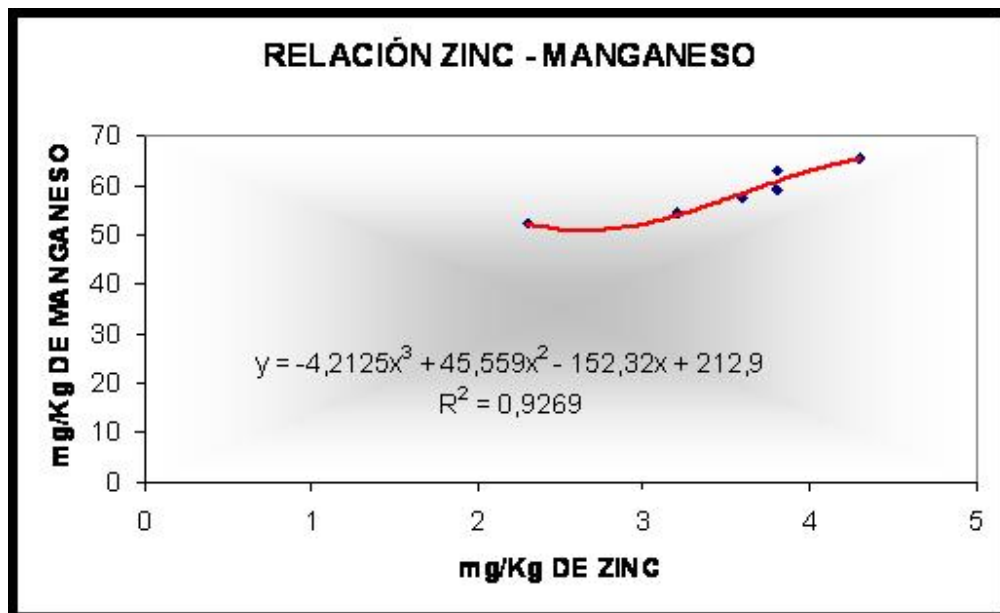


- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9753, siendo válido para describir el comportamiento entre estas dos variables.
- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Potasio con respecto a las unidades de Capacidad de Intercambio Iónico y es la siguiente:

$$\% \text{ Potasio} = - 0,331 \text{ CII}^3 + 27,34 \text{ CII}^2 - 752,66 \text{ CII} + 6907,1$$

- Con la ecuación anterior o el gráfico 21 se puede establecer el porcentaje de Potasio del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe analizar la capacidad de Intercambio Iónico de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de Potasio en esa etapa del proceso.
- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Potasio presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, realizando el análisis en laboratorio de la Capacidad de Intercambio Iónico presente en el producto terminado.

Figura 38. Relación entre zinc y manganeso Puente Nacional



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9269, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

- La ecuación que representa el cambio la cantidad de Manganeso con respecto a la cantidad de Zinc y es la siguiente:

$$\text{Mg/Kg. Manganeso} = - 4,2125 \text{ Zinc}^3 + 45,559 \text{ Zinc}^2 - 152,32 \text{ Zinc} + 212,9$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 22 se puede establecer la cantidad de Manganeso presente en cualquier instante del proceso, se debe analizar la cantidad de Zinc presente en la pila correspondiente y se podrá calcular la cantidad de Manganeso en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer la cantidad de Manganeso presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, realizando el análisis en laboratorio de la Cantidad de Zinc presente en el producto terminado.

6. MUNICIPIO DE LANDAZURI

6.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

El Municipio de Landazuri se encuentra ubicado geográficamente a 6°14´ de latitud norte y a 63°48´ de longitud oeste. Entre las coordenadas:

Norte	X: 1.030.621 ; Y: 1.217.546
Sur:	X: 1.025.534; Y: 1.173.310
Este:	X: 1.043.579; Y: 1.200.482
Oeste:	X: 997.431; Y: 1.179.571

El municipio se halla limitado en el Norte con los municipios de Puerto Parra y Vélez, al oriente con el Municipio de Vélez, al Sur con el municipio de Bolívar y al Occidente con el Municipio de Cimitarra.

DESCRIPCIÓN: El municipio de Landazuri tiene una superficie territorial de (600,5 Km²) y está conformado por el centro o Cabecera municipal (área urbana), ocho Corregimientos y 62 veredas (área rural).

➤ **Área urbana o Cabecera Municipal de Landazuri**

Constituida por 603 predios, con un área de terreno de 12.8210 hectáreas (0.12 Km²) y 47.471 metros cuadrados de construcción⁶, y una población de 2.906 (según SISD 2001). Está constituido por 11 Barrios: La Atalaya, Pueblo Nuevo, Primavera, Centro, El Jardín, Progreso, La Cadena, Las Brisas, Las Palmas, El Hospital y el Morro.

➤ **Área rural**

Está conformada por 4.459 predios con una superficie de 75.553,39 hectáreas (755.53 Km²) y 121.227 metros cuadrados de construcción (información obtenida de la base de datos del IGAC), con una población de 14.399 habitantes (según SISD, 2001). No obstante, la fuente de la base catastral digital, determina 60.443 hectáreas (604 Km²), que en resumida forma es el dato de análisis del actual Esquema de Ordenamiento.

La distribución veredal del Municipio se presenta según la estructura de dos tipos de organizaciones: según división IGAC conformada por 39 veredas; según división JAC conformada por 66 veredas distribuidas en 8 Corregimientos y la Cabecera Municipal, organización reconocida por la comunidad (JAC), de la siguiente forma:

⁶ Estadísticas catastrales, IGAC

Figura 39. Localización Municipio de Landazuri



La temperatura promedio es de 25°C, precipitaciones medias anuales de 3000 mm y Humedad relativa del 80%. Estos datos son los promedios extraídos de los monitoreos de la estación meteorológica de Cimitarra, siendo la más cercana al municipio.

El municipio de Landazuri, se distingue básicamente por presentarse en dos regiones geográficas:

Región Andina: de 1250 a 2200 msnm (precipitaciones máximas de 3000mm/año)

Región de Piedemonte: de 200 a 1250 msnm

Donde la precipitación obedece a un régimen bimodal, es decir, con dos periodos de invierno y dos de verano anualmente, lográndose ubicar los meses más lluviosos entre Abril – Mayo y Octubre – Noviembre, y los más secos entre Enero – Marzo y Julio – Agosto.

El municipio de Landázuri, se encuentra localizado, en la región andina, en la Provincia Subhúmeda media y alta, entre los 500msnm en el corregimiento La india (en límites con Cimitarra) y 3400msnm, en el Cerro de armas. El municipio presenta temperaturas que oscilan entre los 20°C y 26°C, con un promedio estimado de 23°C, con aproximadamente 1400 horas de brillo Solar, humedad relativa del 86%. Dando lugar a una disponibilidad muy buena de agua todo el año, aumentando su riqueza natural de fauna, flora y recursos hídricos.

Los valores de evapotranspiración para el municipio oscilan entre los 85 y 100 mm, y no inciden de manera notable en el comportamiento climático del mismo (lluvias), debido a la gran capacidad de producción hídrica en la región.

UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS: Esta unidad esta conformada por un jefe y posee a su cargo un auxiliar de planta, además de los empleados a contrato que demande esta unidad en los tiempos requeridos; la cuál se encarga de administrar y planificar los servicios públicos domiciliarios (Acueducto, Alcantarillado y Aseo) del Municipio de Landázuri, asumiendo en su defecto las funciones que tienen que ver con el manejo de la plaza de Mercado.

El servicio de recolección y aseo de la cabecera municipal es realizado por la Alcaldía Municipal. En el casco urbano se esta implementando el sistema de reciclaje de residuos sólidos, en dos diferentes días a la semana (ver cuadro).

Tabla 18. Características generales del sistema de recolección de basuras del municipio de Landázuri.

SISTEMA DE RECOLECCIÓN	DOMICILIARIO.
DÍAS DE RECOLECCIÓN	2 veces a la semana (Lunes: material orgánico; Martes: material reciclable)
EQUIPO RECOLECTORES	Volqueta Kodiak capacidad 6 m ³
PREDIOS CON RECOLECCIÓN	588.
TARIFAS	Cobro independiente
TRANSPORTE	Volqueta del municipio

Fuente: Los Autores

La disposición final de los residuos sólidos inorgánicos producidos en la zona urbana y veredas aledañas, es el relleno sanitario del Municipio de Cimitarra.

Tabla 19. Producción de Residuos en Landazuri

GENERADOR	Kg/dia	Kg/sem	Kg/mes	Kg/año
RESIDENCIAL	565.52	3958.61	15834.42	190013.04
COMERCIAL	37.28	260.93	1043.73	12524.74
INSTITUCIONAL Y OFICIAL	838.71	5870.97	23483.88	281806.56
BARRIDO DE CALLES	465.95	0.00	10368.00	124416.00
RECICLAJE / RECICLADORES	18.64	130.47	521.86	6262.37
TOTAL:	1926.09	13482.62	53930.49	647165.90

FUENTE: Secretaria de Planeación

Con los datos anteriores y conociendo la cantidad de usuarios y de habitantes en el municipio se establece la PPC para el municipio de Landazuri por kilogramo – habitante – día, para el total de los residuos.

6.2 CALCULO DE LA PPC Kg./hab.-día

$$\text{PPC (Kg./usuario-día)} = \frac{\text{PRODUCCION DIARIA LANDAZURI}}{\text{Nº DE VIVIENDAS TOTAL URBANA DEL MUNICIPIO}}$$

$$\text{PPC (Kg./usuario-día)} = \frac{1926,09 \text{ Kg.}}{588 \text{ usuarios}}$$

$$\text{PPC} = 3,27 \text{ (Kg./usuario-día)}$$

$$\text{PPC (Kg./hab.-día)} = \frac{\text{PRODUCCION DIARIA LANDAZURI}}{\text{POBLACION TOTAL URBANA DEL MUNICIPIO}}$$

$$\text{PPC (Kg./usuario-día)} = \frac{1926,09 \text{ Kg.}}{2940 \text{ habitantes}}$$

$$\text{PPC} = 0,65 \text{ (Kg./hab.-día)}$$

6.3 PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LANDAZURI

El servicio de recolección y aseo de la cabecera municipal es realizado por la Alcaldía Municipal. En el casco urbano se está implementando el sistema de reciclaje de residuos sólidos, en dos diferentes días a la semana

La disposición final de los residuos sólidos inertes producidos en la zona urbana y veredas aledañas, es el relleno sanitario del Municipio de Cimitarra.

Urbanamente el sistema de recolección y disposición final de residuos funciona de manera aceptable.

La carencia de un sitio de relleno sanitario o en su caso, una zona de disposición final de residuos dentro de la jurisdicción del Municipio de Landázuri, ha generado desorganización en este campo y un inusitado problema de orden administrativo local.

Se plantea una alternativa de solución regional al manejo de residuos sólidos (planta de compostaje), que conllevaría a un proyecto integral y ambientalmente más viable.

Ruralmente no se lleva a cabo ningún manejo de residuos sólidos ni tampoco existen campañas educativas que permitan solucionar este problema, logrando así evitar, la contaminación sobre el entorno y permitiendo prevenir problemas de salubridad pública, que se otorgarían en el tiempo, al tratar de manera conciente los residuos sólidos generados.

Se realizó visita al municipio de Landazuri el día 17 de abril para realizar el diagnóstico de la planta de compostaje y el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.

La planta de compostaje del municipio de Landázuri está ubicada a las afueras del pueblo, vía corregimiento de Choroló, consta de un área de 263,34 m², techada en zinc y encerrada en una base de cemento y malla. (Ver figura 42).

Figura 42. Estructura planta compostaje Landázuri



La recolección de los residuos orgánicos son los días lunes y jueves, su estructura es piso en concreto con canales recolectores de lixiviados que llevan a reactor biológico de lixiviado, posee una zona de recepción y clasificación, una tolva de recepción, una banda transportadora, un triturador vertical de martillos, un tornillo sin fin para el transporte de los residuos picados a las celdas de proceso, unas celdas de maduración, unas celdas de secado y unas áreas de tamizado y empaque.

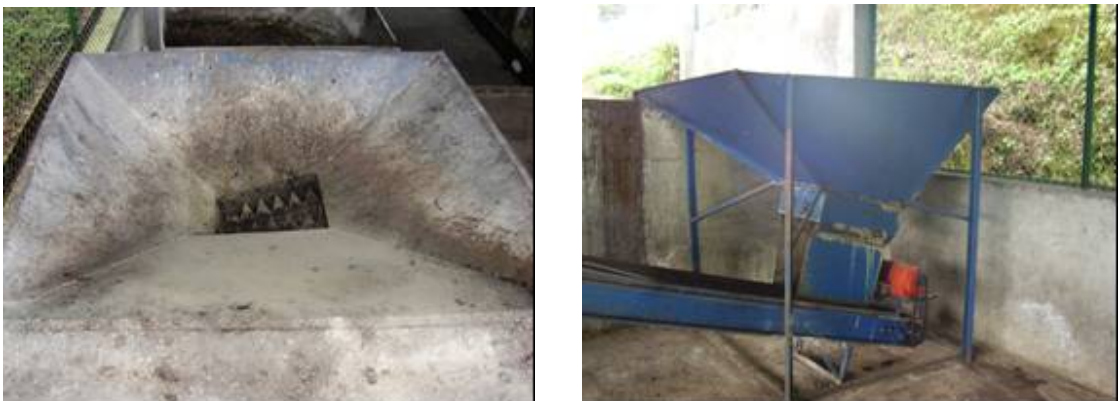
En el momento de la recolección, los residuos orgánicos son despojados de las bolsas y depositados en el vehículo que está acondicionado para transportarlos hasta la planta, en donde son depositados en la rampa de la tolva (ver figura 43).

Los residuos orgánicos son seleccionados y son arrojados con palas manuales por un operador a la tolva de recepción que esta adjunta a la rampa, para iniciar el proceso de trituración (ver figura 44).

Figura 43. Rampa Descarga Residuos Orgánicos



Figura 44. Tolva recepción residuos orgánicos



Los residuos orgánicos vienen mezclados con paquetes plásticos, latas, huesos, entre otros, por lo que hay que hacerle una preselección en la banda transportadora, la cual es plana y no cuenta con pestañas para evitar el derrame de los residuos orgánicos al suelo por lo tanto hay que ir agregando poca cantidad a la tolva para que se transporten poca cantidad, disminuyendo la eficiencia del proceso, es de anotar que en la actualidad se coloca un plástico en el piso de la banda para que los residuos que se salen caigan ahí y puedan ser recogidos; en la parte baja de la banda se cuentan con operarios que realizan la última clasificación de los residuos antes de ser triturados (ver figura 45).

Figura 45. Preselección Banda Transportadora



Después de ser seleccionados por última vez pasan al triturador el cual es vertical, está conformado por martillos y cuchillas, para obtener un tamaño de partícula entre 2 y 3 mm óptimo para el proceso de compostaje. (Ver figura 46).

Figura 46. Molino triturador



Una vez triturados son transportados por el tornillo sin fin (Ver figura 47) a las celdas de maduración este tornillo presenta el inconveniente que se debe controlar la velocidad porque de lo contrario no se puede distribuir uniformemente en las celdas los residuos y además se pueden presentar derrame de residuos, el tornillo cuenta con un soporte metálico que lleva los residuos y sobre cada celda hay una salida con compuerta que se abre o se cierra dependiendo de la celda a llenar, el tornillo tiene una extensión aproximada de 15 metros.

Figura 47. Tornillo sin fin



Posteriormente encontramos dos celdas de maduración de los residuos, en cuya base de las celdas hay una malla que permite efectuar la inyección del aire para oxigenar el material y crear el ambiente aerobio para los microorganismos. Este proceso se realiza con un ventilador, adicionalmente a cada celda le incrustan tubos de pvc perforados para homogeneizar la aireación (Ver Figura 48).

Figura 49. Malla fondo de la celda y ventilador de aireación celdas



Luego de cumplir el período de maduración, el material particulado es trasladado a las celdas de secado (ver figura 50), se presentan 5 celdas de secado las cuales contienen tubos perforados en pvc pero presentan capas de material triturado muy densa, esto hace que el proceso de secado sea muy lento, debido a que no hay oxigenación y se conserva mayor humedad. Por otra parte, las celdas de secado no tienen desnivel ni tubería que conduzca los lixiviados al exterior, esto hace que el líquido se quede atrapado por el material particulado en la superficie.

El material es trasvasado en cada una de las celdas por un operario con ayuda de una pala pero presentando bastante deficiencia en la oxigenación ya que una vez es incorporado el material a la celda esta no se puede remover ni airear por no contar con un sistema de aireación adecuado, pero por los Volúmenes a tratar de material triturado no se presenta acumulación de material en las celdas.

Figura 50. Celdas para Secado, tubos de aireación de las Celda de secado



El material allí depositado presentaba problemas de humedad, debido a que no tenía un espacio en la base de la cava que permitiese la circulación de los lixiviados, por lo que se quedaba empozado y era absorbido nuevamente por el material triturado. Para darle solución a lo anterior, colocaron guadua en la base dejándola en desnivel y al llenarlas dejan por mitad para poder realizar volteos cada séptimo día (Ver figura 51).

Figura 51. Guadua como falso fondo para percolar el lixiviado



El control biológico de plagas lo están realizando manualmente; en las cavas de secado las capas superiores del material particulado que están secas las van retirando para evitar que allí se incuben las moscas, finalmente se procede al tamizado del producto y el empaque del producto como se ve en la figura 52.

Figura 52. Pesaje y empaque del producto



En este proceso se demora 20 días; de allí pasa a la zona de secado final, donde le hacen un regado al material particulado. Luego es pasado por el tamiz para finalmente empacarlo en los sacos (45 kg), para su posterior comercialización.

El proceso total para obtener el compost está alrededor de 45 días; lo anterior debido a una serie de aspectos que deben mejorar y que mencionare a continuación, es importante recalcar que en esta planta de compostaje no se cuenta con energía eléctrica para el funcionamiento de los motores por lo tanto se cuenta con una planta diesel generadora de electricidad pero tiene el inconveniente de producir una excesiva contaminación por ruido ya que se encuentra instalada dentro de la planta de procesamiento. (ver figura 53)

Figura 53. Planta generadora de energía



Por ultimo se encuentra el reactor de lixiviados a donde legan todos lixiviados que se producen en la planta, el cual se encuentra en las afueras de la planta, tiene un volumen de 1000 litros es de PVC pero no cuenta con ningún tratamiento final de esos lixiviados. (ver figura 54).

Figura 54. Reactor de lixiviados.



6.4 DESCRIPCIÓN EQUIPOS DE LA PLANTA

Para conocer la capacidad de la planta se presentan las capacidades técnicas de cada uno de los equipos instalados:

BANDA TRANSPORTADORA DE SEPARACION

- * Capacidad de transporte: 1 a 2 toneladas por hora
- * Ancho de la banda: 15"
- * Longitud: 6 metros
- * Potencia transportador: 1 Hp
- * Voltaje 220 trifásico

COMPONENTES DE LA BANDA

- * Estructura en laminas de Acero colroll de calibre 14 de espesor. Bases y soportes Perfiles en L de 2" x 1/16"
- * Motoreductor: 1 Hp a 90 r.p.m
- * Guarda motor, Contactor Siemens, con protección térmica contra sobrecargas y cortocircuitos.
- * Sistema Transmisión por piñones y cadenas paso 50
- * Chumacera de placa de 1¹/₄" diámetro interno
- * Banda corrugada de 2 lonas de 15"
- * Recubrimiento en la parte interna y externa por pintura anticorrosivo y acrílico en el exterior.
- * Dimensiones, altura 160 cm, Ancho 50 cm, Largo 5 m, Peso 250 Kg.

TRITURADOR

- * Capacidad de trituración: 1 a 2 toneladas por hora
- * Número de martillos: 30
- * Potencia trituradora: 10 Hp. Potencia alimentador: 1 Hp
- * Voltaje: 220 trifásico
- * Dimensiones de triturado: 0.5 cm a 2 cm

COMPONENTES DE LA TRITURADORA

- * Carcaza y rotor en las láminas de Acero de $1/4"$ $1/2"$ de espesor, estructura y base en perfiles en U de $3" \times 1/8"$
- * Motor de accionamiento del Rotor 10 Hp a 1800 rpm
- * Motoreductor de alimentación de 1 Hp a 60 rpm
- * Guarda motor – Contactor, protección térmica contra sobrecargas y cortocircuitos.
- * Sistema Transmisión por poleas en 2 canales en hierro gris y correas en v
- * Eje de 60 cm de largo de $2\frac{1}{2}"$ en Acero 4140
- * Chumaceras de $1\frac{1}{4}"$ diámetro interno
- * 30 martillos de corte, con esfuerzo en soldadura 7018, con una duración garantizada de 6 meses de trabajo continuo.
- * Recubrimiento en la parte interna y externa por una película galvanizada anticorrosión y además pintura anticorrosiva y acrílica en el exterior.
- * Dimensiones: altura 170 cm, ancho 80 cm, largo 1,20 cm, peso 200 Kg.

TORNILLOS DE TRANSPORTE

- * Capacidad de transporte de 1 a 2 toneladas por hora
- * Ancho del tornillo $7"$
- * Longitud 10 metros
- * Potencia transportador: 2 Hp
- * Voltaje 220 trifásico

COMPONENTES DEL TORNILLO

- * Tornillo en lámina de acero de $1/8"$ y carcaza, calibre 14 de espesor
- * Motoreductor 2 Hp salida a 90 r.p.m
- * Guarda motor-contactor, con protección térmica contra sobrecargas y cortocircuitos.
- * Chumaceras de placa de $1\frac{1}{4}"$ diámetro interno
- * Transmisión por piñones y cadena paso 50
- * Recubrimiento en la parte interna por pintura anticorrosiva y acrílica en el exterior
- * Dimensiones: altura 150cm, ancho 20 cm, largo 8m, peso 100 kg

SISTEMA DE AIREACION PARA LOS SILOS

- * Potencia: 1 Hp
- * Flujo de aire mínimo: 300 cfm
- * Tubería en manguera de $2\frac{1}{2}"$ y $1\frac{1}{2}"$

COMPONENTES DEL EQUIPO DE VENTILACION

- * Soplador centrífugo, flujo mínimo 300 cfm. 2 psi, motor de 1 Hp a 3600 rpm
- * Guarda motor-contactor siemens, con protección térmica contra sobrecargas y cortocircuitos.
- * 2 mallas 2×1 para la entrada de aire en acero galvanizado calibre 14 a los silos
- * Recubrimiento en la parte interna y externa por pintura anticorrosiva y acrílica en el exterior
- * Dimensiones: altura 60cm, ancho 200 cm, largo 70 cm, peso 50 kg.

PLANTA MOVIL DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DE 15 KW

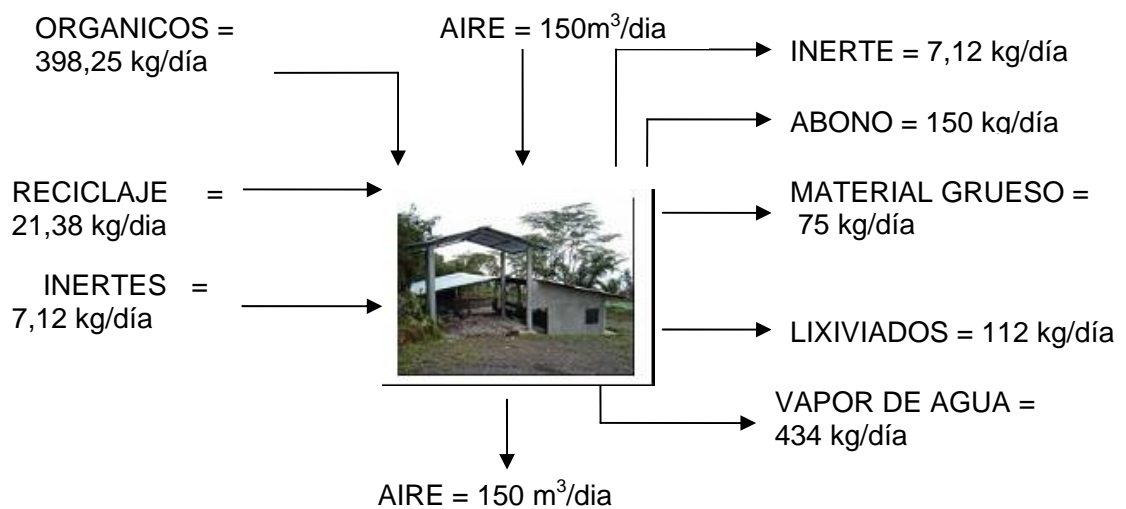
- * Generador trifásico de 15 kw
- * Motor Diesel LISTER de 20 Hp
- * Acople flexible motor generador

- * Tablero de control
- * Arranque Manual
- * Tanque base de combustible

6.5 BALANCE DE MATERIA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE LANDAZURI

Teniendo en cuenta la caracterización de los residuos y la capacidad de producción de la planta de compostaje se obtiene el siguiente balance:

Figura 55. Balance de materiales para la Planta de Compostaje Landazuri



Del balance de materia se obtiene que la planta de compostaje de Landazuri procesa 398,25 kilogramos por día de materia orgánica previamente seleccionada en la fuente y sin embargo llegan a la planta un total de 7,12 kilogramos por día de material inerte y un total de 21,38 kilogramos por día de reciclaje.

Se le inyectan un total de 150 metros cúbicos por día de aire forzado por medio de un ventilador de tiro inducido para lograr mantener la cantidad de oxígeno necesaria dentro de las dos primeras celdas de compostación pero cuando son trasladadas a las otras celdas ya no se le agrega aire pues no se tienen conectadas al ventilador esas celdas..

Los residuos inertes que ingresan, se retiran durante todo el proceso de producción y salen en la misma cantidad como residuos inertes y son dispuestos en el relleno sanitario.

Se generan 150 kilogramos por día de mejorador de suelos logrando una transformación aproximada del 20% a partir de los residuos sólidos orgánicos que ingresan; de igual manera se están generando 75 kilogramos por día de material grueso el cual se reprocesa para que cumpla con el tamaño de partícula adecuado para su comercialización.

Durante el procesamiento de los residuos orgánicos se generan 112 kilogramos por día de lixiviados que son líquidos que se generan por lixiviación de las celdas de compostación los cuales son excelentes caldos nutritivos que son reprocesados siendo agregados al material que se encuentra en las celdas para mejorar su humedad y garantizar su reutilización.

Por ultimo se generan 434 kilogramos por día de vapor de agua ya que una vez los residuos orgánicos pasan por el proceso de fermentación se procede a realizarles un secado que se realiza en zona abierta durante aproximadamente 3 a 4 días de forma cubierta, la cual se la van haciendo volteos periodicos con el fin de ayudar al secado y garantizando una humedad final adecuada para su comercialización.

6.6 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE LANDAZURI

Se presentan a continuación un análisis económico de conformidad a los datos suministrados por la unidad de servicios públicos adscrita al municipio entidad encargada de la operación y funcionamiento de la planta de compostaje por lo cual se presenta el estado de resultados y el balance de causación de la planta para el año 2005.

Tabla 20. Estado de Resultados de la Planta de Compostaje de Landazuri

DICIEMBRE 31 DE 2005
(Cifras en miles de pesos)

Cuentas		
INGRESOS		32,860
INGRESOS PLANTA	32,860	
Ingresos venta Mejorador de suelos	7,200	
Ingresos por Tarifas	7,056	
Subsidio Alcaldia	18,604	
GASTOS		32,860
GASTOS DE FUNCIONAMIENTO	19,200	
Personal operación planta compostaje	19,200	
GASTOS OPERACIONALES	13,660	
Mantenimiento	8,000	
Energia Combustible ACPM	5,660	
UTILIDAD DEL EJERCICIO		-

Fuente: Unidad de Servicios publicos Landazuri.

El estado de resultados (estado de pérdidas y ganancias) se establece para el año 2005 y presenta ingresos por venta del mejorador de suelos en presentación de bultos de aproximadamente 30 kilos, con un costo por bulto de \$4.000, un ingreso por vía tarifas y un subsidio por parte de la alcaldía ya que el municipio no cuenta con un estudio tarifario acorde con los costos de operación del servicio de aseo en general. Presenta unos Gastos asociados al personal para asegurar la operación de la planta y su correcto funcionamiento.

En los gastos operacionales se presentan en mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento de la maquinaria pues es una operación que no puede parar mas de tres días; y los gastos asociados al consumo de energía que vienen representados por los consumos de ACPM para el funcionamiento de la unidad generadora de energía.

No se obtiene ninguna utilidad por no contar con un equilibrio económico debido principalmente a no contar con un sistema tarifario adecuado para cubrir los costos asociados a la prestación del servicio de aseo y su disposición final, por tal motivo la alcaldía municipal debe subsidiar todo el servicio de aseo del Municipio, donde corresponde a disposición final de residuos orgánicos el valor de \$18.604.000, para lograr equilibrio económico en la planta.

Tabla 21. Balance General de la Planta de Compostaje Landazuri

DICIEMBRE 31 DE 2005
(Cifras en miles de pesos)

ACTIVO		PASIVO	
CORRIENTE	430	CORRIENTE	0
EFFECTIVO	400	Operaciones de Credito	0
Caja	400	Obligaciones Financieras	0
Rentas por Cobrar	0	Cuentas por pagar	0
DEUDORES	0	Obligaciones laborales	0
Cuentas por cobrar	0	Pasivos estimados	0
INVENTARIOS	30		
Materiales prestación del servicio	30	NO CORRIENTE	0
		Cuentas por pagar	0
NO CORRIENTE	171,400	Obligaciones laborales	0
PROPIEDAD PLANTA Y EQUIPO	171,400	TOTAL PASIVO	0
Terreno	50,000		
Maquinaria y Equipo	120,000	PATRIMONIO	171,830
Depreciación Acumulada	1,400	CAPITAL SOCIAL	171,830
		UTILIDAD DEL EJERCICIO	0
TOTAL ACTIVO	171,830	TOTAL PATRIMONIO	171,830
		TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO	171,830

Fuente: Unidad de servicios Públicos de Landazuri.

En el balance encontramos que posee a 31 de diciembre de 2005 la suma de \$400.000 en caja, cuenta con inventarios equivalentes a las herramientas que se utilizan para la operación; cuenta con un terreno propio avaluado en \$50.000.000, y la maquinaria y equipo avalado en \$120.000.000, una depreciación acumulada por los equipos de \$1.400.000; para un total de activos de \$171.830.000.

En cuanto a pasivos no presenta la planta y presenta un patrimonio de \$171.830.830 representados en capital social por que no presenta utilidad del ejercicio.

En el balance anterior se tiene en cuenta que los operarios de recolección son los mismos que ejecutan las operaciones de la planta, por ello se les asigno un porcentaje de su sueldo para cada componente; el conductor es el mismo que realiza la recolección de los residuos inertes, como también los gastos de la volqueta son trabajados por porcentajes.

El agua que se utiliza en la planta es recogida por medio de canales cuando llueve, lo cual no genera ningún costo.

La energía para mover la maquinaria de la planta, es generada por un motor DIESEL y los gastos de consumo de ACPM son asumidos en el funcionamiento de la planta.

Los ingresos para la prestación del servicio incluyendo la planta de compostaje están dados por:

- Sistema general de participaciones
- Fondos especiales (recaudos por facturación de aseo)
- Recursos propios (recaudos de impuestos)
- Venta del recuperador de suelos.

6.7 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE LANDAZURI

Para conocer la calidad del producto y analizar el proceso productivo se realizaron los análisis de laboratorio de las muestras de producto tomadas en la planta de compostaje, desde el inicio cuando llega el producto fresco y semanalmente se tomaron dos muestras logrando tener una secuencia de la evolución o maduración del producto dando los siguientes resultados:

- ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras fueron tomadas por el personal de cada una de las plantas, para lo cual se tomo aproximadamente 1,5 kg. Para cada muestra, almacenando la misma en bolsas apropiadas y debidamente etiquetadas para ser transportadas al laboratorio para su análisis correspondiente.

El monitoreo se llevo a cabo durante aproximadamente 4 semanas tiempo el cual dura el proceso de aprovechamiento, con el fin de realizar un seguimiento a los porcentajes y concentraciones de los diferentes parámetros incluidos en el estudio.

Para el análisis de las muestras, el laboratorio, usa los métodos listados a continuación:

Tabla 22. Métodos de análisis pruebas de Laboratorio Landazuri

PARAMETRO	METODO DE ANÁLISIS
PH	NORMA ICONTEC 684
TEXTURA	GRANULOMETRIA
HUMEDAD	NORMA ICONTEC 529
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	S.M.5310 – C Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
NITRÓGENO	S.M. 4500 NT.B Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
FÓSFORO	NORMA ICONTEC 233 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
HIERRO	S.M. 3500 Fe
ZINC	NORMA ICONTEC 954 Y/O S.M. 3500 – Zn
MANGANESO	S.M. 3500 – Mn
COBRE	NORMA ICONTEC 627 Y/O S.M. 3500 – Cu
CAPACIDAD INTERCAMBIO IONICO	NORMA ICONTEC 712 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
POTASIO	NORMA ICONTEC 202 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
CALCIO	S.M. 3500 – Ca
MAGNESIO	NORMA ICONTEC 643

Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis.

Las pruebas de temperatura se realizaron directamente en la planta de compostaje y se realizaron sobre una misma celda cuyos datos se consignan en la tabla 23.

Tabla 23. Toma de Temperatura en Landazuri

Fecha	Hora	Temperatura (°C)
10/1/2005	8:00	15
10/2/2005	8:00	17
10/3/2005	8:00	18
10/4/2005	8:00	25
10/5/2005	8:00	30
10/6/2005	8:00	35
10/7/2005	8:00	40
10/8/2005	8:00	46
10/9/2005	8:00	52
10/10/2005	8:00	55
10/11/2005	8:00	60
10/12/2005	8:00	61
10/13/2005	8:00	61
10/14/2005	8:00	62
10/15/2005	8:00	64
10/16/2005	8:00	64
10/17/2005	8:00	66
10/18/2005	8:00	65
10/19/2005	8:00	64
10/20/2005	8:00	63
10/21/2005	8:00	64
10/22/2005	8:00	65
10/23/2005	8:00	62
10/24/2005	8:00	61
10/25/2005	8:00	58
10/26/2005	8:00	57
10/27/2005	8:00	50
10/28/2005	8:00	45
10/29/2005	8:00	35
10/30/2005	8:00	25
10/31/2005	8:00	23

Fuente: Los Autores

Tabla 24. Análisis fisicoquímico de Compost en Landazuri

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 1-LAN-05

Fecha de emisión: Octubre 18 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 – 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del

Muestras tomadas por: EMSERPUNAL

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – Landazuri**

Fecha de muestreo: Octubre 6,10 y 13 de **Tipo de muestras:** Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Octubre 14 de **Fecha de análisis:** Octubre 11 – 17 de

ANALISIS FISICOQUIMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST LANDAZURI OCT. 6/05	COMPOST LANDAZURI OCT. 10/05	COMPOST LANDAZURI OCT. 13/05		
PH	5.8	5.7	5.6	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	63.1	61.4	60.2	%	25 – 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	36.8	43.2	48.7	%	40 – 60
NITRÓGENO	0.85	0.77	0.91	%	1 - 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 25. Análisis fisicoquímico de Compost en Landazuri

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 2-LAN-05

Fecha de emisión: Octubre 31 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del Cliente **Muestras tomadas por:**

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – LANDAZURI**

Fecha de muestreo: Octubre 17,20 Y 24 de **Tipo de muestras:** Muestra

Fecha / Hora de recepción: Octubre 25 de 2005 **Fecha de análisis:** Octubre 25 – 31

ANALISIS FISICOQUIMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST LANDAZURI OCT.17/05	COMPOST LANDAZURI OCT. 20/05	COMPOST LANDAZURI OCT.24/05		
PH	5.9	6.2	6.3	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	56.3	52.1	50.2	%	25 – 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	40.2	44.3	41.3	%	40 – 60
NITRÓGENO	1.2	1.1	1.3	%	1 – 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 26. Análisis fisicoquímico de compost en landazuri

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 3-LAN-05

Fecha de emisión: Noviembre 16 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del Cliente **Muestras tomadas por:**

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – LANDAZURI**

Fecha de muestreo: Octubre 27, Nov. 2 y 10 de **Tipo de muestras:** Muestra

Fecha / Hora de recepción: Noviembre 11 de **Fecha de análisis:** Octubre 31 – Nov

ANALISIS FISICOQUIMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST LANDAZURI OCT.27/05	COMPOST LANDAZURI NOV.2/05	COMPOST LANDAZURI NOV. 10/05		
PH	6.3	6.4	6.3	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	46.3	43.5	44.2	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	44.1	42.4	39.6	%	40 – 60
NITRÓGENO	1.5	1.4	1.3	%	1 – 3
FÓSFORO	0.74	0.56	0.87	%	1.5 - 10.0
HIERRO	0.31	0.26	0.28	%	-
ZINC	0.05	0.04	0.04	mg/Kg	Mayor 10

MANGANESO	74.2	63.5	76.2	mg/Kg	-
COBRE	1.8	1.1	1.7	mg/Kg	Mayor 0.2
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO	32.1	26.8	28.4	UNIDADES	15 -2 5
POTASIO	0.52	0.43	0.48	%	1.0 – 3.0
CALCIO	5.6	5.3	5.1	%	3 – 5
MAGNESIO	2.3	1.9	2.1	%	1 -2

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 27. Análisis fisicoquímico de Compost Landazuri

NFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 5-LAN-05

Fecha de emisión: Noviembre 30 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 – 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del Cliente **Muestras tomadas por:**

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – LANDAZURI**

Fecha de muestreo: Noviembre 12, 15, 19 de **Tipo de muestras:** Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Noviembre 20 de **Fecha de análisis:** Noviembre 20 – 30

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST LANDAZURI NOV.8/05	COMPOST LANDAZURI NOV.12/05	COMPOST LANDAZURI NOV.16/05		
PH	7.1	7.1	6.8	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	24.1	22.3	22.6	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	40.8	39.8	36.8	%	40 – 60
NITRÓGENO	2.8	2.9	2.9	%	1 – 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 28. Análisis físicoquímico de Compost en Landazuri**INFORME DE LABORATORIO****Informe No.:** 4-LAN-05**Fecha de emisión:** Noviembre 30 de 2005**Solicitante:** EMSERPUNAL**Dirección:** Carrera 10 N° 13 – 78 San Gil. Tel: 7247828**Protocolo de muestreo:** Protocolo del Cliente **Muestras tomadas por:**Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – LANDAZURI****Fecha de muestreo:** Nov. 21,23 Y 25 de 2005**Tipo de muestras:** Muestra Compost.**Fecha / Hora de recepción:** Noviembre 26 de**Fecha de análisis:** Noviembre 26 – 30

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST LANDAZURI NOV.21/05	COMPOST LANDAZURI NOV.23/05	COMPOST LANDAZURI NOV.25/05		
PH	6.5	6.5	6.5	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	34.2	37.3	31.1	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	40.1	39.4	37.9	%	40 – 60
NITRÓGENO	1.8	1.6	1.7	%	1 – 3
FÓSFORO	0.85	0.84	0.98	%	1.5 - 10.0
HIERRO	0.30	0.28	0.31	%	-
ZINC	0.06	0.05	0.05	mg/Kg	Mayor 10
MANGANESO	71.0	68.1	74.2	mg/Kg	-
COBRE	1.6	1.5	1.8	mg/Kg	Mayor 0.2
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IÓNICO	30.4	28.1	29.2	UNIDADES	15 -2 5
POTASIO	0.57	0.48	0.51	%	1.0 - 3.0
CALCIO	5.5	5.4	5.3	%	3 – 5
MAGNESIO	2.7	2.1	2.2	%	1 -2

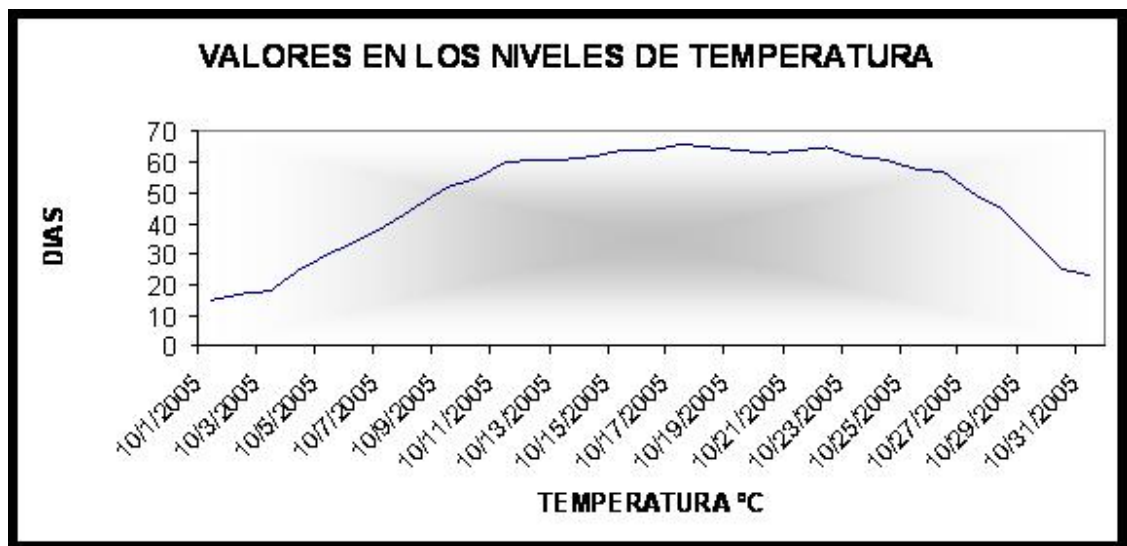
FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Con los análisis fisicoquímicos del compost se procederá a realizarle una valoración, análisis e interpretación de forma estadística de cada una de las variables, su evolución o cambio a través del tiempo para obtener información sobre el proceso realizado y de la calidad del producto que se obtiene.

En primer lugar se analizara la evolución o cambio experimentado por cada una de las variables estudiadas y su comportamiento con relación al proceso, a los valores teóricos ideales y su importancia dentro des esquema productivo de la planta.

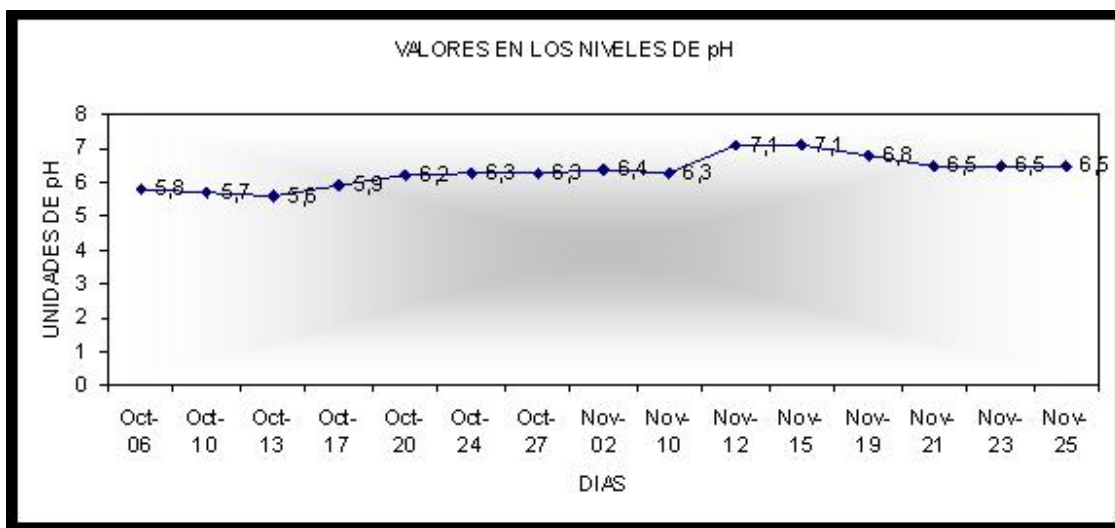
El monitoreo se llevo a cabo durante aproximadamente 4 a 5 semanas tiempo el cual dura el proceso de aprovechamiento, con el fin de realizar un seguimiento a los porcentajes y concentraciones de los diferentes parámetros incluidos en el estudio.

Figura 56. Valores En Los Niveles De Temperatura En Landazuri



- Se observa que se presentan las dos regiones de temperatura la mesofílica que va hasta 35°C y la termofílica entre 55 y 65 °C para luego presentar un descenso en la temperatura indicando que el proceso se termina.
- La subida de temperatura se produce por una fermentación asociada a reacciones exotérmicas por parte de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos.
- La temperatura máxima alcanzada fue de 66°C.
- Se observa que se presento un periodo de mas de 3 días con temperaturas superiores a los 60°C lográndose de esta forma que se destruyan la mayoría de los organismos patógenos.
- Durante el proceso de fermentación se presentan buenos perfiles de temperatura asegurando la correcta descomposición de los residuos orgánicos a pesar de no contar con caldos microbianos.

Figura 57. Valores en los niveles de Ph Landazuri

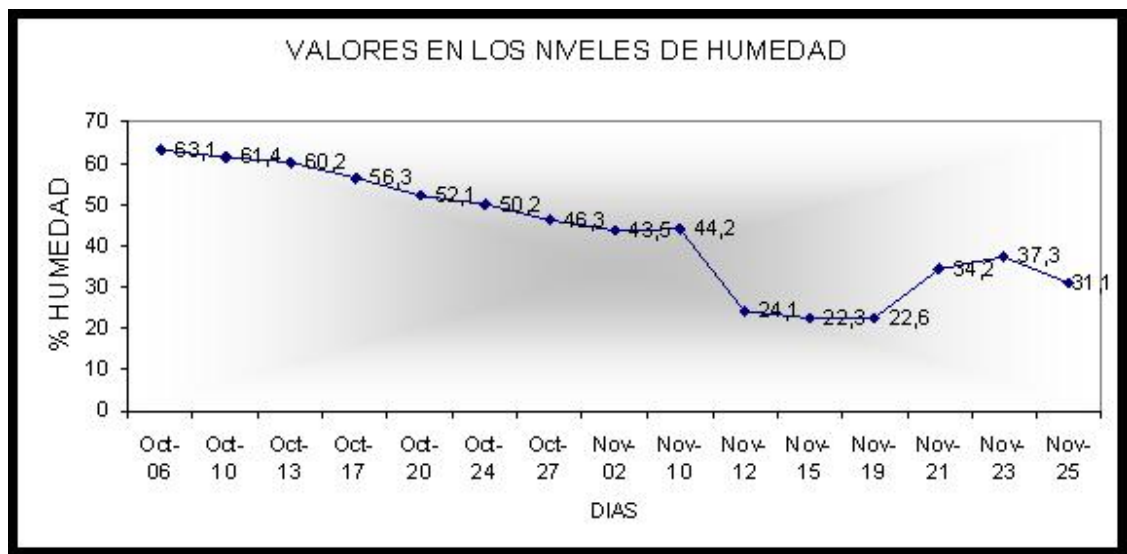


- Para lograr una descomposición aerobia optima, el pH debería permanecer en el rango de 7 a 7.5.
- Para minimizar la pérdida de nitrógeno en la forma de gas amonio, el pH no debería sobrepasar un valor de 8,5, observándose que este fenómeno no se esta presentando durante todo el proceso de descomposición.
- Las condiciones ambientales de pH tienen un efecto sobre la supervivencia y el crecimiento de los microorganismos. La concentración de iones de hidrogeno, expresada como pH, no es un factor significativo en el crecimiento de microorganismos, en si mismo, dentro de la gama de 6 a 9.
- Generalmente el pH optimo en el crecimiento bacteriano queda entre 6.5 y 7.5; sin embargo cuando el pH sube por encima de 9 o baja por debajo de 4.5 parece que las moléculas sin disociar de los ácidos débiles o bases pueden entrar pueden entrar en la célula más fácilmente que los iones de hidrogeno y oxidrilo y, alterando el pH interno, dañar la célula.
- El valor mínimo encontrado fue de 5,6 en la primera semana de la toma cuando el producto está fresco y se va incrementado a medida que se va degradando la materia orgánica lentamente hasta lograr un máximo en la cuarta semana de 7,1.
- El valor de pH inicial de los residuos sólidos orgánicos está normalmente entre 5 y 7, observándose que en Ladazuri se presentan valores alrededor de 5.8.
- El valor de pH varia según el perfil pH – tiempo que se muestra en el gráfico 25. En los primeros días de compostaje el pH cae a 5.6, en esta etapa la masa orgánica esta a temperatura ambiente, comienza la reproducción de organismos mesofílicos y empieza a

subir rápidamente la temperatura. Entre los productos de esta etapa inicial de aproximadamente 3 días, la temperatura llega a la etapa termofílica, y el ph empieza a subir hasta 7.1 para el resto del proceso aerobio. El pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a valores de 6.8 a 7 en el compost maduro.

- En la última muestra que equivale al producto listo para ser comercializado se observa que el Ph presenta valores de 6,5 siendo apto para el uso de suelos agrícolas y en cualquier cultivo a ser utilizado.
- Se concluye que la aireación forzada que se realiza asegura la descomposición aerobia, ya que si la aireación no es la adecuada se producirán condiciones anaerobias y el pH caerá a valores hasta aproximadamente 4 a 5 y el proceso de compostaje se retrasaría.
- Esta variable juega un papel muy importante en el análisis de laboratorio ya que es de fácil toma o muestreo y se puede correlacionar con otras variables mediante una ecuación de regresión conocida y así poder establecer valores de otras variables sin necesidad de realizar su análisis.

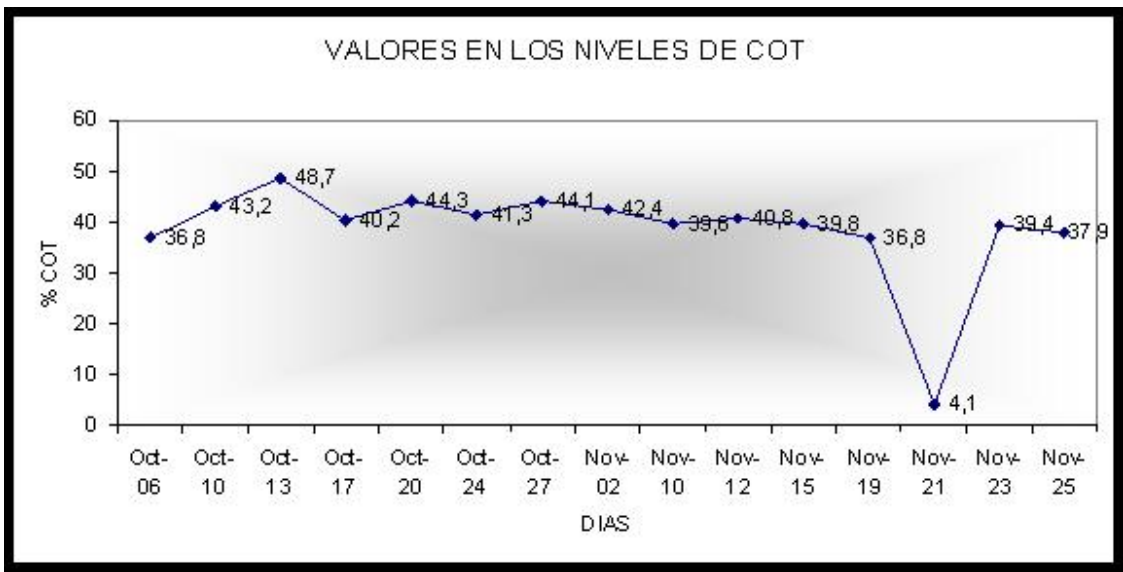
Figura 58. Valores en los niveles de humedad Landazuri



- Se observa que la humedad inicial es grande empezando en un 63,1% lo que indica que el producto fresco (residuo sólido domiciliario) contiene altas cantidades de agua, pero una vez se tritura y se composta en la pila de producción empieza a perder humedad por escorrenteria la cual va aumentando a medida que el proceso pasa a ser termofílico y con el aumento de la temperatura se pierde humedad por evaporación haciendo reducir la humedad en la mitad de proceso hasta un valor de 22,6 %, a partir de la cual se mantiene casi estable y durante el proceso de enfriamiento se presenta un aumento considerable de la humedad no apto para las condiciones llegando a un valor de 31,1%

- El contenido de humedad debería estar entre el 50% y el 60% durante el compostaje siendo un valor óptimo el 55%, por tal motivo es necesario en la planta de Landazuri, agregar agua desde el principio del proceso hasta su culminación, para lograr aumentar la humedad de las pilas de compostaje, esto con el fin de obtener una óptima actividad bacteriana.
- La humedad puede ajustarse mediante la adición de agua o de lixiviados ya que si el contenido de humedad cae por debajo del 40% se reduce la velocidad de fermentación, hecho que está ocurriendo desde la segunda semana del proceso.
- La humedad final del 31,1% se está logrando en corto tiempo (20 días), logrando que durante su almacenamiento en la bodega no se produzca fermentación del producto, se evite la producción de hongos, se disminuya su peso para el transporte y se entregue el producto final con una humedad final adecuada. Sin embargo se recomienda tratar de disminuir la humedad del producto final hasta lograr valores de alrededor de 10% de humedad final.

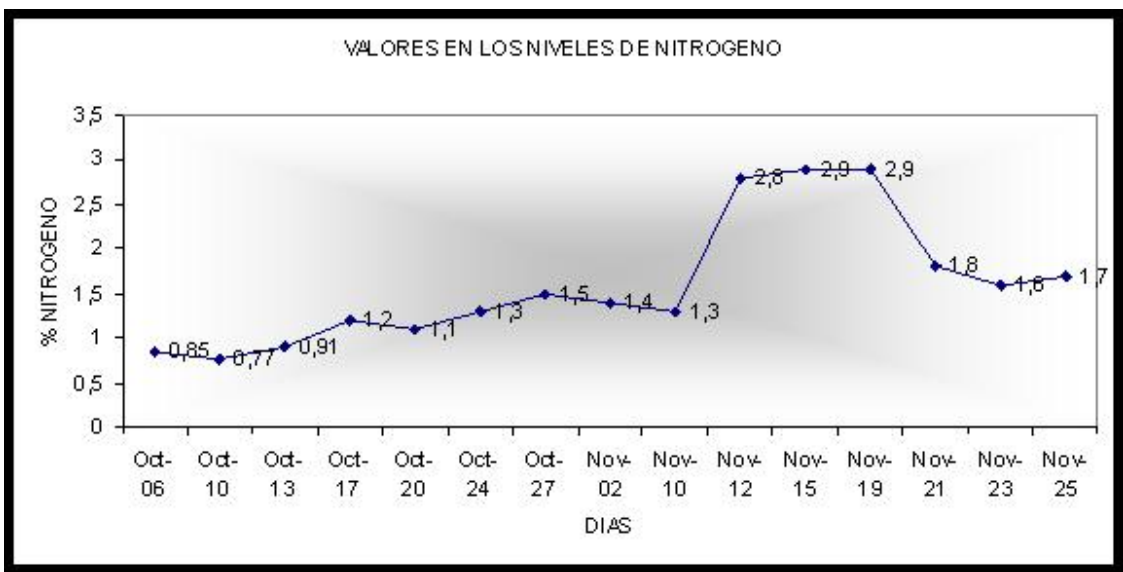
Figura 59. valores en los niveles de carbono orgánico total Landazuri



- Se observa que los niveles de carbono orgánico total son estables en casi todo el proceso, teniendo un máximo de 48,7% pero tiene un dato que disminuye a 4,1% para luego volver a estar estable, lo que sugiere que no se debe tener en cuenta dicho valor para el 21 de noviembre ya que no concuerda con los otros datos.
- En el proceso mesofílico se presenta un aumento de la cantidad de carbono total, para mantenerse casi todo el tiempo estable en la etapa termofílica, hasta obtener un valor muy cercano al inicial de 37,9 % al final del proceso.

- La cantidad de carbono presente en el producto final se encuentra dentro del intervalo de los valores normales para un fertilizante orgánico (40% - 60%), indicándonos que el producto posee buenos niveles de carbono para ser asimilados por las plantas.
- Se debe mejorar el procedimiento de compostaje en las fases de humectación, agregar mejor la aireación de las pilas y mejorar el proceso de agregación de microorganismos para lograr valores más altos de carbono y así obtener mejores relaciones de carbono/nitrógeno.
- Se debe analizar son las relaciones carbono / nitrógeno con el fin de conocer que ventajas hay entre los diferentes mejoradotes de suelo por tal motivo las relaciones iniciales por masa deben ser entre 25% y 50% siendo optimas para el compostaje aerobio. Con relaciones más bajas se emite amoniaco presentando perdidas de nitrógeno, también se impide la actividad biológica.
- Con relaciones más altas, el nitrógeno puede ser un nutriente limitante.

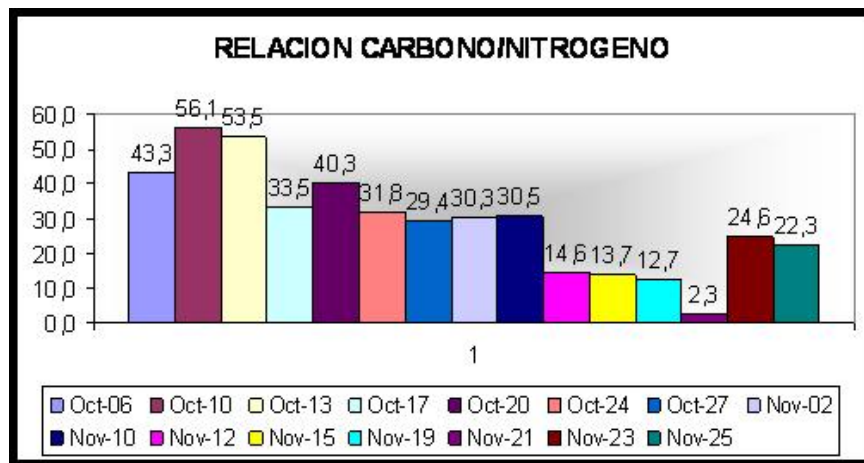
Figura 60. Valores en los niveles de nitrógeno Landazuri



- Se observa que en el inicio del proceso se presenta unos niveles bajos de nitrógeno iniciando en 0,85% y si lo comparamos con los valores de la tabla 11 se puede concluir que los residuos sólidos orgánicos frescos vienen con un alto contenido de residuos de fruta fresca como se comprobó en las diferentes visitas realizadas al municipio.
- Se presenta en las siguientes etapas del proceso una tendencia a aumentar y llegar a estabilizarse en valor de entre 1,2% y 1,5% pero teniendo un promedio en todo el proceso de 1,6%.

- Relacionando la cantidad de nitrógeno generado durante el proceso se observa que en el final de la etapa termofílica, la cantidad de nitrógeno tiene un aumento considerable hasta valores de 2,9%, y durante la etapa de enfriamiento se presenta una disminución de la cantidad de nitrógeno hasta un valor final de 1,7% el cual es comercializado con ese porcentaje.
- El producto final a ser comercializado que corresponde al de las dos últimas muestras, equivaldría de conformidad a la tabla 11 al ofrecido por un estiércol indicándonos que hay relación entre la actividad microbiana generada en los estómagos de los seres vivos con el proceso generado en la planta de compostaje. De igual manera se aprecia que es buena la cantidad de nitrógeno ofrecida por los residuos sólidos domésticos, teniendo en cuenta que el municipio tiene un hábito de consumo de productos frescos, de mucha fruta, hortaliza, productos naturales y en muy poca importancia los enlatados o empacados o sintéticos.
- Revisando el nivel de nitrógeno de las dos últimas muestras correspondiente a el producto a comercializar, presenta un valor de 1,7% estando dentro del rango que se especifica para niveles normales de nitrógeno en un fertilizante orgánico que es de 1% a 3%.
- Estos porcentajes bajos de nitrógeno nos indican que el producto obtenido no corresponde a un abono orgánico ya que este es un nutriente mayor y sus niveles son muy bajos, por esta razón consideramos al producto obtenido en la planta de compostaje como mejorador de suelos.

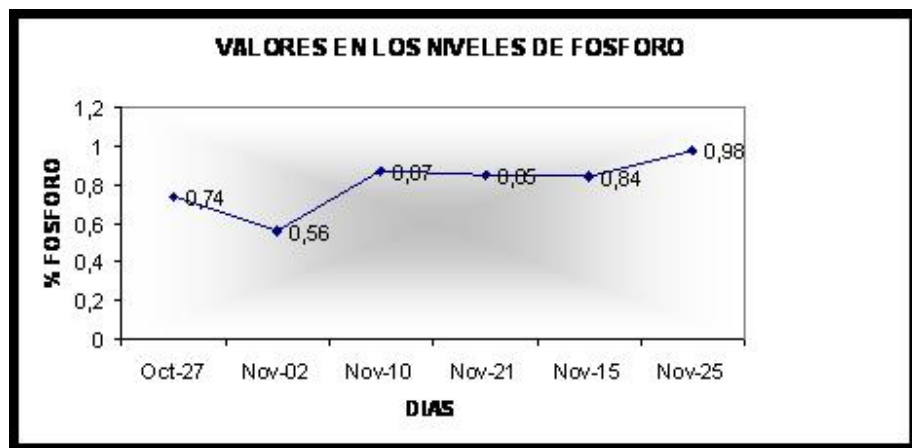
Figura 61. Relación Carbono / Nitrógeno Landazuri



- Como se observa en la gráfica los niveles de nitrógeno en la primera semana son los más bajos por tal razón se obtiene una relación alta de carbono nitrógeno, una vez se inicia la etapa termofílica se produce un incremento en los niveles de nitrógeno que causan la disminución de la relación carbono / nitrógeno para mantenerse aproximadamente constante en el resto del proceso.

- Presenta un valor máximo de 56,1, en el inicio del proceso y un valor mínimo de 12,7 aproximadamente en la mitad del proceso, no se tiene en cuenta el valor de noviembre 21 pues se sale de los valores normales reportados, y en general se obtiene un promedio durante todo el proceso de 29,3 para obtener un producto final con una relación de 22,3 equivaliendo a ser un valor adecuado de conformidad a lo consignado en la tabla 13 donde el rango optimo para la mayoría de los residuos orgánicos con respecto a la relación carbono - nitrógeno (relación C/N) está entre 20 y 25 a 1.
- Se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.

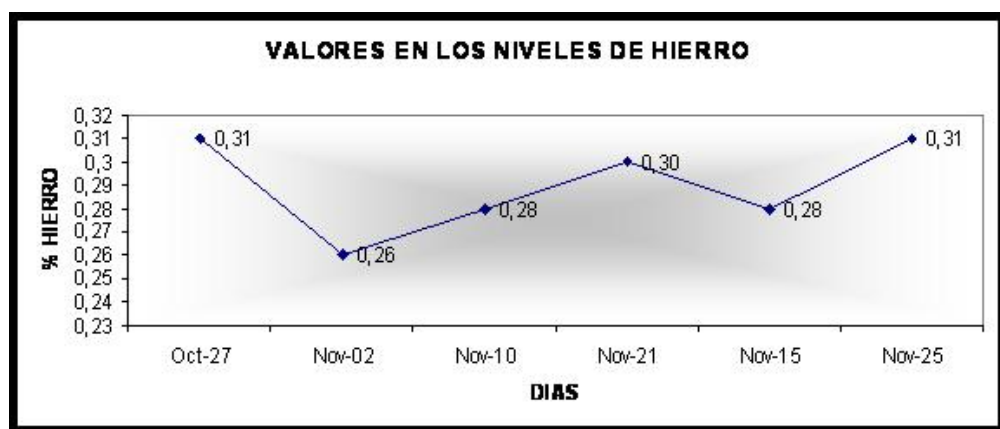
Figura 62. Valores en los niveles de fósforo Landazuri



- Para los niveles de fósforo se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de fósforo no se ve afectado por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante a un valor promedio de 0,8%.

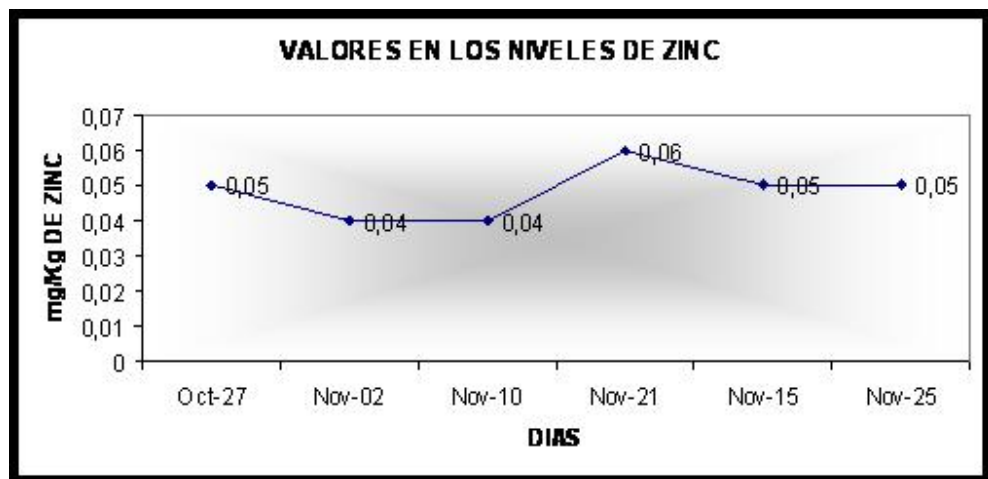
- Se analiza que durante el proceso se va incrementando un poco el porcentaje de fósforo hasta tener en el producto final un valor de 0,98%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (1,5% – 10%), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de fósforo ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de fósforo por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de fósforo por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- De igual forma se recomienda agregar un caldo microbiano durante el proceso de compostación como un para acelerar el proceso de compostación.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.

Figura 63. Valores en los niveles de hierro Landazuri



- Para los niveles de hierro se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de hierro se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece constante, luego presenta un comportamiento de aumento hasta obtener un valor final de 0,31% y un valor promedio de 0,29%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de hierro hasta tener en el producto final un valor de 0,31%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Los niveles normales de hierro no se encuentran contemplados en los fertilizantes orgánicos, pero si son necesarios como nutrientes menores dentro de las necesidades de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

Figura 64. Valores en los niveles de zinc Landazuri

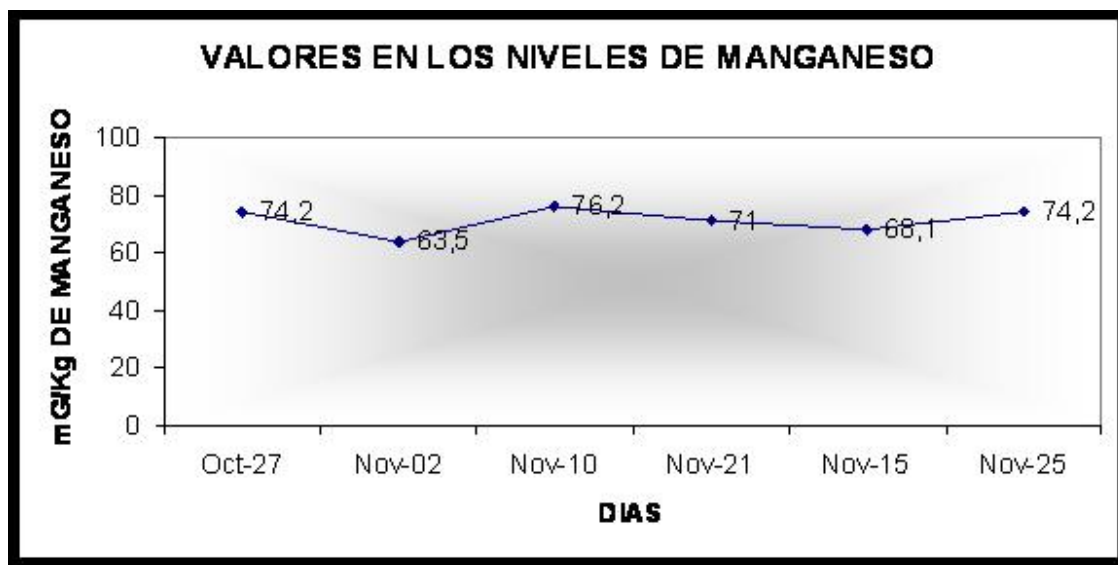


- Para los niveles de zinc se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de zinc se ve afectado poco por la temperatura, pero son valores muy pequeños desde el inicio del proceso hasta el producto a ser comercializado obteniendo un valor final de 0,05mg/Kg. y un valor promedio de 0,048mg/Kg.
- Se analiza que durante todo el proceso la cantidad de zinc es casi estable hasta tener en el producto final un valor de 0,05mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (mayor de 10mg/Kg.), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de zinc ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de zinc por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de zinc por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de

control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.

- Se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- Se recomienda agregar un caldo microbiano con el fin de acelerar el proceso de compostación y obtener mejores cantidades de zinc.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.

Figura 65. Valores en los niveles de manganeso Landazuri



- Para los niveles de manganeso se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de manganeso se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, hasta obtener un valor final de 74,2mg/Kg y un valor promedio de 71,2mg/Kg.

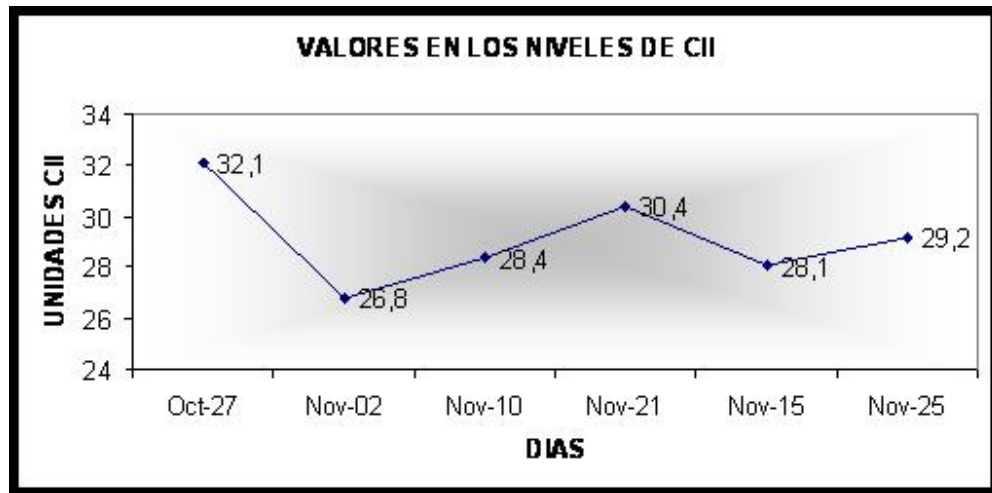
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene casi constante la cantidad de manganeso hasta tener en el producto final un valor de 74,2mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Los niveles normales de manganeso no se encuentran contemplados en los fertilizantes orgánicos, pero si son necesarios como nutrientes menores dentro de las necesidades de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

Figura 66. Valores en los niveles de cobre Landazuri



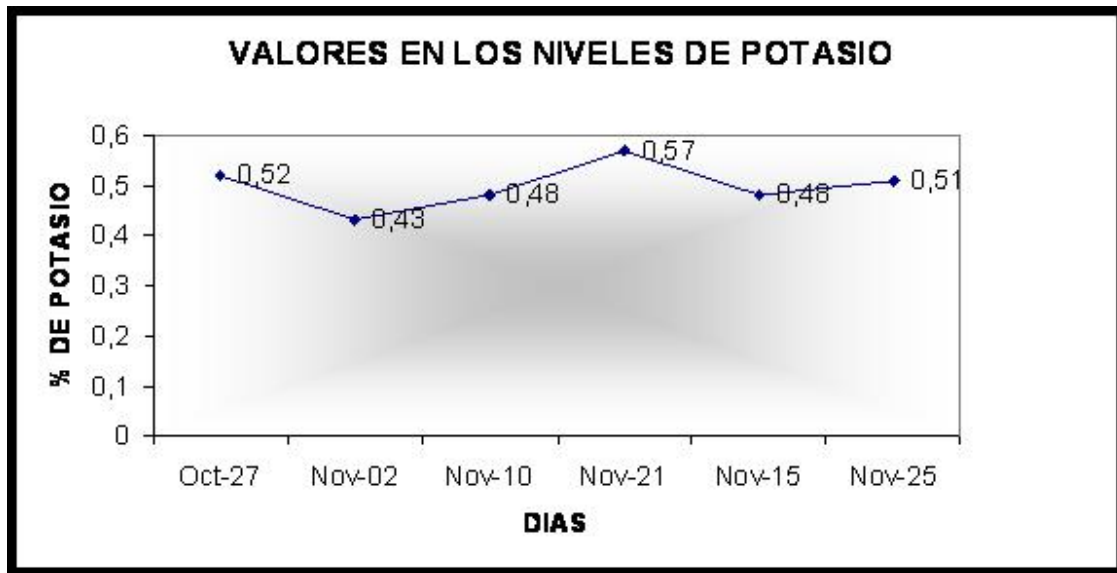
- Para los niveles de cobre se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de cobre se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, hasta obtener un valor final de 1,8mg/Kg y un valor promedio de 1,58mg/Kg. durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene casi constante la cantidad de cobre hasta tener en el producto final un valor de 1,8mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con los valores normales de un fertilizante orgánico (mayor 0,2mg/Kg.) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición buenos niveles de cobre.
- Se analiza que la cantidad de cobre no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, siendo óptimo para ser mejorador de suelos.

Figura 67. Valores en los niveles de capacidad de intercambio iónico Landazuri.



- Para los niveles de capacidad de intercambio ionico se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de CII se disminuye en las primeras uestras para luego presentar un leve aumento hasta estabilizarse, hasta obtener un valor final de 29,2 unidades y un valor promedio de 29,1 unidades durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene constante la cantidad de CII hasta tener en el producto final un valor de 29,2 unidades, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (15 – 25 unidades) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de CII.
- Se analiza que la cantidad de CII no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, siendo óptimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

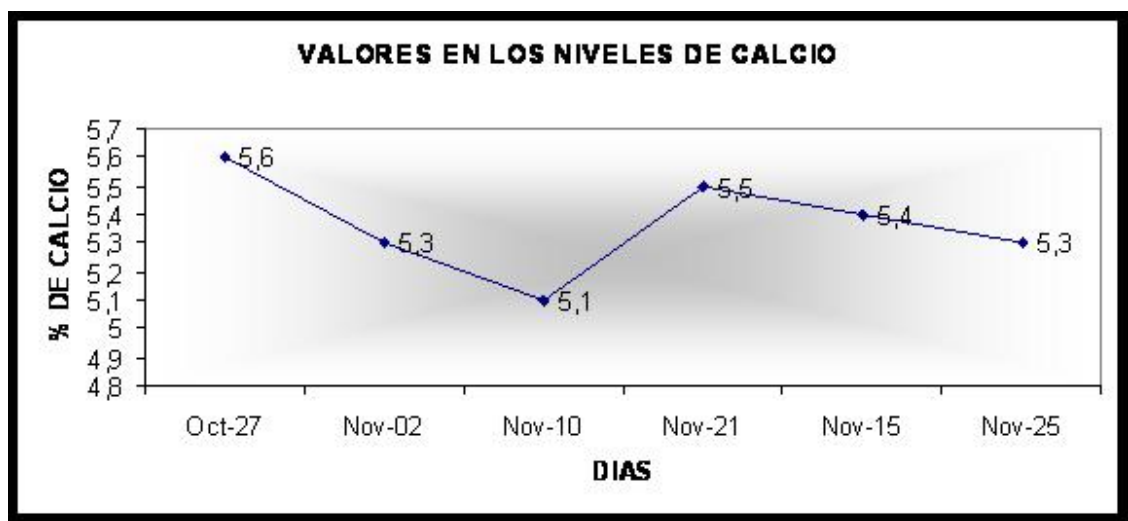
Figura 68. Valores en los niveles de potasio Landazuri



- Para los niveles de potasio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de potasio no se ve afectado por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante a un valor promedio de 0,5%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de potasio hasta tener en el producto final un valor de 0,51%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (1,0% – 3,0%), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de potasio ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos orgánicos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de potasio por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de potasio por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.

- De igual forma se recomienda agregar un caldo microbiano para acelerar el proceso de compostación y mejorar la cantidad de potasio.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.

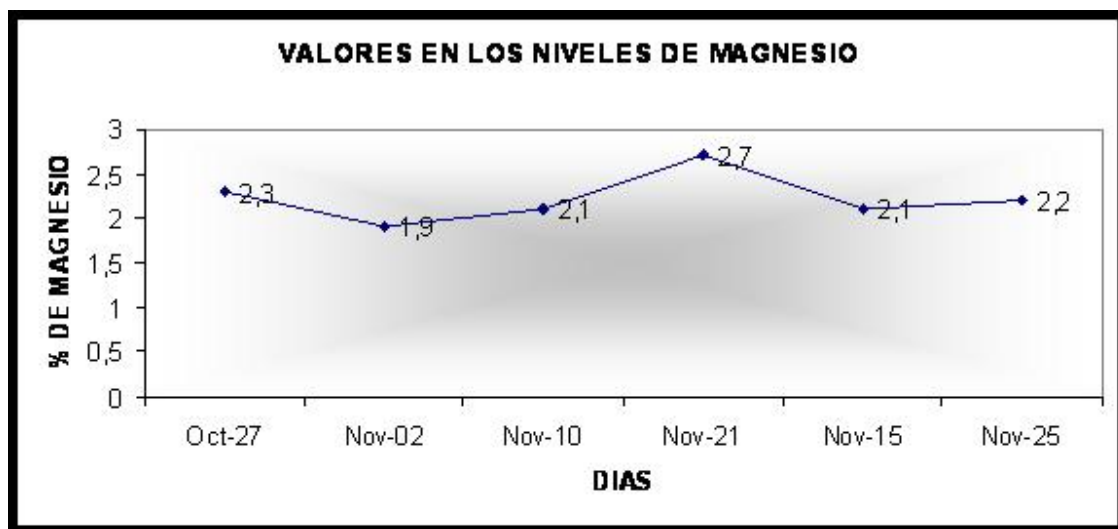
Figura 69. Valores en los niveles de calcio Landazuri.



- Para los niveles de calcio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de calcio se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta un leve aumento, para luego disminuir levemente, hasta obtener un valor final de 5,3% y un valor promedio de 5,36% durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene constante el porcentaje de calcio hasta tener en el producto final un valor de 5,3%, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (3% - 5%) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de calcio.
- Se analiza que la cantidad de calcio no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor iniciando en 5,6% como

producto fresco, siendo optimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

Figura 70. Valores En Los Niveles De Magnesio Landazuri



- Para los niveles de magnesio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de magnesio se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, hasta obtener un valor final de 2,2% y un valor promedio de 2,21% durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento mantiene casi constante el porcentaje de calcio hasta tener en el producto final un valor de 2,2%, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (1% - 2%) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de magnesio.
- Se analiza que la cantidad de magnesio no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, iniciando con un valor de 3,1% equivaliendo a un valor superior de las condiciones normales de un fertilizante orgánico, siendo optimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

6.8 REQUISITOS DEL ICA COMO ABONO

El Instituto Colombiano Agropecuario ICA ha realizado un proyecto de norma técnica Colombiana sobre productos para la industria agrícola, con el objeto de 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.

REQUISITOS GENERALES

- Los productos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o líquida como concentrados solubles.
- Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación.
- Deberá declararse el origen (clase y procedencia) de las materias primas y los procesos de transformación empleados.

REQUISITOS ESPECÍFICOS

Los productos orgánicos empleados como fertilizantes o abonos y enmiendas⁷ del suelo, deben cumplir con los requisitos que se mencionan a continuación:

Indicaciones relacionadas con la obtención del Abono orgánico y los componentes principales: Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de 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 indiquen.

Parámetros a caracterizar:

- Pérdidas por volatilización %.
- Contenido de cenizas máximo 60%.
- Contenido de humedad:
 4. Para materiales de origen animal, máximo 20 %.
 5. Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %.
 6. Para mezclas, el contenido de contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.
- Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %.
- N, P₂O₅ y K₂O totales, declararlos si cada uno es mayor de 1 %.
- Relación carbono / nitrógeno.
- Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg⁻¹ (meq/100g).
- Capacidad de retención de humedad mínimo su propio peso.
- pH mayor de 4 y menor de 9
- Densidad máximo 0.6 g / cm³.

⁷ De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1927, la definición de enmienda corresponde a Acondicionador de Suelos.

- Se indicará la materia prima de que procede el producto.

Para iniciar el proceso de certificación del compostaje por el ICA se deben cumplir con los parámetros mencionados anteriormente. Es de destacar que el mejorador de suelos de la planta cumple con el parámetro fundamental que define si se puede someter a certificación o no el producto, siendo este la separación en la fuente, porque en la norma expresa claramente que la materia prima de la cual procede el compost debe ser separada en la fuente, de lo contrario no obtendrá la acreditación del ICA.

El mejorador de suelos de la planta de Landazuri cumple con:

- Contenido de humedad:

Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %, y el mejorador de suelos tiene 34,2%

- Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %, y el mejorador de suelos tiene 39,4%.

- N, P₂O₅ y K₂O totales, declararlos si cada uno es mayor de 1 % y el mejorador de suelos tiene: 1,7% de N.

- No cumpliría con los porcentajes de Fósforo (0,84%) ni de Potasio (0,50%).

- Relación carbono / nitrógeno, es de 29,3 en promedio.

- pH mayor de 4 y menor de 9 y tiene un pH de 6,5.

Por lo anterior el mejorador de suelos si estaría cumpliendo los parámetros que exigiría el ICA para su comercialización, teniendo que mejorarse los niveles de Potasio y de Fósforo.

Una vez analizados cada uno de los parámetros muestreados en la planta de compostaje se procederá a realizar un análisis de correlación y de regresión de las variables muestreadas con el fin de obtener la relación entre dichas variables y su comportamiento para esto se presenta una explicación de estos procedimientos así:

6.9 ANÁLISIS VARIABLES DE CORRELACION PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE LANDAZURI

La covarianza estadística entre dos variables suele ser analizada haciendo una tabla o una presentación gráfica, pero también hay disponibles estadísticas especiales para indicar su intensidad. Los medios disponibles para el análisis de los vínculos entre las variables dependen de con qué tipo de escala que han medido las variables.

- Para variables sobre escalas aritméticas, el método usual es la correlación estándar, mejor dicho la correlación del momento-producto o correlación de Pearson.

Para el análisis de las variables se establece la asociación entre dos variables cuantitativas estudiando el método conocido como correlación. Dicho cálculo es el primer paso para determinar la relación entre las variables. La predicción de una variable.

La cuantificación de la fuerza de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, se estudia por medio del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (1-3). Dicho coeficiente oscila entre -1 y $+1$. Un valor de -1 indica una relación lineal o línea recta positiva perfecta. Una correlación próxima a cero indica que no hay relación lineal entre las dos variables.

El realizar la representación gráfica de los datos para demostrar la relación entre el valor del coeficiente de correlación y la forma de la gráfica es fundamental ya que existen relaciones no lineales.

El coeficiente de correlación posee las siguientes características:

- El valor del coeficiente de correlación es independiente de cualquier unidad usada para medir las variables.
- El valor del coeficiente de correlación se altera de forma importante ante la presencia de un valor extremo, como sucede con la desviación típica. Ante estas situaciones conviene realizar una transformación de datos que cambia la escala de medición y modera el efecto de valores extremos (como la transformación logarítmica).
- El coeficiente de correlación mide solo la relación con una línea recta. Dos variables pueden tener una relación curvilínea fuerte, a pesar de que su correlación sea pequeña. Por tanto cuando analicemos las relaciones entre dos variables debemos representarlas gráficamente y posteriormente calcular el coeficiente de correlación.
- El coeficiente de correlación no se debe extrapolar más allá del rango de valores observado de las variables a estudio ya que la relación existente entre X e Y puede cambiar fuera de dicho rango.
- La correlación no implica causalidad. La causalidad es un juicio de valor que requiere más información que un simple valor cuantitativo de un coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación de Pearson (r) puede calcularse en cualquier grupo de datos, sin embargo la validez del test de hipótesis sobre la correlación entre las variables requiere en sentido estricto:

a) que las dos variables procedan de una muestra aleatoria de individuos.

b) que al menos una de las variables tenga una distribución normal en la población de la cual la muestra procede. Para el cálculo válido de un intervalo de confianza del coeficiente de correlación de r ambas variables deben tener una distribución normal. Si los datos no tienen una distribución normal, una o ambas variables se pueden transformar (transformación logarítmica) o si no se calcularía un coeficiente de correlación no paramétrico (coeficiente de correlación de Spearman) que tiene el mismo significado que el coeficiente de correlación de Pearson y se calcula utilizando el rango de las observaciones.

6.9.1 Test de hipótesis de r. Tras realizar el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r) debemos determinar si dicho coeficiente es estadísticamente diferente de cero. Para dicho cálculo se aplica un test basado en la distribución de la t de student.

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$$

Si el valor del r calculado (para un ejemplo con $r = 0.885$) supera al valor del error estándar multiplicado por la t de Student con $n-2$ grados de libertad, diremos que el coeficiente de correlación es significativo.

El nivel de significación viene dado por la decisión que adoptemos al buscar el valor en la tabla de la t de Student.

Para un ejemplo donde la población es 20, los grados de libertad son 18 y el valor de la tabla de la t de student para una seguridad del 95% es de 2.10 y para un 99% de seguridad el valor es 2.88. (Tabla 2)

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-0.885^2}{20-2}} = 0.109$$

Como quiera que $r = 0.885 > 2.10 \cdot 0.109 = 2.30$ podemos asegurar que el coeficiente de correlación es significativo ($p < 0.05$). Si aplicamos el valor obtenido en la tabla de la t de Student para una seguridad del 99% ($t = 2.88$) observamos que como $r = 0.885$ sigue siendo $> 2.88 \cdot 0.109 = 0.313$ podemos a su vez asegurar que el coeficiente es significativo ($p < 0.001$). Este proceso de razonamiento es válido tanto para muestras pequeñas como para muestras grandes. En esta última situación podemos comprobar en la tabla de la t de student que para una seguridad del 95% el valor es 1.96 y para una seguridad del 99% el valor es 2.58.

6.9.2 Intervalo de confianza del coeficiente de correlación. La distribución del coeficiente de correlación de Pearson no es normal pero no se puede transformar r para conseguir un valor z que sigue una distribución normal (transformación de Fisher) y calcular a partir del valor z el intervalo de confianza.

La transformación es:

$$z = 1/2 L_n \frac{1+r}{1-r}$$

L_n representa el logaritmo neperiano en la base e

$$\text{El error estándar de } z \text{ es} = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$$

donde n representa el tamaño muestral. El 95% intervalo de confianza de z se calcula de la siguiente forma:

$$z_1(\text{limite inferior}) = z - 1.96 / \sqrt{n-3}$$

$$z_2(\text{limite superior}) = z + 1.96 / \sqrt{n-3}$$

Tras calcular los intervalos de confianza con el valor z debemos volver a realizar el proceso inverso para calcular los intervalos del coeficiente r

$$\frac{e^{2x_1} - 1}{e^{2x_1} + 1} \quad a \quad \frac{e^{2x_2} - 1}{e^{2x_2} + 1}$$

6.10 ANÁLISIS DE REGRESION

En un Análisis de Regresión simple existe una variable respuesta o dependiente (y) que puede ser el número de especies, la abundancia o la presencia-ausencia de una sola especie y una variable explicativa o independiente (x). El propósito es obtener una función sencilla de la variable explicativa, que sea capaz de describir lo más ajustadamente posible la variación de la variable dependiente. Como los valores observados de la variable dependiente difieren generalmente de los que predice la función, ésta posee un error. La función más eficaz es aquella que describe la variable dependiente con el menor error posible o, dicho en otras palabras, con la menor diferencia entre los valores observados y predichos. La diferencia entre los valores observados y predichos (el error de la función) se denomina variación residual o residuos. Para estimar los parámetros de la función se utiliza el ajuste por mínimos cuadrados. Es decir, se trata de encontrar la función en la cual la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y esperados sea menor. Sin embargo, con este tipo de estrategia es necesario que los residuos o errores estén distribuidos normalmente y que varíen de modo similar a lo largo de todo el rango de valores de la variable dependiente. Estas suposiciones pueden comprobarse examinando la distribución de los residuos y su relación con la variable dependiente.

Cuando la variable dependiente es cuantitativa (por ejemplo, el número de especies) y la relación entre ambas variables sigue una línea recta, la función es del tipo $y = c + bx$, en donde c es el intercepto o valor del punto de corte de la línea de regresión con el eje de la variable dependiente (una medida del número de especies existente cuando la variable ambiental tiene su mínimo valor) y b es la pendiente o coeficiente de regresión (la tasa de incremento del número de especies con cada unidad de la variable ambiental considerada). Si la relación no es lineal pueden transformarse los valores de una o ambas variables para intentar linearizarla. Si no es posible convertir la relación en lineal, puede comprobarse el grado de ajuste de una función polinomial más compleja. La función polinomial más sencilla es la cuadrática ($y = c + bx + bx^2$) que describe una parábola, pero puede usarse una función cúbica u otra de un orden aun mayor capaz de conseguir un ajuste casi perfecto a los datos. Cuando la variable dependiente se expresa en datos cualitativos (presencia-ausencia de una especie) es aconsejable utilizar las regresiones logísticas ($y = [\exp(c + bx)] / [1 + \exp(c + bx)]$).

De conformidad a lo anterior se analizaran los datos en dos grupos el primero que equivale a las variables pH, Humedad, Carbono Orgánico Total y Nitrógeno, por tener valores en todos los días de muestreo que equivalen a los siguientes:

Tabla 29. Valores de muestreo para las variables PH, Humedad, COT, Nitrógeno Landazuri.

VARIABLE	UNIDADES	Oct-06	Oct-10	Oct-13	Oct-17	Oct-20	Oct-24	Oct-27	Nov-02
PH	UNIDAD	5,8	5,7	5,6	5,9	6,2	6,3	6,3	6,4
HUMEDAD	%	63,1	61,4	60,2	56,3	52,1	50,2	46,3	43,5
COT	%	36,8	43,2	48,7	40,2	44,3	41,3	44,1	42,4
NITRÓGENO	%	0,85	0,77	0,91	1,2	1,1	1,3	1,5	1,4

VARIABLE	UNIDADES	Nov-10	Nov-12	Nov-15	Nov-19	Nov-21	Nov-23	Nov-25
PH	UNIDAD	6,3	7,1	7,1	6,8	6,5	6,5	6,5
HUMEDAD	%	44,2	24,1	22,3	22,6	34,2	37,3	31,1
COT	%	39,6	40,8	39,8	36,8	4,1	39,4	37,9
NITRÓGENO	%	1,3	2,8	2,9	2,9	1,8	1,6	1,7

Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis

Con los datos anteriores se procederá a realizarle un análisis de correlación de Pearson para obtener cuáles son las variables que pueden tener relación entre sí y poder analizarlas:

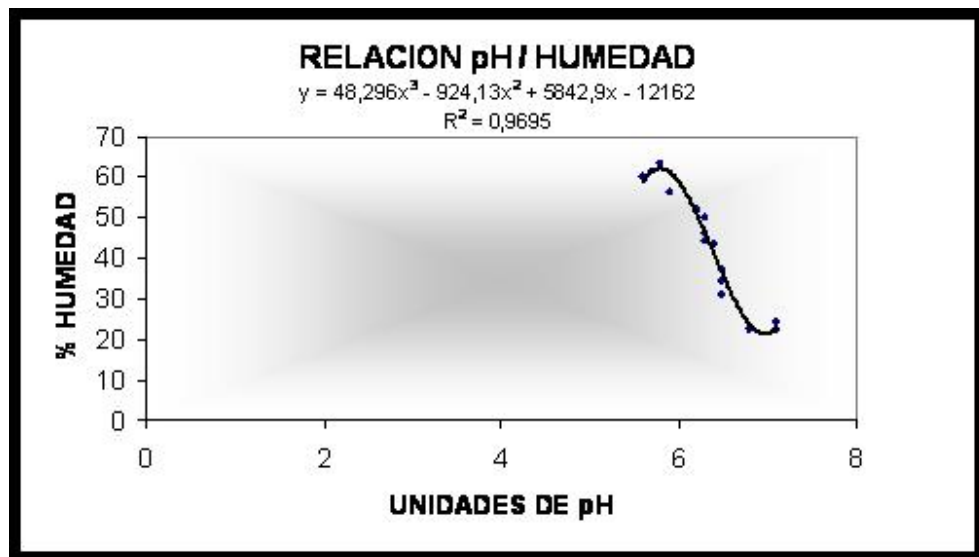
Tabla 30. Coeficientes de correlación para PH, Humedad, COT, Nitrógeno Landazuri

	pH	Humedad	COT	N
pH	1			
Humedad	-0,956291	1		
COT	-0,231002	0,3074072	1	
N	0,926642	-0,939534	-0,202133	1

Fuente: Los Autores.

Una vez realizado el procedimiento de correlación por intermedio de Excel se obtienen los datos consignados en la tabla 12 donde se observa que existe una relación aceptable entre las variables de pH – Humedad, pH – Nitrógeno, Humedad – Nitrógeno, para dichas relaciones se procederá a establecer los análisis de regresión y así poder conocer su comportamiento durante el proceso de compostación:

Figura 71. Relación entre ph y la humedad landazuri



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinomial de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9695, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

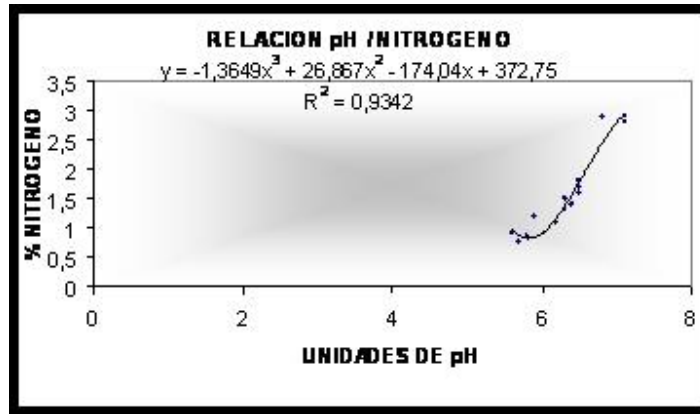
- La ecuación que representa el cambio de la humedad con respecto al pH es la siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = 48,296 \text{ pH}^3 - 924,13 \text{ pH}^2 + 5842,9 \text{ pH} - 12162$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 40 se puede establecer el porcentaje de humedad del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el valor del Ph de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de humedad en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Humedad presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, tomando el valor del pH presente en el producto terminado.

Figura 72. Relación entre PH y el Nitrógeno Landazuri



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9342, siendo válido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

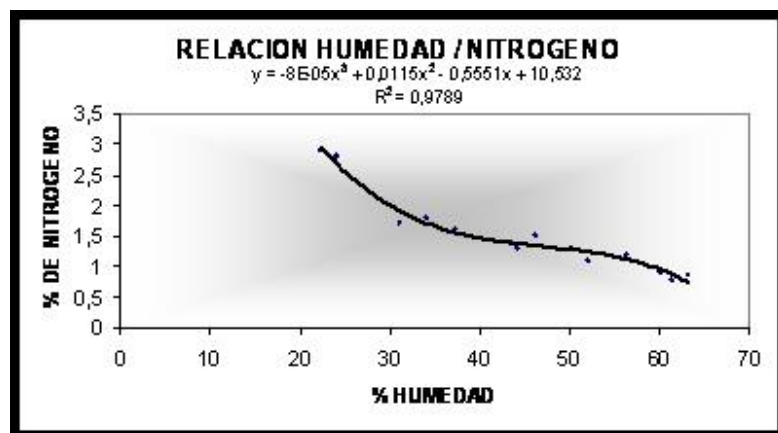
- La ecuación que representa el cambio del % nitrógeno con respecto al pH es la siguiente:

$$\% \text{ Nitrógeno} = - 1,3649 \text{ pH}^3 + 26,867\text{pH}^2 - 174,04 \text{ pH} + 372,75$$

- Con la ecuación anterior o el gráfico 41 se puede establecer el porcentaje de nitrógeno del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el valor del Ph de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de nitrógeno en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, tomando el valor del pH presente en el producto terminado.

Figura 73. Relación entre humedad y el nitrógeno landazuri.



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9789, siendo válido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Nitrógeno con respecto al porcentaje de humedad es la siguiente:

$$\% \text{ Nitrógeno} = -8 \times 10^5 \text{ Humedad}^3 + 0,0115 \text{ humedad}^2 - 0,5551 \text{ humedad} + 10,532$$

- Con la ecuación anterior o el gráfico 42 se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el porcentaje de Humedad de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de Nitrógeno en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, tomando el valor de la Humedad presente en el producto terminado.

Por otro parte se debe analizar los coeficientes de correlación de las demás variables de conformidad a las muestras realizadas, teniendo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 31. Valores de muestreo para las demás variables analizadas Landazuri.

VARIABLES	UNIDADES	Oct-27	Nov-02	Nov-10	Nov-21	Nov-23	Nov-25
Ph	UNIDAD	6,3	6,4	6,3	6,5	6,5	6,5
Humedad	%	46,3	43,5	44,2	34,2	37,3	31,1
COT	%	44,1	42,4	39,6	4,1	39,4	37,9
N	%	1,5	1,4	1,3	1,8	1,6	1,7
P	%	0,74	0,56	0,87	0,85	0,84	0,98
Fe	%	0,31	0,26	0,28	0,3	0,28	0,31
Zn	mg/Kg	0,05	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05
Mn	mg/Kg	74,2	63,5	76,2	71	68,1	74,2
Cu	mg/Kg	1,8	1,1	1,7	1,6	1,5	1,8
C.I.I	UNIDAD	32,1	26,8	28,4	30,4	28,1	29,2
K	%	0,52	0,43	0,48	0,57	0,48	0,51
Ca	%	5,6	5,3	5,1	5,5	5,4	5,3
Mg	%	2,3	1,9	2,1	2,7	2,1	2,2

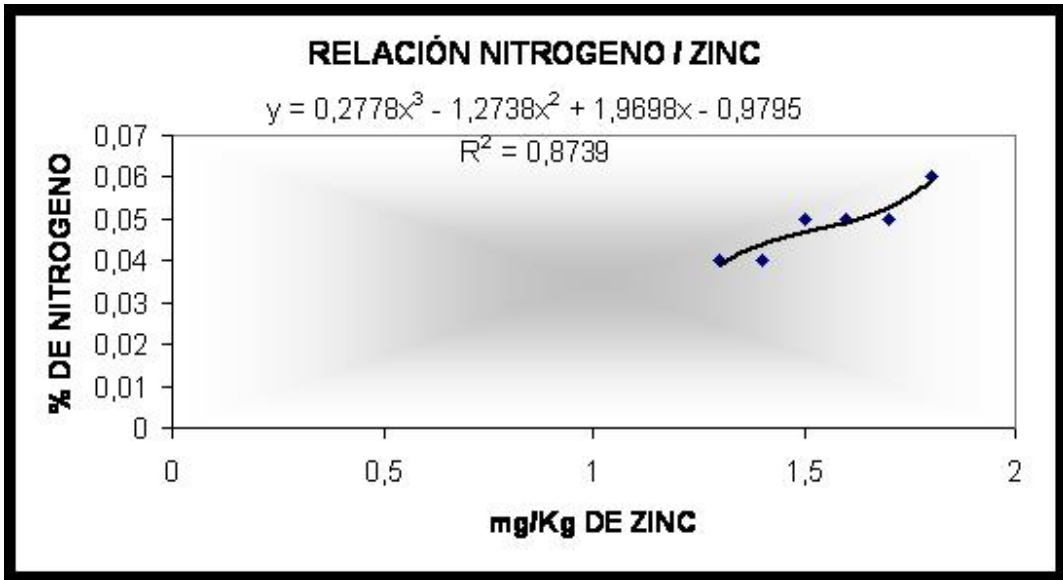
Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis.

Con los datos anteriores se procederá a realizarle un análisis de correlación de Pearson para obtener cuáles son las variables que pueden tener relación entre sí y poder analizarlas:

Tabla 32. coeficientes de correlación para las variables analizadas Landazuri

	PH	HUME	COT	NITRÓ	FÓSFO	HIERRO	ZINC	MANGA	COBRE	CII	POTA	CAL.	MAG
PH	1,0000												
HUMEDAD	0,9073	1,0000											
COT	0,4968	0,5244	1,0000										
NITRÓGENO	0,8155	0,8390	0,6927	1,0000									
FÓSFORO	0,3602	0,6618	0,2620	0,4708	1,0000								
HIERRO	0,1017	0,3753	0,2523	0,5880	0,6291	1,0000							
ZINC	0,5855	0,6098	0,7621	0,9231	0,4209	0,6642	1,0000						
MANGANESO	0,3568	0,0291	0,0152	0,0000	0,7162	0,6974	0,1404	1,0000					
COBRE	0,1413	0,2024	0,0663	0,2633	0,7821	0,8714	0,3859	0,9384	1,0000				
CII	0,2141	0,0420	0,2627	0,3776	0,2719	0,8617	0,6210	0,5961	0,7327	1,0000			
POTASIO	0,2664	0,4503	0,7466	0,7380	0,5572	0,8071	0,8935	0,5180	0,6572	0,7905	1,0000		
CALCIO	0,1549	0,0286	0,2846	0,5494	-0,1650	0,5139	0,7080	-0,1086	0,1587	0,7172	0,5498	1,0000	
MAGNESIO	0,2873	0,4104	0,8597	0,7287	0,4086	0,6632	0,8973	0,3613	0,4793	0,7112	0,9730	0,5610	1,0000

Figura 74. Relación Entre Nitrogeno Y Zinc Landazuri



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,8739, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

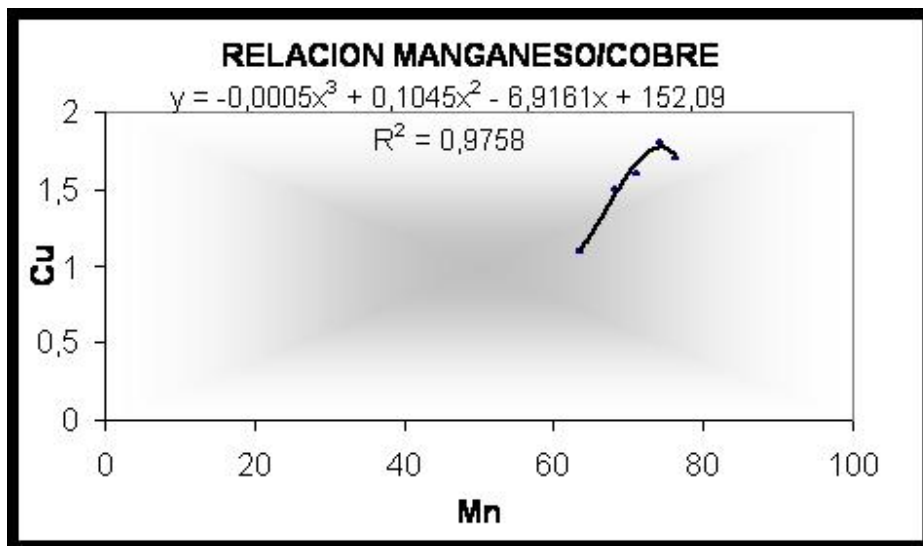
- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Nitrógeno con respecto al Zinc es la siguiente:

$$\% \text{ Nitrógeno} = 0,2778 \text{ Zn}^3 - 1,2738 \text{ Zn}^2 + 1,9698 \text{ Zn} - 0,9795$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 43 se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno del proceso de compostación en cualquier etapa, se debe analizar en laboratorio la cantidad de Zinc de la zona o pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de Nitrógeno en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno en el producto final a partir del valor del Zinc en el producto final.

Figura 75. Relación Entre Manganeso Con Cobre Landazuri



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9758, siendo válido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

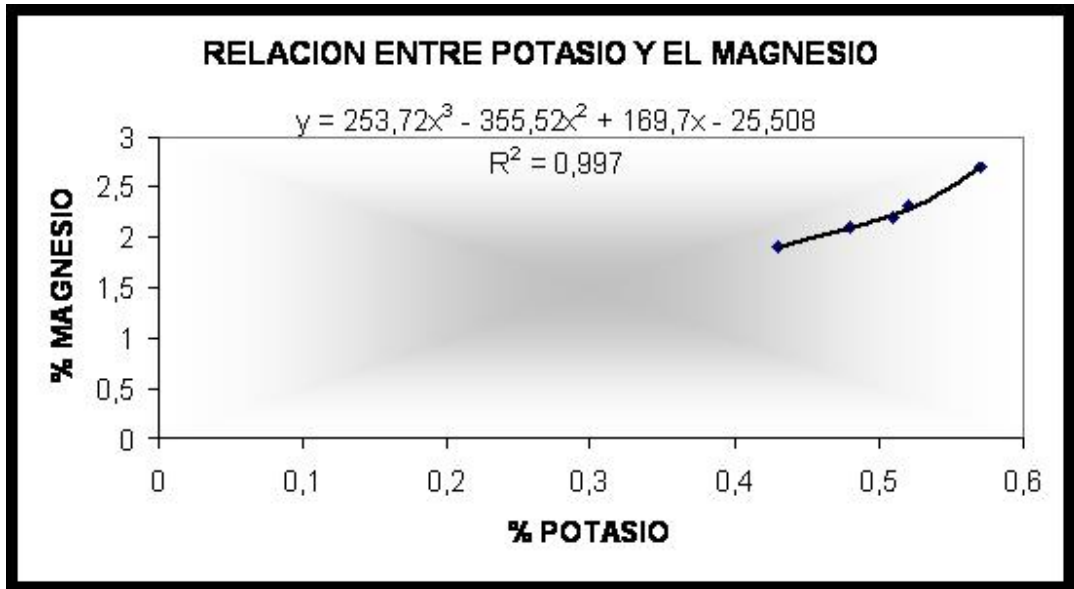
- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Potasio con respecto a las unidades de Capacidad de Intercambio Iónico y es la siguiente:

$$\text{mg/kg Cobre} = -0,0005 \text{ Mn}^3 + 0,1045 \text{ Mn}^2 - 6,9161 \text{ Mn} + 152,09$$

- Con la ecuación anterior o el gráfico 44 se puede establecer la cantidad de Cobre del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe analizar la cantidad de Manganeso de la zona o pila correspondiente y se podrá calcular la cantidad de cobre en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer la cantidad de cobre presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, realizando el análisis en laboratorio de la Cantidad de Manganeso presente en el producto terminado.

Figura 76. relación entre potasio y magnesio landazuri



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,997, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

- La ecuación que representa el cambio la cantidad de Mangnesio con respecto al porcentaje de Potasio y es la siguiente:

$$\% \text{ de Magnesio} = 253,73 K^3 - 355,52 K^2 + 169,7 K - 25,508$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 45 se puede establecer el porcentaje de Magnesio presente en cualquier instante del proceso, se debe analizar el porcentaje de Potasio presente en la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de Magnesio en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer la cantidad de Magnesio presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, realizando el análisis en laboratorio de el porcentaje de Potasio presente en el producto terminado.

7. MUNICIPIO DE BARICHARA

7.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

Visión: “Barichara, municipio Eco Turístico con potencial agropecuario”, quiere ser pionero en Santander en el sector turístico, pero sin olvidar los ancestros agrícolas que lo caracterizan en la subregión y que les dan a sus habitantes el sustento diario, sin embargo esta convencido que por pertenecer al corredor turístico del departamento tiene potencialidades frente a los otros municipios que lo conforman pues Barichara es un Monumento Histórico Nacional; su conservación es muy importante, sitios turísticos como: los caminos, el salto del Mico y las cuevas entre otros, lo hace fuerte ante los demás municipios, la cordialidad de su gente y su hospitalidad es fuente de generación de un turismo regional importante.

Localización. Esta localizada en el departamento de Santander, provincia Guanentina, en la Región Andina, en los valles de las cuencas bajas de los ríos Suárez, Chicamocha, Fonce y parte de la cuenca del río Sogamoso a 2,30 horas de su capital Bucaramanga.

Área. El municipio de Barichara cuenta con una extensión territorial de 1 364 km².

Clima. Presenta dos tipos de climas: calido y templado, ambos con temperaturas altas que oscilan entre 19°C y 28°C. Se caracteriza por la baja precipitación y nubosidad, debido a la barrera natural de la Serranía de los Cobardes, la cual impide el flujo normal de los vientos húmedos provenientes del Valle Medio del Río Magdalena hacia esta zona, los cuales al intentar franquear la serranía, pierden su humedad quedando convertidos en corrientes de aire seco, sin nubes, dejando expuesta la superficie de la región estudiada a los rayos del sol durante gran parte del día.

Temperatura: Presenta temperaturas que oscilan entre los 19°C y los 28°C, con un promedio para la zona urbana de 22°C. La variación de la temperatura en el día (entre 4°C y 5°C) se ve altamente influenciada por la intensa insolación y baja nubosidad, mientras que la frescura de la noche hace descender otro tanto la temperatura.

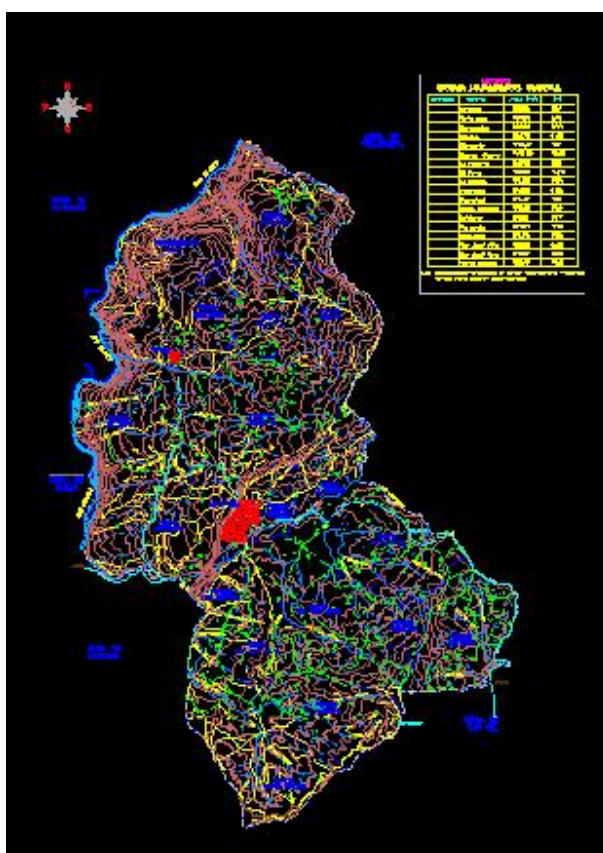
Precipitación: Para el área de Barichara, se tiene un régimen de lluvias bimodal, que se caracteriza por dos picos de máxima precipitación entre los meses de abril - mayo y septiembre - octubre, así como dos períodos secos entre los meses de junio - agosto y noviembre – febrero.

Población. De acuerdo con los resultados presentados por el DANE en su censo de 1993 (proyección a 1999), presenta una población de 13 744 habitantes al año 2005, con una población rural del 74% y una población urbana del 26%, equivaliendo a 4 149 habitantes urbanos y 9 595 habitantes rurales.

En el área rural el predominio de la pequeña y mediana propiedad ha sido una constante histórica en el departamento hecho que se acentúa en Barichara, se define la unidad

agrícola familiar UAF, como la unidad de explotación agropecuaria que depende directa y principalmente de la vinculación de la fuerza de trabajo familiar y le permite al productor ingresos por 3 salarios mínimos mensuales y en Barichara el 44,88 % de los predios son inferiores a la UAF. En estas zonas con predominio de minifundio, además de los problemas de marginalidad económica dada la escasez de recursos, se presentan serios problemas para la sostenibilidad del sistema agrícola y la productividad agropecuaria debido a la reducida extensión de los predios, lo que ocasiona el uso intensivo del suelo para producir los medios de subsistencia, situación que obliga a la sobreexplotación de la tierra.

Figura 77. División Político administrativa Municipio Barichara



El perímetro urbano de la cabecera municipal es mayor al perímetro de servicios, especialmente al perímetro sanitario que define el perímetro urbano del ordenamiento territorial. En el mapa No. 2 de diagnóstico se espacializa la diferencia entre los dos perímetros, quedando un área con servicios de 62.47 hectáreas que corresponden al perímetro urbano del EOT y un área sin servicios de 27.26 hectáreas, que es un área que tiene trazado de manzanas y vías y que se define como área de expansión urbana.

Si se tiene en cuenta lo reglamentado en el acuerdo 002/94 sobre el área de amortiguación de 500 metros después del trazado urbano, que serán destinados para el crecimiento urbano futuro, el área de expansión urbana sería mayor, pero en razón a los

probables nuevos desarrollos el área de expansión definida corresponde a la mencionada, a la cual se agrega el área definida para vivienda de interés social, la cual se ubica en el área de amortiguación.

Figura 78. Perímetro Urbano Municipio Barichara



Aseo y recolección de Basuras: La recolección y transporte de residuos sólidos en Barichara se encuentra a cargo de la Unidad de Servicios Públicos del municipio, con una cobertura de 822 usuarios, equivalente al 100% de la población en el casco urbano, produce un promedio de 2.4 ton/día de residuos, es decir 72 ton/mes, siendo el centro de mayor producción de éstos el sector comercio. El total de habitantes en el casco urbano de acuerdo a la proyección para el año 2004 es de 3618 por lo que en promedio la generación de residuos es de 0.66 kg/hb-día.

La recolección se efectúa con una frecuencia de tres veces por semana a los sectores residencial, comercial, plaza de mercado y matadero, los días lunes y viernes se recoge los residuos orgánicos en el transcurso del día (iniciando a las 7 a.m. y finalizando a las 6 p.m.), realizando dos viajes en el día (uno en la mañana y otro en la tarde). El día miércoles se recoge los residuos inorgánicos en el transcurso del día (iniciando a las 7 a.m. y finalizando a las 6 p.m.), realizando dos viajes en el día (uno en la mañana y otro en la tarde), el sistema presenta gran cantidad de recorridos muertos, con lo cual se disminuye el rendimiento y la eficiencia de esta actividad.

El vehículo empleado para realizar esta función es una volqueta chevrolet modelo 90 servicio oficial, con una capacidad de 8 m³ con placa OSE-491. El vehículo recolector no posee sistema de impermeabilización de fondo, lo que puede generar vertimiento de lixiviados a largo del recorrido. El sistema de recolección de residuos es manual y es efectuado por tres operarios sin el equipo de protección personal adecuado para esta labor, quedando expuestos a la transmisión de enfermedades infecciosas por la manipulación de los residuos.

Los residuos orgánicos están siendo aprovechados en la planta de compostaje, localizada en la vereda El Pino, en la Finca Palomares aproximadamente a 6 km del casco urbano, las vías de acceso están en buen estado.

La composición y cantidad de residuos que se producen en Barichara son los siguientes:
Lunes y viernes orgánicos: 48 ton/mes que van a la planta de compostaje para abono orgánico.

Miércoles Inorgánicos: 24 ton/mes que se disponen en el relleno.

Tabla 33. Caracterización física de los Residuos Sólidos Producidos Barichara

Tipo de material	% EN PESO	Residuos sólidos producidos por componente Kg/mes
• Orgánicos fácilmente biodegradables		
- Residuos de alimentos	50	36000
- Podas y corte prado.	5	3600
- Otros	11,66	8395,2
• Subtotal (RSO)	66,66	47995,2
• Inorgánicos		
- Papel y cartón	5,27	3794,4
- Vidrio	7,14	5140,8
- Plástico	9,34	6724,8
- Metales	0,93	669,3
- Otros aprovechables (tela, madera)	1,10	792
• Subtotal (RSI)	23,78	17121,6
• No aprovechables	9,56	6883,2
• Aprovechables	90,44	65116,8
• TOTAL	100	72000

Fuente: PGIRS Barichara.

Tabla 34. Producción total de residuos sólidos generados en el Municipio Barichara.

Tipo de Usuario	No.De edificaciones	Producción usuario-mes	Residuos sólidos producidos Ton / mes
Domiciliares	625	7664,16	54,744
Comerciales	33	406,56	2,904
Industriales	1	23,94	0,171
Oficiales	7	85,26	0,609
Especiales	156	1900,08	13,572
TOTAL	822	10080	72

Fuente: PGIRS Barichara.

$$\# \text{personas/vivienda} = 4\ 149/822 = 5,04 \sim 5$$

Con los datos anteriores y conociendo la cantidad de usuarios y de habitantes en el municipio se establece la PPC para el municipio de Barichara por kilogramo – habitante – día, para el total de los residuos.

7.2 CALCULO DE LA PPC Kg./hab.-día:

$$\text{PPC} = \frac{\text{Residuos sólidos producidos} \times 1000}{\text{Población urbana actual} \times 30}$$

$$\frac{72 \times 1000}{4\ 110 \times 30} \quad \text{PPC} = \frac{72.000}{123\ 300}$$

PPC = 0,58 kg/hab-día

Figura 79. Producción total residuos Barichara



Fuente: PGIRS Barichara

8. PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE BARICHARA

La subregión definida para el Municipio de Barichara está conformada por los municipios de: Villanueva, Cabrera, Aratoca, Jordán y San Gil (Provincia de Guantánamo); Zapatoca (Provincia de Mares), Socorro y Galán (Provincia Comunera). Esta localizada en la Región Andina, en los valles de las cuencas bajas de los ríos Suárez, Chicamocha, Fonce y parte de la cuenca del río Sogamoso. Cuenta con una extensión territorial de 1.364 Km² y una población de 112.434 habitantes al año 1999.

La población del Municipio de Barichara, de acuerdo con los resultados presentados por el DANE en su censo de 1993 (proyección a 1999), presenta una población básicamente rural (74%) y una población urbana del 26%, equivaliendo a 3281 habitantes urbanos y 9165 habitantes rurales.

Para el servicio de aseo se mencionan a continuación los volúmenes de basuras recolectadas en la cabecera municipal y en Guane son suministrados por las autoridades municipales encargadas del control de esta actividad; la cabecera municipal, produce aproximadamente 8 toneladas semanales de desperdicios que necesitan ser depositados; Guane produce 1 tonelada en el mismo espacio de tiempo. En el sector rural la disposición de residuos se hace individualmente en cada hogar, colocando generalmente, las basuras orgánicas, en un hoyo para su descomposición o sirven de comida algunos animales domésticos, los demás componentes de estos residuos son acumulados en sitios de las viviendas para las cosas viejas e inservibles; por consiguiente no se tiene previsto ningún tipo de reajuste a este sistema rural.

Los residuos de construcción están siendo botados en la escarpa ubicada en la vereda Chahuete, debido a la poca construcción realizada en el municipio este parámetro de contaminación es relativamente bajo.

El servicio de aseo y recolección de basuras es prestado por el municipio y a la fecha del presente estudio se encuentra en trámite la construcción de un relleno sanitario el cual podría poner fin al problema de residuos sólidos en el municipio de Barichara.

El nuevo proyecto es una Gestión Integral de Residuos Sólidos y está localizado en la vereda El Pino, en la Finca Palomares aproximadamente a 6 km del casco urbano, las vías de acceso están en buen estado. La planta de tratamiento se encuentra construida y se están capacitando los operarios para ponerla en funcionamiento.

El proyecto global está concebido como una solución regional y por consiguiente contempla la solución del problema de basuras para los municipios de Barichara, Villanueva, Cabrera y Galán. Es importante recalcar que dentro de la concepción de basuras está una planta manual de compost para producción de bio abonos, la clasificación y comercialización de residuos sólidos reciclables y el tratamiento de basuras muertas y lixiviados.

La recolección de basuras se hace en todo el perímetro urbano de Barichara y corregimiento de Guane. La recolección de basuras en las calles se hace manualmente y para esta actividad el municipio emplea mano de obra de la región ejecutando un barrido por las calles de la zona urbana del municipio diariamente, esta basura se está depositando en predios aledaños al municipio, en la Finca Palomares.

El 17 de marzo se realizó la visita al municipio de Barichara para conocer el proceso de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos donde se encontró que la planta está ubicada a unos 6 kilómetros del sector urbano del municipio y en compañía del señor alcalde y de sus asesores se observó que fue recientemente construida, cuenta con una infraestructura en columnas de concreto, techo de zinc y una placa de aproximadamente 100 m², pero la mayor área está sin placa es sobre la tierra, en la cual se realiza todo el proceso desde la selección manual con operarios, la selección del material reciclado y la separación del material inerte para ser dispuesto en un relleno sanitario; la separación se hace manual haciendo lento el proceso, se contamina mucho el residuo orgánico, reduciendo la cantidad de abono que se pueda producir. La recolección de los residuos orgánicos se hace los días lunes y viernes; éstos no son clasificados en la fuente por lo que cuentan con tres operarios en la planta de compostaje para que realicen la segregación respectiva. (Ver figura 80).

Figura 80. Clasificación de los residuos sólidos



El material reciclable es vendido a la empresa Guardianes del Futuro y los residuos no aprovechables son depositados en una bodega hasta completar el viaje para ser trasladada a la ciudad de Bucaramanga, lo anterior debido a que el relleno sanitario no está en funcionamiento.

Una vez clasificados los residuos orgánicos, estos son pasados con pala por los operadores a una banda transportadora, la cual se encuentra inclinada y tiene una longitud de 10m. Por este sistema son llevados a la tolva donde serán compactados o machacados. (Ver figura 80).

Figura 81. Banda Transportadora



De allí pasan a un tornillo sin fin de 4m de longitud (Ver figura 82), y llevados a un segundo tornillo sin fin de 15m (Ver figura 83) para luego ser distribuido en las celdas donde permanecerá en el proceso de maduración de 20 a 21 días.

Figura 82. Tornillo sin fin 1



Figura 83. Tornillo sin in 2



Una vez los residuos pasan por el primer tornillo sin fin son descargados en el triturador vertical para que a la salida tengan un tamaño de partícula adecuado y acelerar el proceso de compostación (Ver figura 84).

Figura 84. Triturador vertical



Las celdas son de 2m de ancho por 2m de largo y 1.20m de alto, son un poco incómodas para realizar el volteo manual y restringe bastante la aireación natural de la materia orgánica, (Ver figura 85).

Figura 85. Celdas de maduración



En la parte inferior (piso) se coloca una rejilla para poder inyectar el aire, el cual es agregado 20 min/día, el aire es inyectado a través de un ventilador pero en la actualidad no se cuenta en la totalidad de las celdas con la rejilla lo que dificulta la aireación del producto para que puedan actuar mejor los microorganismos, y se están mejorando los conductos de eliminación de lixiviados (Ver figura 86).

Figura 86. Rejilla y sistema de recolección lixiviados de las celdas



En la celda, a cada capa de 10 cm se le adiciona "Microorganismos EM", producido por la FUNDACIÓN DE ASESORÍA PARA EL SECTOR RURAL (FUNDASES), el cual es comprado por un valor de \$ 2.500 L. Las EM es un cultivo líquido, de color amarillo claro y olor a jugo de caña fermentado, puesto que su desarrollo lo efectúa en este medio, posee maduración suficiente, para 18 litros de agua se requieren 2 litros de EM. Este cultivo se encuentra en un tanque plástico con capacidad de 500 litros (Ver figura 87).

Figura 87. Producción de EM microorganismos que se le adicionan a las celdas.



Una vez se le agrega el EM se continua el proceso de compostación y por medio del ventilador se la agrega aire durante 20 minutos en la mañana y 20 minutos en la tarde, hasta cumplir con un periodo de maduración de aproximadamente 20 días para luego ser sacado de las celdas con palas, y ser llevado a una zona de secado al aire libre con frecuentes volteos a pala por un operador (Ver figura 88) donde permanece el tiempo

necesario para obtener en el producto final una humedad final adecuada y poder darle una correcta presentación final; luego el producto final ya seco es tamizado con una zaranda manual y posteriormente empacado en costales de aproximadamente 40 kilos.(Ver figura 89). El producto es comercializado dentro del mismo municipio con los campesinos y productores orgánicos. Para evitar la presencia de moscas, se vierte nuevamente sobre la superficie de los residuos ubicados en las celdas caldo microbiano EM, como control biológico y asegurar la aceleración del proceso de compostación.

Figura 88. Área de secado



Figura 89. Producto final



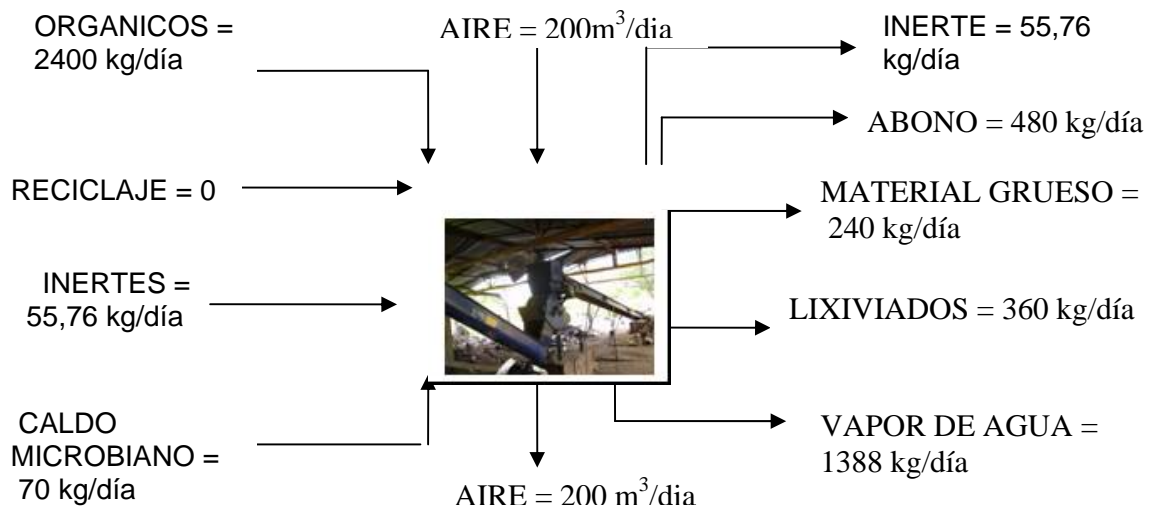
Para el manejo de los lixiviados se cuenta en cada celda con unos canales recolectores, que conducen el liquido percolado generado por la descomposición del material orgánico a una pila (Ver Figura 90) construida en cemento al final de las celdas y de allí es conducido a un tanque de almacenamiento que posteriormente es diluido y utilizado como abono líquido.

Figura 90. Tanque recolector lixiviados



8.1 BALANCE DE MATERIA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA

Figura 91. Balance general de materia Barichara



Del balance de materia se obtiene que la planta de compostaje de Barichara procesa 2400 kilogramos por día de materia orgánica previamente seleccionada en la fuente y sin embargo llegan a la planta un total de 55,76 kilogramos por día de material inerte y en promedio se están agregando 70 kilogramos por día de caldos microbianos para acelerar el proceso de compostaje y lograr reducir los tiempos de producción del mejorador de suelo.

Se le inyectan un total de 200 metros cúbicos por día de aire forzado por medio de un ventilador de tiro inducido para lograr mantener la cantidad de oxígeno necesaria dentro de las celdas de compostación y asegurar un proceso aeróbico de descomposición de tal forma que se minimicen los olores generados por la descomposición, también se colocan tubos perforados en las celdas de producción para garantizar la aireación.

Los residuos inertes que ingresan, se retiran durante todo el proceso de producción y salen en la misma cantidad como residuos inertes y son dispuestos en el relleno sanitario. Se generan 480 kilogramos por día de mejorador de suelos, de los cuales únicamente se están comercializando aproximadamente 240 kilos porque la administración municipal tiene convenios con los productores o campesinos los cuales les subsidia el abono orgánico como incentivo para la producción y reducción de costos de producción.

De igual manera se están generando 240 kilogramos por día de material grueso el cual se deja en la sección de secado para que continúe su descomposición. Durante el procesamiento de los residuos orgánicos se generan 360 kilogramos por día de lixiviados que son líquidos que se generan por lixiviación de las celdas pues el

producto esta soportado sobre una malla para que circulen estos lixiviados. Por ultimo se generan 1388 kilogramos por día de vapor de agua ya que una vez los residuos orgánicos pasan por el proceso de fermentación en las celdas se pasan al área de secado un sector cubierto y se le realiza volteo manual hasta lograr la humedad adecuada para ser empacado.

8.2 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA

Se presentan a continuación un análisis económico de conformidad a los datos suministrados por la Alcaldía municipal. por lo cual se presenta el estado de resultados y el balance de causación de la planta para el año 2005.

Tabla 34. Estado de resultados de la planta de compostaje de Barichara

**ESTADO DE RESULTADOS PLANTA DE COMPOSTAJE BARICHARA
DICIEMBRE 31 DE 2005
(Cifras en miles de pesos)**

Cuentas		
INGRESOS		38,951
INGRESOS PLANTA	38,951	
Ingresos venta Mejorador de suelos	11,520	
Ingresos por Tarifas	4,318	
Subsidio del Municipio	23,113	
GASTOS		38,951
GASTOS DE FUNCIONAMIENTO	18,051	
Personal operación planta compostaje	18,051	
GASTOS OPERACIONALES	20,900	
Insumos	4,500	
Mantenimiento	6,400	
Energia Electrica	10,000	
UTILIDAD DEL EJERCICIO		0

Fuente: Secretaría de Planeación.

El estado de resultados (estado de pérdidas y ganancias) se establece para el año 2005 y presenta ingresos por venta del mejorador de suelos en presentación de bultos de aproximadamente 30 kilos, con un costo por bulto de \$4.000; se aclara que el municipio únicamente comercializa aproximadamente la mitad de los bultos producidos porque dentro de su EOT consagra el apoyo con subsidio en abono a los agricultores y campesinos de su jurisdicción, por tal motivo no se generan esas entradas por venta del mejorador de suelos; otro ingreso por vía tarifas y un subsidio por parte de la alcaldía ya

que el municipio no cuenta con un estudio tarifario acorde con los costos de operación del servicio de aseo en general. Presenta unos Gastos asociados al personal para asegurar la operación de la planta y su correcto funcionamiento.

En los gastos operacionales se presentan en mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento de la maquinaria pues es una operación que no puede parar por más de tres días; y los gastos asociados al consumo de energía que vienen representados por los consumos de energía eléctrica, para el funcionamiento de los motores de las líneas de producción.

No se obtiene ninguna utilidad por no contar con un equilibrio económico debido principalmente a no contar con un sistema tarifario adecuado para cubrir los costos asociados a la prestación del servicio de aseo y su disposición final, por tal motivo la alcaldía municipal debe subsidiar todo el servicio de aseo del Municipio, donde lo correspondiente a la disposición final de residuos orgánicos el valor de \$23.113.000, para lograr equilibrio económico en la planta.

Tabla 35. Balance general de la planta de compostaje Barichara

DICIEMBRE 31 DE 2005
(Cifras en miles de pesos)

<u>ACTIVO</u>		<u>PASIVO</u>	
CORRIENTE	400	CORRIENTE	0
EFFECTIVO	300	Operaciones de Credito	0
Caja	300	Obligaciones Financieras	0
Rentas por Cobrar	0	Cuentas por pagar	0
DEUDORES	0	Obligaciones laborales	0
Cuentas por cobrar	0	Pasivos estimados	0
INVENTARIOS	100		
Materiales prestación del servicio	100	NO CORRIENTE	0
		Cuentas por pagar	0
NO CORRIENTE	212,500	Obligaciones laborales	0
PROPIEDAD PLANTA Y EQUIPO	212,500	TOTAL PASIVO	0
Maquinaria y Equipo	210,000	PATRIMONIO	212,900
Depreciación Acumulada	2,500	CAPITAL SOCIAL	212,900
		UTILIDAD DEL EJERCICIO	0
TOTAL ACTIVO	212,900	TOTAL PATRIMONIO	
		TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO	212,900

Fuente: Secretaria de Planeación.

En el balance encontramos que se encontraban a 31 de diciembre del año 2005 \$300.000 en caja, en materiales para la prestación del servicio la suma de \$100.000, la maquinaria y equipos existentes en \$210.000.000, una depreciación de \$2.500.000, para un total de activos de activos de \$212.900.000. En cuanto a los pasivos no se presentan y un

patrimonio de \$212.900.000 representados en capital social, indicando un equilibrio: Activo igual al Pasivo más el Patrimonio.

8.3 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA

Para conocer la calidad del producto y analizar el proceso productivo se realizaron los análisis de laboratorio de las muestras de producto tomadas en la planta de compostaje, desde el inicio cuando llega el producto fresco y semanalmente se tomaron dos muestras logrando tener una secuencia de la evolución o maduración del producto dando los siguientes resultados:

8.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras fueron tomadas por el personal de cada una de las plantas, para lo cual se tomo aproximadamente 1,5 kg. Para cada muestra, almacenando la misma en bolsas apropiadas y debidamente etiquetadas para ser transportadas al laboratorio para su análisis correspondiente. El monitoreo se llevo a cabo durante aproximadamente 4 semanas tiempo el cual dura el proceso de aprovechamiento, con el fin de realizar un seguimiento a los porcentajes y concentraciones de los diferentes parámetros incluidos en el estudio. Para el análisis de las muestras, el laboratorio, usa los métodos listados a continuación:

Tabla 36. Métodos de análisis pruebas de laboratorio

PARAMETRO	METODO DE ANÁLISIS
PH	NORMA ICONTEC 684
TEXTURA	GRANULOMETRIA
HUMEDAD	NORMA ICONTEC 529
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	S.M.5310 – C Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
NITRÓGENO	S.M. 4500 NT.B Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
FÓSFORO	NORMA ICONTEC 233 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
HIERRO	S.M. 3500 Fe
ZINC	NORMA ICONTEC 954 Y/O S.M. 3500 – Zn
MANGANESO	S.M. 3500 – Mn
COBRE	NORMA ICONTEC 627 Y/O S.M. 3500 – Cu
CAPACIDAD INTERCAMBIO IONICO	NORMA ICONTEC 712 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
POTASIO	NORMA ICONTEC 202 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
CALCIO	S.M. 3500 – Ca
MAGNESIO	NORMA ICONTEC 643

Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis.

Las pruebas de temperatura se realizaron directamente en la planta de compostaje y se realizaron sobre una misma pila en tres posiciones diferentes una al inicio de la pila, otra en la mitad de la pila y otra al final de la pila de compostación y se obtuvo un promedio de las tres para hacerla representativa como se consigna en la tabla 37.

Tabla 37. Toma de temperatura en Barichara

Fecha	Hora	Temperatura (°C)
10/1/2005	7:00	15
10/2/2005	7:00	15
10/3/2005	7:00	18
10/4/2005	7:00	25
10/5/2005	7:00	30
10/6/2005	7:00	35
10/7/2005	7:00	40
10/8/2005	7:00	45
10/9/2005	7:00	50
10/10/2005	7:00	55
10/11/2005	7:00	56
10/12/2005	7:00	57
10/13/2005	7:00	58
10/14/2005	7:00	59
10/15/2005	7:00	60
10/16/2005	7:00	60
10/17/2005	7:00	60
10/18/2005	7:00	59
10/19/2005	7:00	58
10/20/2005	7:00	58
10/21/2005	7:00	57
10/22/2005	7:00	56
10/23/2005	7:00	56
10/24/2005	7:00	55
10/25/2005	7:00	54
10/26/2005	7:00	53
10/27/2005	7:00	50
10/28/2005	7:00	45

Fecha	Hora	Temperatura (°C)
10/30/2005	7:00	43
10/31/2005	7:00	42
11/1/2005	7:00	41
11/2/2005	7:00	36
11/3/2005	7:00	35
11/4/2005	7:00	32
11/5/2005	7:00	30
11/6/2005	7:00	28
11/7/2005	7:00	25
11/8/2005	7:00	22
11/9/2005	7:00	21
11/10/2005	7:00	18
11/11/2005	7:00	18
11/12/2005	7:00	17
11/13/2005	7:00	17
11/14/2005	7:00	17
11/15/2005	7:00	15

Fuente: Los Autores.

Tabla 38. Análisis fisicoquímico de Compost Barichara

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 1-BAR-05

Fecha de emisión: Octubre 18 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del Cliente **Muestras tomadas por:** EMSERPUNAL

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – PUENTE NACIONAL**

Fecha de muestreo: Septiembre 23 Y 26 de

Tipo de muestras: Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Septiembre 27

Fecha de análisis: Sept. 28 a Oct 11

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST BARICHARA SEPT. 23/05	COMPOST BARICHARA SEPT. 23/05	COMPOST BARICHARA SEPT. 26/05		
PH	6.3	6.5	6.6	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	62,1	58.9	57.4	%	25 – 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	43.2	49.5	47.2	%	40 – 60
NITRÓGENO	1.10	1.12	0.96	%	1 - 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 39. Análisis físicoquímico de Compost Barichara**INFORME DE LABORATORIO****Informe No.:** 2-BAR-05**Fecha de emisión:** Octubre 18 de 2005**Solicitante:** EMSERPUNAL**Dirección:** Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828**Protocolo de muestreo:** Protocolo del Cliente **Muestras tomadas por:** EMSERPUNAL**Lugar de muestreo:** PLANTA DE COMPOSTAJE – BARICHARA**Fecha de muestreo:** Sept. 30, Oct. 3, 7 de**Tipo de muestras:** Muestra Compost.**Fecha / Hora de recepción:** Octubre 8 de**Fecha de análisis:** Octubre 8 – 18

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST BARICHARA SEPT.30/05	COMPOST BARICHARA OCT. 3/05	COMPOST BARICHARA OCT.7/05		
PH	6.4	6.5	6.4	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	48.5	47.3	44.2	%	25 – 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	44.8	40.4	39.5	%	40 – 60
NITRÓGENO	1.4	1.6	1.3	%	1 – 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 40. análisis fisicoquímico de compost barichara**INFORME DE LABORATORIO****Informe No.:** 3-BAR-05**Fecha de emisión:** Octubre 24 de 2005**Solicitante:** EMSERPUNAL**Dirección:** Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828**Protocolo de muestreo:** Protocolo del Cliente**Muestras tomadas por:** EMSERPUNAL**Lugar de muestreo:** PLANTA DE COMPOSTAJE – BARICHARA**Fecha de muestreo:** Oct. 11, 14 y 18 de 2005**Tipo de muestras:** Muestra Compost.**Fecha / Hora de recepción:** Octubre 19 de 2005**Fecha de análisis:** Oct. 19 – 24 de 2005

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST BARICHARA OCT.11/05	COMPOST BARICHARA OCT.14/05	COMPOST BARICHARA OCT.18/05		
PH	6.7	6.6	6.5	UNIDADES	4.0 - 6.0
HUMEDAD	46.3	41.2	38.7	%	25 - 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	39.5	41.5	42.3	%	40 - 60
NITRÓGENO	1.8	1.9	1.6	%	1 - 3
FÓSFORO	0.85	0.78	0.87	%	1.5 - 10.0
HIERRO	0.33	0.31	0.29	%	-
ZINC	0.07	0.06	0.04	mg/Kg	Mayor 10
MANGANESO	96.3	98.2	95.3	mg/Kg	-
COBRE	1.9	2.2	1.9	mg/Kg	Mayor 0.2
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IÓNICO	34.2	36.9	30.5	UNIDADES	15 - 25
POTASIO	0.85	0.70	0.62	%	1.0 - 3.0
CALCIO	5.8	5.7	5.9	%	3 - 5
MAGNESIO	2.3	2.0	1.9	%	1 - 2

Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 41. Análisis fisicoquímico de Compost Barichara

Informe No.: 4-BAR-05

Fecha de emisión: Noviembre 4 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del

Muestras tomadas por: EMSERPUNAL

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – BARICHARA**

Fecha de muestreo: Oct. 21,25, 29 de 2005 **Tipo de muestras:** Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Oct: 30 de 2005 **Fecha de análisis:** Oct. 30 – Nov. 4 de

INFORME DE LABORATORIO

ANALISIS FISICOQUIMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST BARICHARA OCT.21/05	COMPOST BARICHARA OCT.25/05	COMPOST BARICHARA OCT. 29/05		
PH	6.9	6.7	6.7	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	38.4	36.8	32.2	%	25 – 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	42.3	43.5	39.5	%	40 – 60
NITRÓGENO	2.3	2.1	2.2	%	1 – 3

Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 42. Análisis fisicoquímico de Compost Barichara

IFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 5-BAR-05

Fecha de emisión: Noviembre 4 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del **Muestras tomadas por:** EMSERPUNAL

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – BARICHARA**

Fecha de muestreo: Nov: 1, 8, 11 de **Tipo de muestras:** Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Nov. 18 **Fecha de análisis:** Noviembre 18 – 26 de

ANALISIS FISICOQUIMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST BARICHARA NOV.1/05	COMPOST BARICHARA NOV.8/05	COMPOST BARICHARA NOV.11/05		
PH	7.2	7.0	6.9	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	22.4	21.8	20.4	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	41.3	40.5	38.8	%	40 – 60
NITRÓGENO	2.6	2.5	2.8	%	1 – 3
FÓSFORO	0.98	1.2	1.3	%	1.5 - 10.0
HIERRO	0.41	0.38	0.32	%	-
ZINC	0.11	0.08	0.03	mg/Kg	Mayor 10

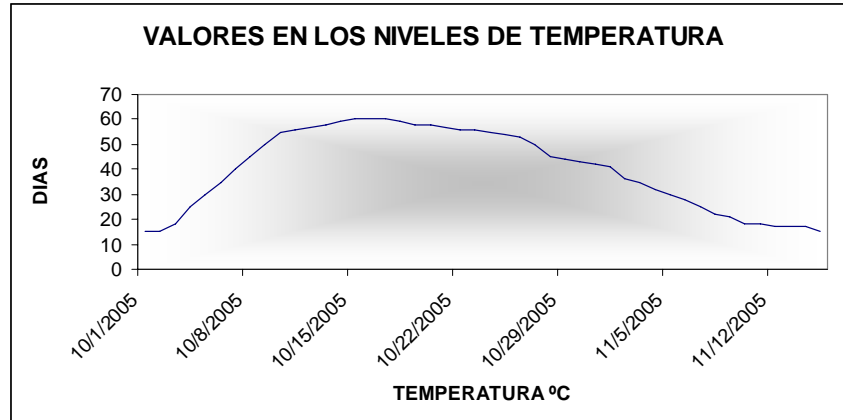
ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST BARICHARA NOV.1/05	COMPOST BARICHARA NOV.8/05	COMPOST BARICHARA NOV.11/05		
MANGANESO	96.3	102.5	96.4	mg/Kg	-
COBRE	2.3	1.8	2.1	mg/Kg	Mayor 0.2
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO	39.2	41.3	29.3	UNIDADES	15 -2 5
POTASIO	0.62	0.74	0.57	%	1.0 - 3.0
CALCIO	6.3	6.2	5.3	%	3 – 5
MAGNESIO	2.5	2.1	2.4	%	1 -2

Fuente: laboratorio PSL Proanálisis

Con los análisis fisicoquímicos del compost se procederá a realizarle una valoración, análisis e interpretación de forma estadística de cada una de las variables, su evolución o cambio a través del tiempo para obtener información sobre el proceso realizado y de la calidad del producto que se obtiene. (Ver análisis fisicoquímicos anexos, 7 folios)

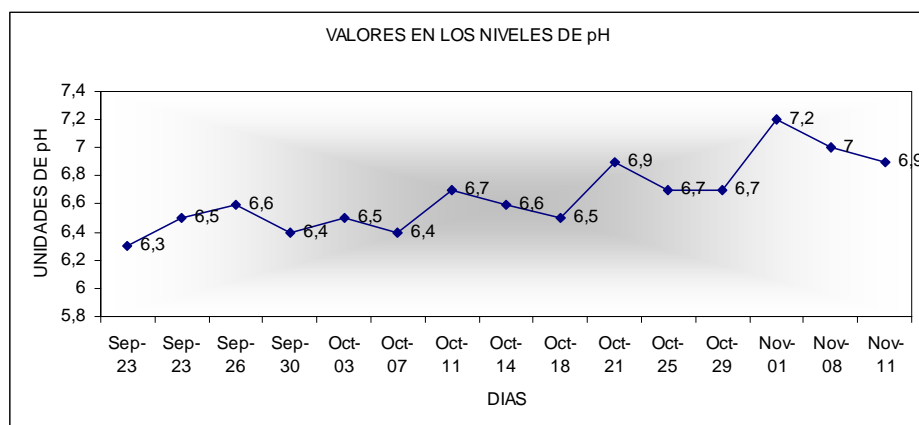
En primer lugar se analizará la evolución o cambio experimentado por cada una de las variables estudiadas y su comportamiento con relación al proceso, a los valores teóricos ideales y su importancia dentro del esquema productivo de la planta.

Figura 92. Valores en los niveles de temperatura en barichara



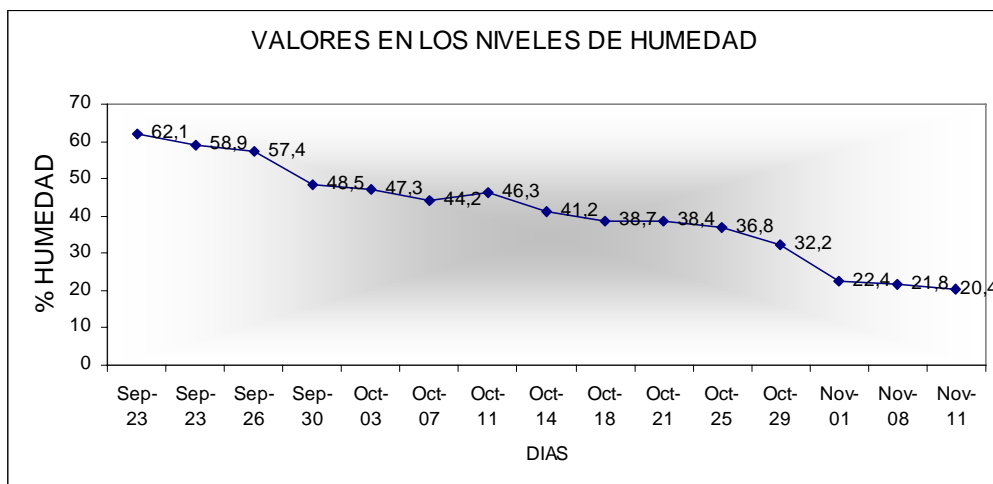
- Se observa que se presentan las dos regiones de temperatura la mesofílica que va hasta 35°C y la termofílica entre 55 y 65 °C para luego presentar un descenso en la temperatura indicando que el proceso se termina.
- La subida de temperatura se produce por una fermentación asociada a reacciones exotérmicas por parte de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos.
- La temperatura máxima alcanzada fue de 60°C.
- La toma de temperatura se realizó durante 45 días por que no se observaba un descenso en la temperatura considerable por tal motivo lo que indica fallas en el proceso de descomposición para lograr menores tiempos de producción.
- Se presenta una rápida elevación de la temperatura asegurando llegar a la etapa termofílica más rápido, siendo esta etapa la mejor para descomponer residuos sólidos orgánicos por medio de celdas.

Figura 93. Valores en los niveles de pH Barichara



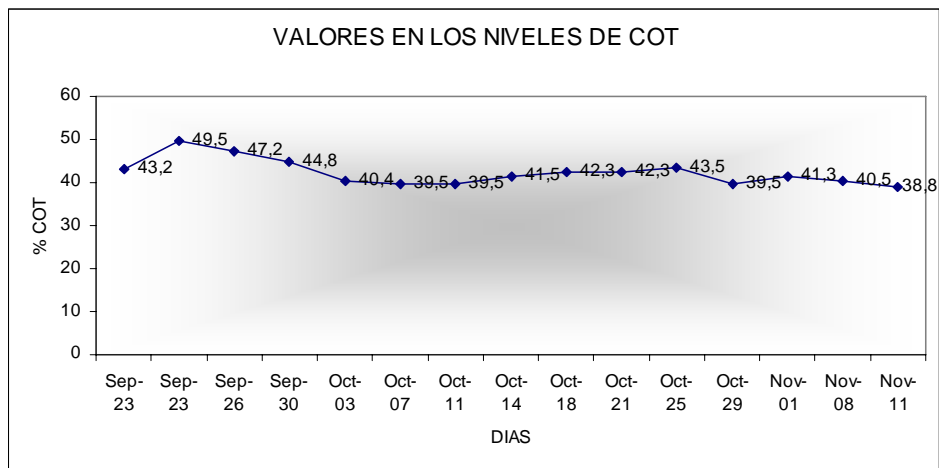
- Para lograr una descomposición aerobia óptima, el pH debería permanecer en el rango de 7 a 7.5, se observa que el valor mas próximo es 7,2.
- Para minimizar la pérdida de nitrógeno en la forma de gas amonio, el pH no debería sobrepasar un valor de 8,5, observándose que este fenómeno no se esta presentando durante todo el proceso de descomposición.
- Las condiciones ambientales de pH tienen un efecto sobre la supervivencia y el crecimiento de los microorganismos. La concentración de iones de hidrogeno, expresada como pH, no es un factor significativo en el crecimiento de microorganismos, en si mismo, dentro de la gama de 6 a 9.
- Generalmente el pH óptimo en el crecimiento bacteriano queda entre 6.5 y 7.5; sin embargo cuando el pH esta por encima de 9 o por debajo de 4.5 parece que las moléculas sin disociar de los ácidos débiles o bases pueden entrar en la célula más fácilmente que los iones de hidrogeno y oxidrilo y, alterando el pH interno, dañar la célula.
- El valor mínimo encontrado fue de 6,3 en la primera semana de la toma cuando el producto está fresco y se va incrementado a medida que se va degradando la materia orgánica lentamente hasta lograr un máximo en la cuarta semana de 6,9.
- El valor de pH inicial de los residuos sólidos orgánicos está normalmente entre 5 y 7, observándose que en Barichara se presentan valores alrededor de 6,3.
- El valor de pH varía según el perfil pH – tiempo que se muestra en el gráfico 47. En los primeros días de compostaje el pH cae a 6,4, en esta etapa la masa orgánica esta a temperatura ambiente, comienza la reproducción de organismos mesofílicos y empieza a subir rápidamente la temperatura. Entre los productos de esta etapa inicial de aproximadamente 3 días, la temperatura llega a la etapa termofílica, y el pH empieza a subir hasta 7.2 para el resto del proceso aerobio. El pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a valores de 7 a 6,9 en el compost maduro.
- En la última muestra que equivale al producto listo para ser comercializado se observa que el pH presenta valores cercanos a 7 siendo apto para el uso de suelos agrícolas y en cualquier cultivo a ser utilizado.
- Se concluye que la aireación forzada que se realiza asegura la descomposición aerobia, ya que si la aireación no es la adecuada se producirán condiciones anaerobias y el pH caerá a valores hasta aproximadamente 4 a 5 y el proceso de compostaje se retrasaría.
- Esta variable juega un papel muy importante en el análisis de laboratorio ya que es de fácil toma o muestreo y se puede correlacionar con otras variables mediante una ecuación de regresión conocida y así poder establecer valores de otras variables sin necesidad de realizar su análisis.

Figura 94. Valores en los niveles de humedad Barichara



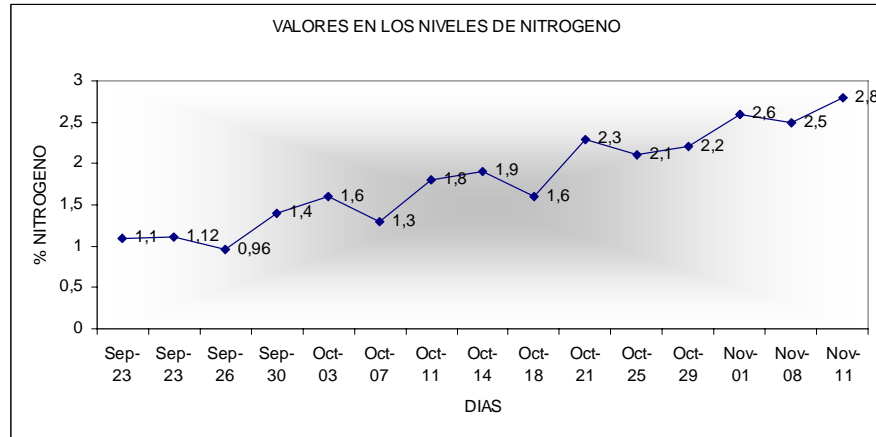
- Se observa que la humedad inicial es grande empezando en un 62,1% lo que indica que el producto fresco (residuo sólido domiciliario) contiene altas cantidades de agua, pero una vez se tritura y se composta en la pila de producción empieza a perder humedad por escorrenteria la cual va aumentando a medida que el proceso pasa a ser termofílico y con el aumento de la temperatura se pierde humedad por evaporación haciendo reducir la humedad en todo el proceso hasta llegar a un valor final de 20,4 %.
- El contenido de humedad debería estar entre el 50% y el 60% durante el compostaje siendo un valor óptimo el 55%, por tal motivo es necesario en la planta de Barichara, agregar agua desde el principio del proceso hasta su culminación. Por lo anterior se recomienda recircular mediante riego manual los lixiviados generados por la desintegración de los residuos orgánicos, sobre las pilas de compostaje, lo cual lo pueden realizar los operadores continuamente a las pilas de compostación para lograr aumentar la humedad de las pilas de compostaje, esto con el fin de obtener una optima actividad bacteriana.
- La humedad puede ajustarse mediante la adición de agua o de lixiviados como se comento anteriormente ya que si el contenido de humedad cae por debajo del 40% se reduce la velocidad de fermentación, hecho que está ocurriendo desde la segunda semana del proceso.
- La humedad final del 20,4% se está logrando en tan corto tiempo (20 días) por el proceso de secado con aire a temperatura ambiente que se realiza, logrando que durante su almacenamiento en la bodega no se produzca fermentación del producto, se evite la producción de hongos, se disminuya su peso para el transporte y se entregue el producto final con una humedad final adecuada. Sin embargo se recomienda tratar de disminuir la humedad del producto final hasta lograr valores de alrededor de 10% de humedad final.

Figura 95. Valores en los niveles de carbono orgánico total Barichara



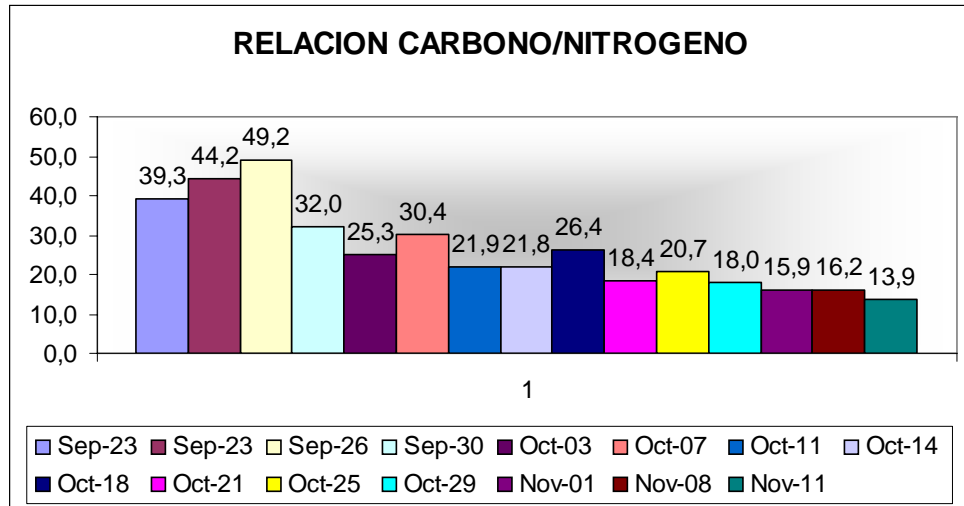
- Se observa que los niveles de carbono orgánico total son fluctuantes a través de todo el proceso teniendo un máximo de 49,5% y un mínimo en la mitad del proceso de 39,5%, teniendo un promedio de 42,3%.
- En el proceso mesofílico se presenta un aumento de la cantidad de carbono total, para luego volver a reducirse en la etapa inicial termofílica, continua sus fluctuaciones a través de todo el proceso hasta obtener un valor muy cercano al inicial de 38,8. %.
- Se debe mejorar el procedimiento de compostaje en las fases de humectación, agregar mejor la aireación de las pilas y mejorar el proceso de agregación de microorganismos para lograr valores más altos de carbono y así obtener mejores relaciones de carbono/nitrógeno.
- Se debe analizar son las relaciones carbono / nitrógeno con el fin de conocer que ventajas hay entre los diferentes mejoradotes de suelo por tal motivo las relaciones iniciales por masa deben ser entre 25% y 50% siendo optimas para el compostaje aerobio. Con relaciones más bajas se emite amoniaco presentando perdidas de nitrógeno, también se impide la actividad biológica.
- Con relaciones más altas, el nitrógeno puede ser un nutriente limitante.

Figura 97. Valores en los niveles de nitrógeno Barichara



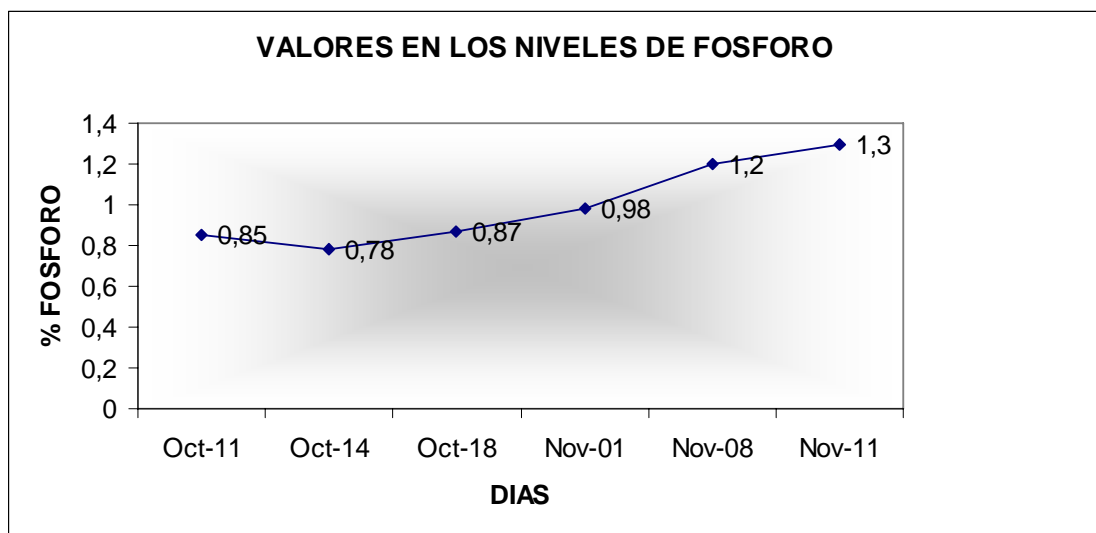
- Se observa que en el inicio del proceso se presenta unos niveles bajos de nitrógeno alrededor de 1,10% y si lo comparamos con los valores de la tabla 4 se puede concluir que los residuos sólidos orgánicos frescos vienen con un alto contenido de residuos de fruta fresca como se comprobó en las diferentes visitas realizadas al municipio.
- Se presenta en las siguientes etapas del proceso una tendencia a aumentar y llegar a estabilizarse en valor de 2,1 a 2,8% pero teniendo un promedio en todo el proceso de 1,81%.
- Relacionando la cantidad de nitrógeno generado durante el proceso se observa que a partir de la segunda semana, aproximadamente cuando se inicia el aumento de temperatura y pasa a ser un proceso termofílico la cantidad de nitrógeno tiene un aumento considerable el cual se mantiene casi estable durante todo el proceso termofílico, y continua estable durante la etapa de enfriamiento.
- El producto final a ser comercializado que corresponde al de las dos últimas muestras, equivaldría de conformidad a la tabla 11 al ofrecido por un estiércol indicándonos que hay relación entre la actividad bacteriana generada en los estómagos de los seres vivos con el proceso generado en la planta de compostaje. De igual manera se aprecia que es buena la cantidad de nitrógeno ofrecida por los residuos sólidos domésticos, teniendo en cuenta que el municipio tiene un habito de consumo de productos frescos, de mucha fruta, hortaliza, productos naturales y en muy poca importancia los enlatados o empacados o sintéticos.

Figura 98. Relación carbono / Nitrógeno Barichara



- Como se observa en la gráfica los niveles de nitrógeno en la primera semana son los más bajos por tal razón se obtiene una relación alta de carbono nitrógeno, una vez se inicia la etapa termofílica se produce un incremento en los niveles de nitrógeno que causan la disminución de la relación carbono / nitrógeno para mantenerse aproximadamente constante en el resto del proceso.
- Presenta un valor máximo de 49,2, en el inicio del proceso y un valor mínimo de 18,4 en la mitad del proceso para obtener un producto final con una relación de 13,9.
- Uno de los factores más importantes en el compostaje es la relación carbono - nitrógeno (relación C/N), el rango optimo para la mayoría de los residuos orgánicos está entre 20 y 25 a 1, como se muestra en la tabla 11.
- Para compostaje aerobio se tienen que las relaciones de carbono/nitrógeno deben encontrarse entre 25 y 50 basados en pesos secos totales, debido a que con relaciones más bajas se produce amoniaco gaseoso, reduciendo los niveles de nitrógeno disponible en el mejorador de suelos y en algunas ocasiones impide la actividad biológica con relaciones más bajas.
- De conformidad a la tabla 11 se analiza que los valores de la relación carbono / nitrógeno están por debajo de los niveles para compostaje aerobio, por tal motivo se recomienda realizar mejoras en el proceso productivo para lograr mejorar los niveles de carbono.

Figura 99. Valores en los niveles de fósforo barichara

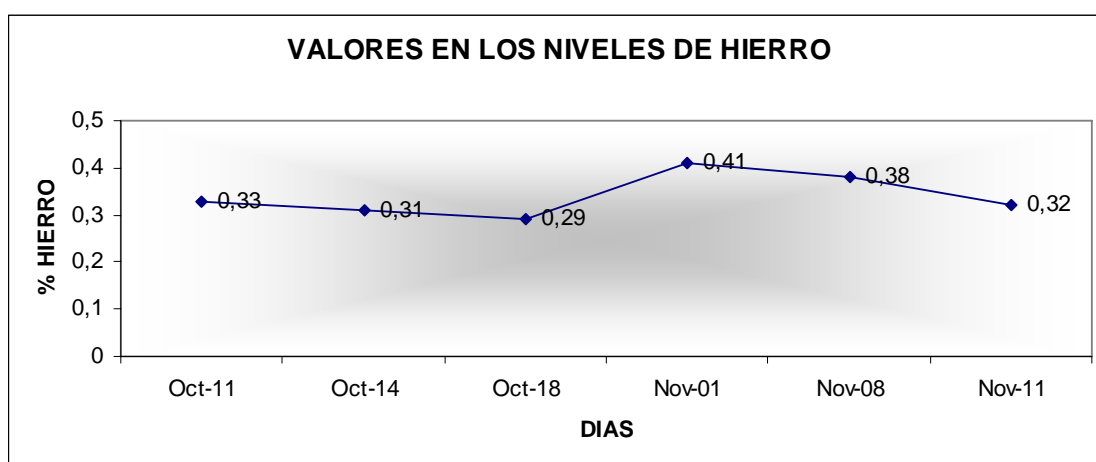


- Para los niveles de fósforo se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de fósforo no se ve afectado por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante a un valor promedio de 1,0%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de fósforo hasta tener en el producto final un valor de 1,3%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (1,5% – 10%), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de fósforo ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de fósforo por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de fósforo por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- De igual forma se recomienda establecer un cronograma para realizar a nivel de un laboratorio reconocido o al proveedor de los microorganismos un análisis del estado de

los microorganismos, del estado de los hongos y de las levaduras presentes en el agroplus utilizado para acelerar el proceso de compostación.

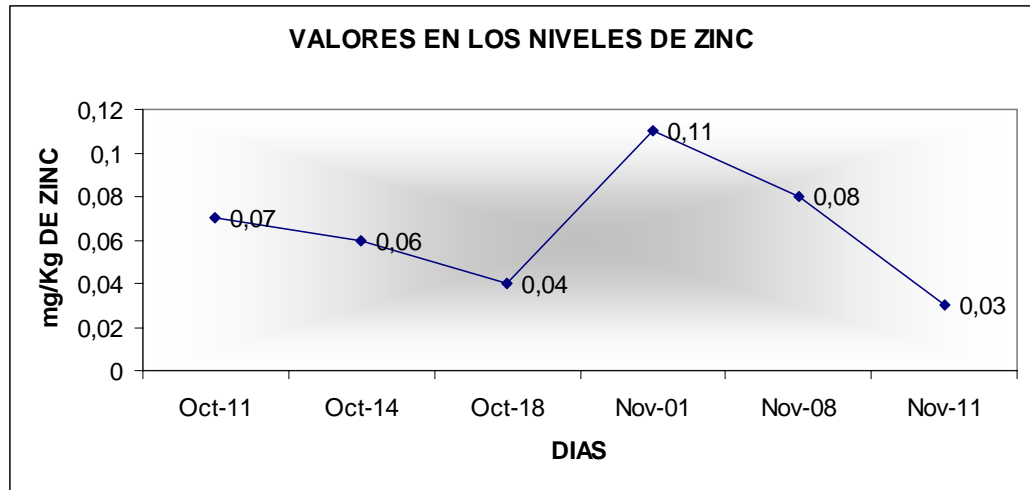
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.
- Se recomienda tener un control estricto en el proceso de secado por aire caliente ya que si la temperatura es muy elevada se puede presentar una pérdida o desnaturalización de los nutrientes presentes en el producto final afectando considerablemente la calidad del producto final.

Figura 100. Valores en los niveles de hierro barichara



- Para los niveles de hierro se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de hierro se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece constante, luego presenta un comportamiento de aumento hasta obtener un valor final de 0,32% y un valor promedio de 0,34%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de hierro hasta tener en el producto final un valor de 0,32%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Los niveles normales de hierro no se encuentran contemplados en los fertilizantes orgánicos, pero si son necesarios como nutrientes menores dentro de las necesidades de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

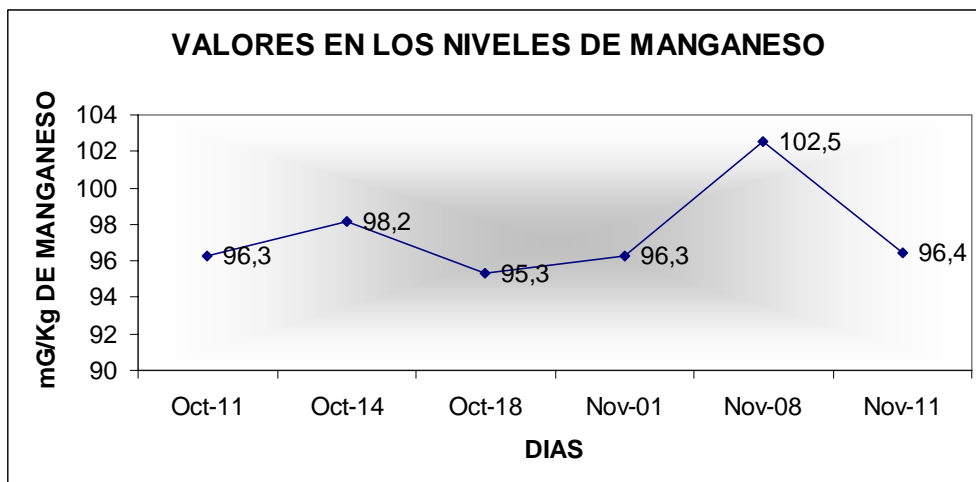
Figura 101. Valores en los niveles de zinc Barichara



- Para los niveles de zinc se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de zinc se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico presenta un leve aumento para luego en la muestra del 18 de octubre presento una leve disminución y luego si continua su aumento hasta obtener un valor final de 0.03 mg/Kg. y un valor promedio de 0,07mg/Kg.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se disminuye un poco la cantidad de zinc hasta tener en el producto final un valor de 0,03 mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Con respecto al valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (mayor de 10mg/Kg.), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de zinc ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de zinc por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de zinc por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- Se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.

- Se recomienda establecer un cronograma para realizar a nivel de un laboratorio reconocido o al proveedor de los microorganismos un análisis del estado de los microorganismos, del estado de los hongos y de las levaduras presentes en el agroplus utilizado para acelerar el proceso de compostación.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.
- Se recomienda tener un control estricto en el proceso de secado por aire caliente ya que si la temperatura es muy elevada se puede presentar una pérdida o desnaturalización de los nutrientes presentes en el producto final afectando considerablemente la calidad del producto final.

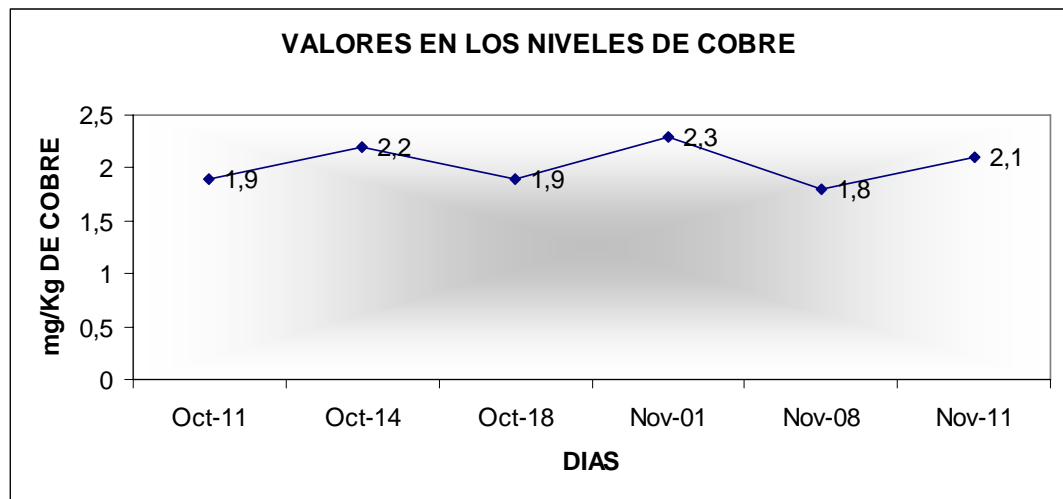
Figura 102. Valores en los niveles de manganeso Barichara



- Para los niveles de manganeso se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de manganeso se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta una leve disminución, pero luego sube hasta volver a ser casi constante, hasta obtener un valor final de 96,4mg/Kg y un valor promedio de 97,5mg/Kg.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene casi constante la cantidad de manganeso hasta tener en el producto final un valor de 96,4 mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.

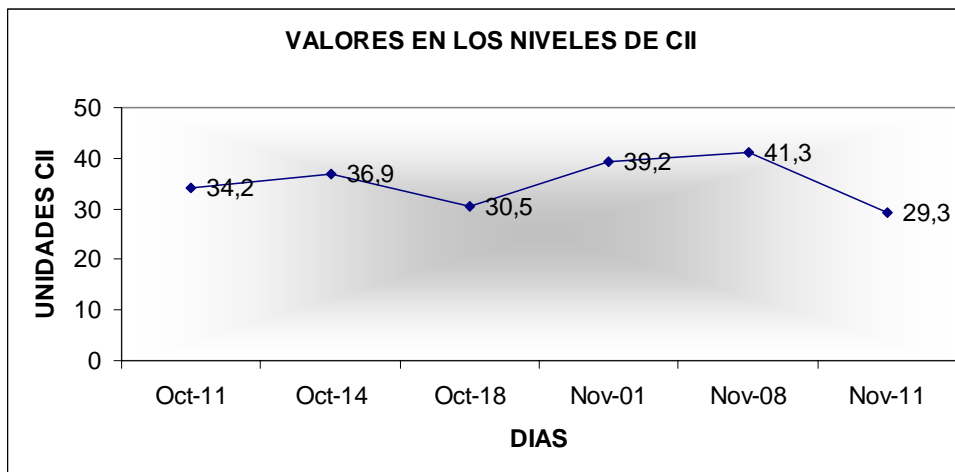
- Los niveles normales de manganeso no se encuentran contemplados en los fertilizantes orgánicos, pero si son necesarios como nutrientes menores dentro de las necesidades de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

Figura 103. Valores en los niveles de cobre Barichara



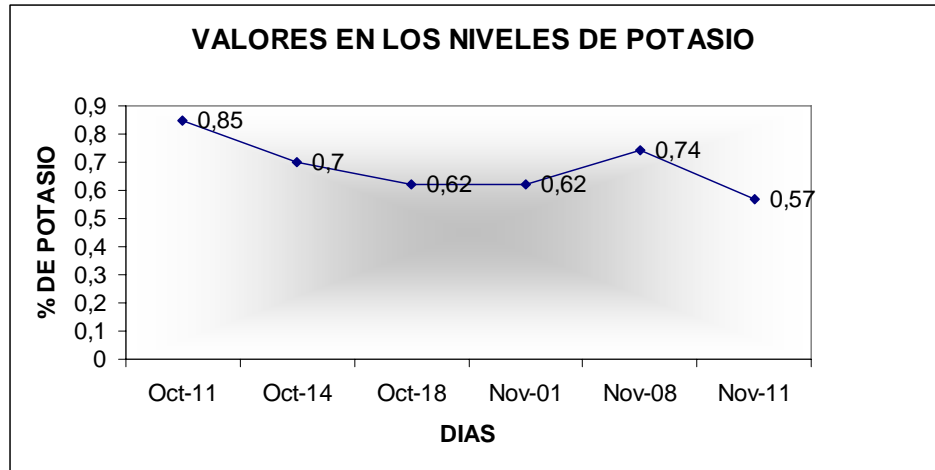
- Para los niveles de cobre se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de cobre se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta una leve disminución, pero luego sube hasta volver a ser casi constante, hasta obtener un valor final de 2,1 mg/Kg y un valor promedio de 2,03 mg/Kg. durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene casi constante la cantidad de cobre hasta tener en el producto final un valor de 2,1 mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con los valores normales de un fertilizante orgánico (mayor 0,2mg/Kg.) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición buenos niveles de cobre.
- Se analiza que la cantidad de cobre no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, siendo óptimo para ser mejorador de suelos.

Figura 104. Valores en los niveles de capacidad de intercambio iónico Barichara



- Para los niveles de capacidad de intercambio iónico se realizaron análisis en la segunda semana del proceso, al producto final y en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de CII se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta un leve aumento, para luego ser casi constante, hasta obtener un valor final de 29,3 unidades y un valor promedio de 35,2 unidades durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene constante la cantidad de CII hasta tener en el producto final un valor de 29,3 unidades, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (15 – 25 unidades) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de CII.
- Se analiza que la cantidad de CII no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, siendo óptimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

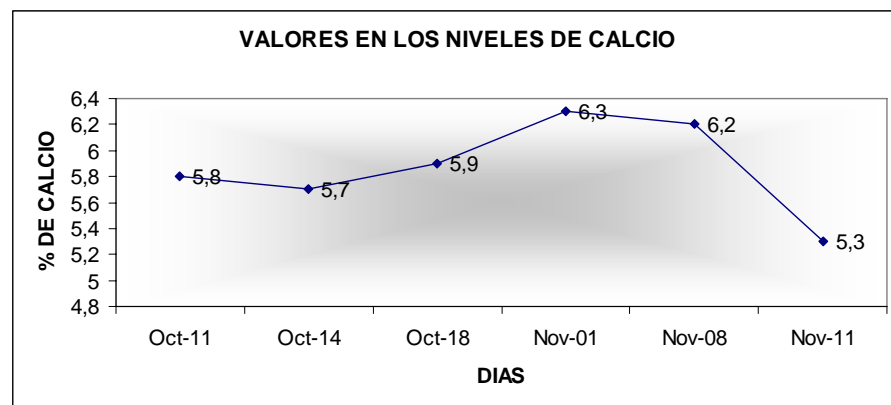
Figura 105. Valores en los niveles de potasio Barichara



- Para los niveles de potasio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de potasio no se ve afectado por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante a un valor promedio de 0,68%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de potasio hasta tener en el producto final un valor de 0,57%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (1,0% – 3,0%), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de potasio ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos orgánicos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de potasio por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de potasio por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.

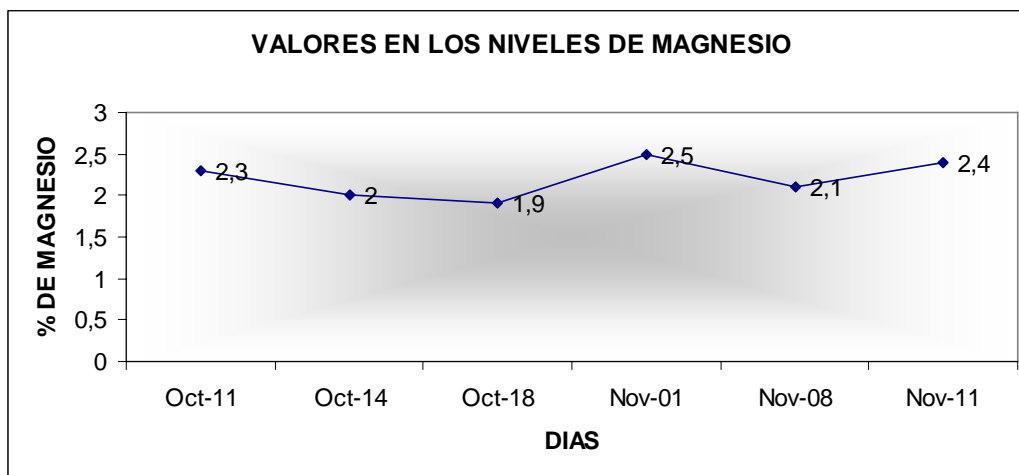
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.

Figura 106. Valores en los niveles de calcio Barichara



- Para los niveles de calcio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de calcio se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta un leve aumento, para luego ser casi constante, hasta obtener un valor final de 5,3% y un valor promedio de 5,8% durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene constante el porcentaje de calcio hasta tener en el producto final un valor de 5,3%, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (3% - 5%) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de calcio.
- Se analiza que la cantidad de calcio no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor iniciando en 5,1% como producto fresco, siendo óptimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

Figura 107. Valores en los niveles de magnesio Barichara



- Para los niveles de magnesio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de magnesio se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta un leve aumento, para luego ser casi constante, hasta obtener un valor final de 2,4% y un valor promedio de 2,2% durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento mantiene casi constante el porcentaje de calcio hasta tener en el producto final un valor de 2,2 %, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (1% - 2%) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de magnesio.
- Se analiza que la cantidad de magnesio no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, iniciando con un valor de 2,3% equivaliendo a un valor superior de las condiciones normales de un fertilizante orgánico, siendo optimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

8.5 REQUISITOS DEL ICA COMO ABONO

El Instituto Colombiano Agropecuario ICA ha realizado un proyecto de norma técnica Colombiana sobre productos para la industria agrícola, con el objeto de 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.

REQUISITOS GENERALES

- Los productos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o líquida como concentrados solubles.
- Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación.
- Deberá declararse el origen (clase y procedencia) de las materias primas y los procesos de transformación empleados.

REQUISITOS ESPECÍFICOS

Los productos orgánicos empleados como fertilizantes o abonos y enmiendas⁸ del suelo, deben cumplir con los requisitos que se mencionan a continuación:

Indicaciones relacionadas con la obtención del Abono orgánico y los componentes principales: Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de 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 indiquen.

Parámetros a caracterizar:

- Pérdidas por volatilización %.
- Contenido de cenizas máximo 60%.
- Contenido de humedad:
 7. Para materiales de origen animal, máximo 20 %.
 8. Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %.
 9. Para mezclas, el contenido de contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.
- Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %.
- N, P₂O₅ y K₂O totales, declararlos si cada uno es mayor de 1 %.
- Relación carbono / nitrógeno.
- Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg⁻¹ (meq/100g).
- Capacidad de retención de humedad mínimo su propio peso.
- pH mayor de 4 y menor de 9
- Densidad máximo 0.6 g / cm³.
- Se indicará la materia prima de que procede el producto.

Para iniciar el proceso de certificación del compostaje por el ICA se deben cumplir con los parámetros mencionados anteriormente. Es de destacar que el mejorador de suelos de la planta cumple con el parámetro fundamental que define si se puede someter a certificación o no el producto, siendo este la separación en la fuente, porque en la norma

⁸ De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1927, la definición de enmienda corresponde a Acondicionador de Suelos.

expresa claramente que la materia prima de la cual procede el compost debe ser separada en la fuente, de lo contrario no obtendrá la acreditación del ICA.

El mejorador de suelos de la planta de Barichara cumple con:

- Contenido de humedad:

Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %, y el mejorador de suelos tiene 21%

- Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %, y el mejorador de suelos tiene 40%.
- N, P₂O₅ y K₂O totales, declararlos si cada uno es mayor de 1 % y el mejorador de suelos tiene: 2,6% de N, 1,2 % de fósforo y no cumpliría con los totales de potasio pues tiene 0,62%
- Relación carbono / nitrógeno, es de 13,9 en promedio.
- pH mayor de 4 y menor de 9 y tiene un pH de 7,0.

Por lo anterior el mejorador de suelos si estaría cumpliendo los parámetros que exigiría el ICA para su comercialización, teniendo que mejorarse los niveles de Potasio.

8.6 ANÁLISIS VARIABLES DE CORRELACION PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA

Una vez analizados cada uno de los parámetros muestreados en la planta de compostaje se procederá a realizar un análisis de correlación y de regresión de las variables muestreadas con el fin de obtener la relación entre dichas variables y su comportamiento para esto se presenta una explicación de estos procedimientos así:

8.7 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CORRELACIÓN

La covarianza estadística entre dos variables suele ser analizada haciendo una [tabla](#) o una presentación gráfica, pero también hay disponibles estadísticas especiales para indicar su intensidad. Los medios disponibles para el análisis de los vínculos entre las variables dependen de con qué tipo de escala que han medido las variables.

- Para variables sobre escalas aritméticas, el método usual es la correlación estándar, mejor dicho la correlación del momento-producto o correlación de Pearson.

Para el análisis de las variables se establece la asociación entre dos variables cuantitativas estudiando el método conocido como correlación. Dicho cálculo es el primer paso para determinar la relación entre las variables. La predicción de una variable.

La cuantificación de la fuerza de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, se estudia por medio del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (1-3). Dicho coeficiente oscila entre -1 y +1. Un valor de -1 indica una relación lineal o línea recta

positiva perfecta. Una correlación próxima a cero indica que no hay relación lineal entre las dos variables.

El realizar la representación gráfica de los datos para demostrar la relación entre el valor del coeficiente de correlación y la forma de la gráfica es fundamental ya que existen relaciones no lineales.

El coeficiente de correlación posee las siguientes características:

- El valor del coeficiente de correlación es independiente de cualquier unidad usada para medir las variables.
- El valor del coeficiente de correlación se altera de forma importante ante la presencia de un valor extremo, como sucede con la desviación típica. Ante estas situaciones conviene realizar una transformación de datos que cambia la escala de medición y modera el efecto de valores extremos (como la transformación logarítmica).
- El coeficiente de correlación mide solo la relación con una línea recta. Dos variables pueden tener una relación curvilínea fuerte, a pesar de que su correlación sea pequeña. Por tanto cuando analicemos las relaciones entre dos variables debemos representarlas gráficamente y posteriormente calcular el coeficiente de correlación.
- El coeficiente de correlación no se debe extrapolar más allá del rango de valores observado de las variables a estudio ya que la relación existente entre X e Y puede cambiar fuera de dicho rango.
- La correlación no implica causalidad. La causalidad es un juicio de valor que requiere más información que un simple valor cuantitativo de un coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación de Pearson (r) puede calcularse en cualquier grupo de datos, sin embargo la validez del test de hipótesis sobre la correlación entre las variables requiere en sentido estricto:

a) que las dos variables procedan de una muestra aleatoria de individuos.

b) que al menos una de las variables tenga una distribución normal en la población de la cual la muestra procede. Para el cálculo válido de un intervalo de confianza del coeficiente de correlación de r ambas variables deben tener una distribución normal. Si los datos no tienen una distribución normal, una o ambas variables se pueden transformar (transformación logarítmica) o si no se calcularía un coeficiente de correlación no paramétrico (coeficiente de correlación de Spearman) que tiene el mismo significado que el coeficiente de correlación de Pearson y se calcula utilizando el rango de las observaciones.

8.7.1 Test de hipótesis de r . Tras realizar el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r) debemos determinar si dicho coeficiente es estadísticamente diferente de cero. Para dicho cálculo se aplica un test basado en la distribución de la t de student.

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$$

Si el valor del r calculado (para un ejemplo con $r = 0.885$) supera al valor del error estándar multiplicado por la t de Student con $n-2$ grados de libertad, diremos que el coeficiente de correlación es significativo. El nivel de significación viene dado por la decisión que adoptemos al buscar el valor en la tabla de la t de Student. Para un ejemplo donde la población es 20, los grados de libertad son 18 y el valor de la tabla de la t de student para una seguridad del 95% es de 2.10 y para un 99% de seguridad el valor es 2.88. (Tabla 2)

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-0.885^2}{20-2}} = 0.109$$

Como quiera que $r = 0.885 > 2.10 \cdot 0.109 = 2.30$ podemos asegurar que el coeficiente de correlación es significativo ($p < 0.05$). Si aplicamos el valor obtenido en la tabla de la t de Student para una seguridad del 99% ($t = 2.88$) observamos que como $r = 0.885$ sigue siendo $> 2.88 \cdot 0.109 = 0.313$ podemos a su vez asegurar que el coeficiente es significativo ($p < 0.001$). Este proceso de razonamiento es válido tanto para muestras pequeñas como para muestras grandes. En esta última situación podemos comprobar en la tabla de la t de student que para una seguridad del 95% el valor es 1.96 y para una seguridad del 99% el valor es 2.58.

8.7.2 Intervalo de confianza del coeficiente de correlación. La distribución del coeficiente de correlación de Pearson no es normal pero no se puede transformar r para conseguir un valor z que sigue una distribución normal (transformación de Fisher) y calcular a partir del valor z el intervalo de confianza.

La transformación es:

$$z = 1/2 L_n \frac{1+r}{1-r}$$

L_n representa el logaritmo neperiano en la base e

$$\text{El error standard de } z \text{ es } = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$$

donde n representa el tamaño muestral. El 95% intervalo de confianza de z se calcula de la siguiente forma:

$$z_1 (\text{limite inferior}) = z - 1.96 / \sqrt{n-3}$$

$$z_2 (\text{limite superior}) = z + 1.96 / \sqrt{n-3}$$

Tras calcular los intervalos de confianza con el valor z debemos volver a realizar el proceso inverso para calcular los intervalos del coeficiente r.

$$\frac{e^{2z_1} - 1}{e^{2z_1} + 1} \quad \alpha \quad \frac{e^{2z_2} - 1}{e^{2z_2} + 1}$$

8.8 ANÁLISIS DE REGRESION

En un Análisis de Regresión simple existe una variable respuesta o dependiente (y) que puede ser el número de especies, la abundancia o la presencia-ausencia de una sola especie y una variable explicativa o independiente (x). El propósito es obtener una función sencilla de la variable explicativa, que sea capaz de describir lo más ajustadamente posible la variación de la variable dependiente. Como los valores observados de la variable dependiente difieren generalmente de los que predice la función, ésta posee un error. La función más eficaz es aquella que describe la variable dependiente con el menor error posible o, dicho en otras palabras, con la menor diferencia entre los valores observados y predichos. La diferencia entre los valores observados y predichos (el error de la función) se denomina variación residual o residuos. Para estimar los parámetros de la función se utiliza el ajuste por mínimos cuadrados. Es decir, se trata de encontrar la función en la cual la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y esperados sea menor. Sin embargo, con este tipo de estrategia es necesario que los residuos o errores estén distribuidos normalmente y que varíen de modo similar a lo largo de todo el rango de valores de la variable dependiente. Estas suposiciones pueden comprobarse examinando la distribución de los residuos y su relación con la variable dependiente.

Cuando la variable dependiente es cuantitativa (por ejemplo, el número de especies) y la relación entre ambas variables sigue una línea recta, la función es del tipo $y = c + bx$, en donde c es el intercepto o valor del punto de corte de la línea de regresión con el eje de la variable dependiente (una medida del número de especies existente cuando la variable ambiental tiene su mínimo valor) y b es la pendiente o coeficiente de regresión (la tasa de incremento del número de especies con cada unidad de la variable ambiental considerada). Si la relación no es lineal pueden transformarse los valores de una o ambas variables para intentar linearizarla. Si no es posible convertir la relación en lineal, puede comprobarse el grado de ajuste de una función polinomial más compleja. La función polinomial más sencilla es la cuadrática ($y = c + bx + bx^2$) que describe una parábola, pero puede usarse una función cúbica u otra de un orden aun mayor capaz de conseguir un ajuste casi perfecto a los datos. Cuando la variable dependiente se expresa en datos cualitativos (presencia-ausencia de una especie) es aconsejable utilizar las regresiones logísticas ($y = \frac{\exp(c + bx)}{1 + \exp(c + bx)}$). De conformidad a lo anterior se analizarán los datos en dos grupos el primero que equivale a las variables pH, Humedad, Carbono Orgánico Total y Nitrógeno, por tener valores en todos los días de muestreo que equivalen a los siguientes:

Tabla 43. Valores de muestreo para las variables Ph, Humedad, Cot, N

ANALISIS	Sep-20	Sep-23	Sep-26	Sep-30	Oct-03	Oct-07	Oct-11	Oct-14
pH	6,3	6,5	6,6	6,4	6,5	6,4	6,7	6,6
Humedad	62,1	58,9	57,4	48,5	47,3	44,2	46,3	41,2
COT	43,2	49,5	47,2	44,8	40,4	39,5	39,5	41,5
N	1,1	1,12	0,96	1,4	1,6	1,3	1,8	1,9

ANALISIS	Oct-18	Oct-21	Oct-25	Oct-29	Nov-01	Nov-08	Nov-11
pH	6,5	6,9	6,7	6,7	7,2	7	6,9
Humedad	38,7	38,4	36,8	32,2	22,4	21,8	20,4
COT	42,3	42,3	43,5	39,5	41,3	40,5	38,8
N	1,6	2,3	2,1	2,2	2,6	2,5	2,8

Fuente: Laboratorio Proanálisis.

Con los datos anteriores se procederá a realizarle un análisis de correlación de Pearson para obtener cuáles son las variables que pueden tener relación entre sí y poder analizarlas:

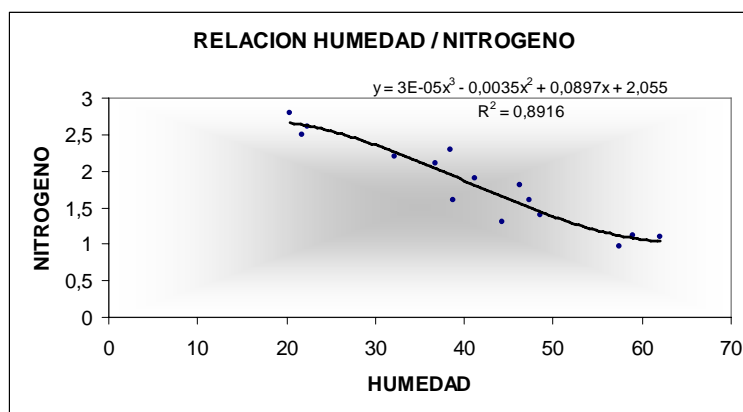
Tabla 44. Coeficientes de correlación para Ph, Humedad, Cot, Nitrógeno

	pH	Humedad	C.O.T	N
Ph	1			
Humedad	-0,81155503	1		
C.O.T	-0,33054099	0,63886289	1	
N	0,86043234	-0,94099978	-0,61491822	1

Fuente: Los Autores.

Una vez realizado el procedimiento de correlación por intermedio de Excel se obtienen los datos consignados en la tabla 6 donde se observa que existe una relación aceptable entre las variables de Humedad – Nitrógeno, para dichas relaciones se procederá a establecer los análisis de regresión y así poder conocer su comportamiento durante el proceso de compostación.

Figura 108. Relación entre humedad y nitrógeno



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,8916, siendo válido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Nitrógeno con respecto al porcentaje de humedad es la siguiente:

$$\% \text{ Nitrógeno} = 3 \times 10^5 \text{ Humedad}^3 - 0,0035 \text{ humedad}^2 + 0,0897 \text{ humedad} + 2,055$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 61 se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el porcentaje de Humedad de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de Nitrógeno en esa etapa del proceso.
- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, tomando el valor de la Humedad presente en el producto terminado.

Por otro parte se debe analizar los coeficientes de correlación de las demás variables de conformidad a las muestras realizadas, teniendo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 45. Valores de muestreo para las demás variables analizadas

VARIABLES	UNIDADES	Oct-11	Oct-14	Oct-18	Nov-01	Nov-08	Nov-11
Ph	UNIDAD	6,7	6,6	6,5	7,2	7	6,9
Humedad	%	46,3	41,2	38,7	22,4	21,8	20,4
COT	%	39,5	41,5	42,3	41,3	40,5	38,8
N	%	1,8	1,9	1,6	2,6	2,5	2,8
P	%	0,85	0,78	0,87	0,98	1,2	1,3
Fe	%	0,33	0,31	0,29	0,41	0,38	0,32
Zn	mg/Kg	0,07	0,06	0,04	0,11	0,08	0,03
Mn	mg/Kg	96,3	98,2	95,3	96,3	102,5	96,4
Cu	mg/Kg	1,9	2,2	1,9	2,3	1,8	2,1
C.I.I	UNIDAD	34,2	36,9	30,5	39,2	41,3	29,3
K	%	0,85	0,7	0,62	0,62	0,74	0,57
Ca	%	5,8	5,7	5,9	6,3	6,2	5,3
Mg	%	2,3	2	1,9	2,5	2,1	2,4

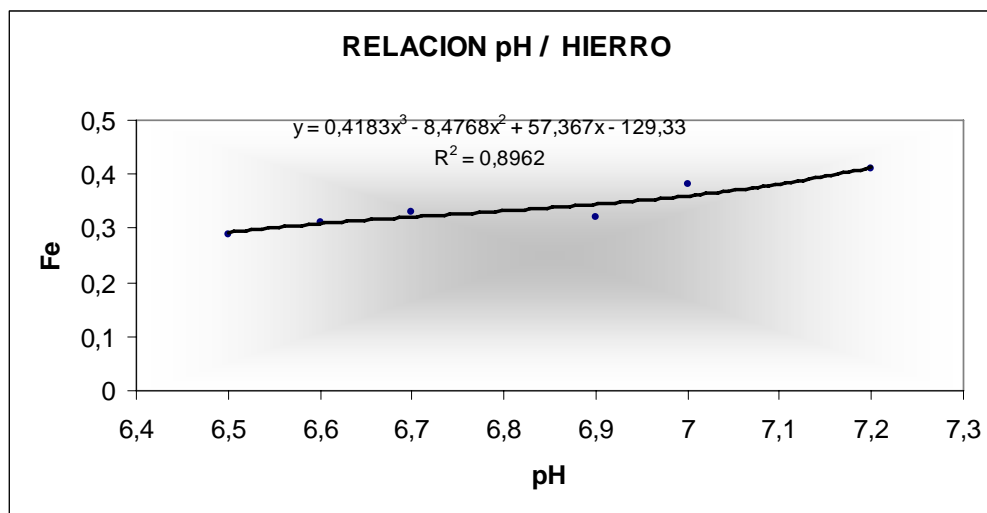
Fuente: Laboratorio PSL proanálisis.

Con los datos anteriores se procederá a realizarle un análisis de correlación de Pearson para obtener cuáles son las variables que pueden tener relación entre sí y poder analizarlas:

Tabla 46. Coeficientes de correlación para las variables analizadas barichara

	Ph	Humed	COT	N	P	Fe	Zn	Mn	Cu	C.l.l	K	Ca	Mg
pH	1												
	-												
Humedad	0,8084	1											
	-												
COT	0,2912	0,2532	1										
N	0,8590	-0,9258	-0,5176	1									
P	0,5817	-0,8615	-0,6026	0,8452	1								
Fe	0,9304	-0,6094	-0,0667	0,6303	0,3191	1							
Zn	0,6707	-0,1933	0,2139	0,2249	-0,1595	0,8829	1						
Mn	0,3032	-0,3450	-0,0667	0,3009	0,3671	0,3995	0,2778	1					
								-					
Cu	0,3340	-0,1959	0,1238	0,3294	-0,1526	0,2453	0,2824	0,3838	1				
C.l.l	0,5390	-0,2263	0,2371	0,2205	-0,0486	0,7678	0,8462	0,7171	0,0625	1			
									-				
K	0,1954	0,5873	-0,1818	-0,4362	-0,3923	0,0472	0,2923	0,3247	0,4848	0,3775	1		
									-				
Ca	0,4472	-0,1560	0,5347	-0,0112	-0,1845	0,7158	0,8450	0,3501	0,0657	0,7806	0,2149	1	
									-				
Mg	0,7685	-0,4838	-0,6045	0,7015	0,4127	0,6115	0,4107	0,2190	0,4728	0,0673	-0,124	-4E-16	1

Figura 109. Relación entre pH y hierro Barichara



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,8962, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Hierro con respecto a las unidades de pH es la siguiente:

$$\% \text{ Hierro} = 0,4183 \text{ pH}^3 - 8,4768 \text{ pH}^2 + 57,367 \text{ pH} - 129,33$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 18 se puede establecer el porcentaje de Hierro del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el valor del pH de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de Hierro en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Hierro presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, a partir del valor del pH presente en el producto final.

9. MUNICIPIO DE CHARALA

9.1 DESCRIPCIÓN MUNICIPIO

Visión del Municipio. “La visión de Charalá es realidad agroforestal, eco turística y ambiental de Santander con potencial ecológico para la investigación, puerta subregional de servicios”.

El municipio de Charalá deberá ser pionero en Santander en la recuperación, conservación y protección ambiental mediante el beneficio de su vocación forestal y consolidación de su potencial turístico dado que tiene potencialidades que lo hacen fuerte ante los demás municipios como la cordialidad de su gente y su hospitalidad, su localización geográfica Interdepartamental y subregional.

Localización: El municipio de Charalá se encuentra localizado al sur del departamento de Santander, su localización geográfica con respecto al meridiano de Greenwich es de $6^{\circ} 17' 24''$ de latitud norte y $73^{\circ} 09' 03''$ de longitud oeste Limita al norte con los municipios de Páramo, Ocamonte y Mogotes; al Oriente con Coromoro y Encino, al Sur con Duitama (Boyacá) y Gámbita; y al Occidente con Suaita, Oiba y Confines.

Figura 110. Localización Municipio de Charalá



Sus coordenadas planas son:
X= 1'103.300 a X= 1'118.400
Y= 1'160.400 a Y= 1'196.800

Población: Según las estadísticas la población decrece en 196 habitantes por año, actualmente cuenta con 5672 habitantes en el área urbana y 6021 en el área rural

Temperatura: La temperatura media anual del municipio es de 21.3 °C. El mes más caliente del año es febrero, alcanzando valores de 21.7°C y los meses más fríos son julio, septiembre y octubre 21, 21.1 y 21.2°C, respectivamente; se registra por lo tanto una variación estacional pequeña de 0.7°C

Precipitación: La estación más cercana a la cabecera municipal es Charalá y tiene una precipitación media anual de 2643 mm. La zona esta caracterizada por ser un sector de alta pluviosidad al nivel multianual. Se puede considerar como un sector privilegiado por la pluviosidad que se presenta en su territorio.

Los meses de mayor precipitación se presentan de marzo a mayo y de septiembre a noviembre con cantidades que varían entre 276.6 y 355.3 mm. Las épocas de menores lluvias van de diciembre a enero (135.3 y 173.9 mm) y el mes de julio (176.4 mm). Son meses de transición entre temporadas secas y húmedas febrero, junio y agosto.

Humedad Relativa: El comportamiento de la humedad relativa tiene una relación inversa con la temperatura debido a que al incrementarse esta última aumenta la capacidad atmosférica para retener vapor de agua y si esta no recibe aportes adicionales de vapor, la humedad relativa disminuye.

Así, durante los períodos de menor precipitación, donde se registran las mayores temperaturas, la humedad, relativa es baja sin embargo en el mes de septiembre la relación se invierte, es decir aunque la precipitación es alta la humedad relativa es baja con relación al promedio. Entonces generalmente sucede que los mayores valores de humedad se presentan en los meses de invierno: Abril a mayo y de octubre a noviembre, registrando las cantidades más altas cercanas al 83% y las mas bajas de diciembre a febrero y de julio a agosto con 79.6%. Los registros mensuales mínimos medios han alcanzado 68.0%y los máximos 93.0%. El promedio anual es de 81% y tiene una pequeña oscilación estacional que no excede al 3.5%.

Hidrografía; El municipio de Charalá cuenta con 24 microcuencas y se encuentra delimitado por los ríos Ture y Táquiza al nororiente, el río Oibita al occidente, en la parte central el río Fonce, al sur el río Guillermo y al sur oriente el río la Rusia (que limita con el municipio de Encino y parte del área protegida del Santuario). Los cuerpos de agua existentes en el municipio pertenecen todos a la cuenca del río Suárez y son recolectados por las subcuencas de los ríos Fonce y Oibita

Área: El área total de 414.6 Km² de los cuales 0.7 Km² corresponde al casco urbano.

En el casco urbano se presentan áreas que presentan un alto contraste, mientras que barrios como Oscar Martínez, Villa María y Fundadores presentan los índices más altos y totalmente consolidados, mientras que la Molienda se encuentra muy poco consolidada. Barrios como Bolívar y Helena Santos que son los más antiguos, presentan índices de ocupación bajos, con muchas zonas verdes internas y lotes, pero con altos índices de hacinamiento. El barrio Centro, se encuentra totalmente consolidado con bajo índice de ocupación y algunos lotes para renovación. Los barrios Comuneros y José Antonio Galán, presentan un índice de ocupación medio y alta consolidación.

El área urbana no cuenta con calzadas apropiadas para el tráfico vehicular y el tránsito peatonal, debido a que los perfiles viales han sufrido alteraciones e intervenciones sin la debida planificación y la estructura española heredada con que fue diseñado el pueblo, lo cual ha venido generando la preponderancia de los vehículos sobre el peatón; tampoco ha existido una política al nivel de la oficina de Planeación, ni una reglamentación urbana que considere los parámetros adecuados para cumplir con el decreto 1504 y con las necesidades mínimas de espacio público. Todo lo anterior, va generando una saturación en las vías y aumentando la exposición de los peatones a los riesgos vehiculares. Una clara evidencia se manifiesta en la poca utilización de los andenes y en los recurrentes accidentes entre vehículos o donde se encuentran comprometidos peatones.

SERVICIO PÚBLICO DE ASEO: En el casco urbano la recolección de basuras se hace a través de una volqueta, que recoge aproximadamente 120 toneladas mensuales de basura que tienen algún grado de separación en la fuente; Lo que no permite tener un porcentaje adecuado de separación en la fuente llevando consigo problemas en la planta de bioorgánicos que se encuentra en proceso de transferencia de tecnología al municipio.

El servicio de recolección se realiza los días lunes – miércoles - jueves, en los cuales igualmente corresponde a materia orgánica – reciclables, desechables y muertos – materia orgánica, los cuales tienen un peso de 7 Ton / semana. Este servicio es administrado por la alcaldía municipal, pero la planta de personal lo administra COOTAPHA⁹.

De acuerdo al Decreto - ley 2811 de 1974 y a la ley 99 de 1993, cada administración municipal debe buscar una solución integral al problema generado por sus residuos. Con la ley 142/94 los servicios públicos pueden ser atendidos por particulares, oxigenando así la gerencia municipal. Así pues en Charalá existe la Planta de Bioorgánicos que se encuentra localizada hacia el occidente del municipio sobre la vía que del Casco urbano conduce a Confines en la vereda Grima a unos 3.5 km de distancia por vía destapada.

Manejo de orgánicos:

Tabla 47. Caracterización física de los residuos sólidos Charalá.

TIPO DE MATERIAL	% EN PESO	RESIDUOS SÓLIDOS PRODUCIDOS POR COMPONENTE TON/MES
• Orgánicos fácilmente biodegradables		
- Residuos de alimentos	67,73	72,42
- Podas y corte prado	0,79	0,84
- Otros	0	0,0
• Subtotal (RSO)	68,52	73,26
• Inorgánicos		
- Papel y cartón	1,41	1,51
- Vidrio	0,62	0,66
- Plástico	1,08	1,15
- Metales	0,39	0,42
- Otros aprovechables	0,0	0,0
• Subtotal (RSI)	3,5	3,74
• No aprovechables	27,97	29,91
• TOTAL	99,99	106,91
Esperado	100	106,92

Fuente: PGIRS Charala.

Tabla 48. Producción total de residuos sólidos generados en el municipio Charalá.

Tipo de edificación	No. de edificaciones	Producción kg-usuarios-mes	Residuos sólidos producidos ton/mes
Residencial	1665	41,25	68,68
Comercial	40	462,32	18,49
Industrial	0	0,0	0,0
Institucional	35	81,86	2,87
Especial	1	16.876,14	16,88
TOTAL	1741	17.461,57	106,92

Fuente: PGIRS Charala.

$$\#personas/vivienda=5.847/1741 = 3.36 \sim 4$$

Con los datos anteriores y conociendo la cantidad de usuarios y de habitantes en el municipio se establece la PPC para el municipio de Charalá por kilogramo – habitante – día, para el total de los residuos.

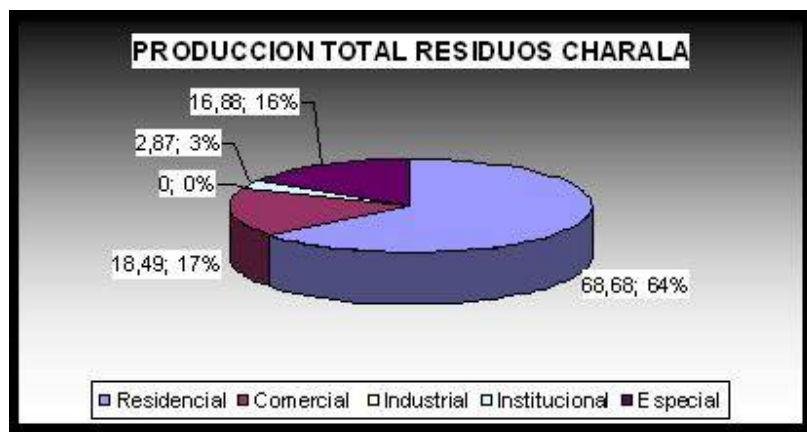
9.2 CALCULO DE LA PPC kg/hab-día

$$\text{PPC} = \frac{\text{Residuos sólidos producidos} \times 1000}{\text{Población urbana actual} \times 30}$$

$$\frac{106,92 \times 1000}{5\,847 \times 30} \text{ PPC} = \frac{106\,920}{175\,410}$$

PPC = 0.609 kg/hab-día

Figura 112. Producción total residuos Charalá



9.3 PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE CHARALA

Se realizó una visita al Municipio de Charalá el 8 de abril, donde se realizó un diagnóstico del municipio y se conoció el proceso implementado para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el municipio.

El municipio de Charalá se encuentra localizado al sur del departamento de Santander. Su localización geográfica con respecto al meridiano de Greenwich es de 6° 17' 24" de latitud norte y 73° 09' 03" de longitud oeste con un área total de 414.6 Km² de los cuales 0.7 Km² corresponde al casco urbano. Limita al norte con los municipios de Páramo, Ocamonte y Mogotes; al Oriente con Coromoro y Encino, al Sur con Duitama (Boyacá) y Gámbita; y al Occidente con Suaita, Oiba y Confines.

La recolección de los residuos se realiza de la siguiente forma:

- Residuos orgánicos: lunes y jueves en horas de la mañana

- Residuos reciclables: miércoles
- Residuos inorgánicos: viernes

Los residuos orgánicos, son seleccionados en la fuente en un 70%. Luego de su recolección, son transportados a la planta de compostaje y depositados en la rampa (capacidad para 10 ton) de la tolva (ver foto 35), donde los operarios despojan la materia orgánica de la bolsa plástica; luego ésta es llevada manualmente hasta la tolva.

Figura 113. Rampa y Tolva



De allí pasan a la banda transportadora (Ver figura 114), donde un operario de forma manual realiza una preselección para evitar el paso de material plástico y demás residuos ajenos al proceso, la banda es plana y no cuenta con pestañas laterales para evitar la salida o derrame de residuos orgánicos por los laterales, su pendiente es mayor al 45%, siendo incomodo para le selección adecuada de los residuos inertes que llegan a la planta y su velocidad es alto no permitiendo tener un control sobre dicha velocidad.

Figura 114. Banda Transportadora



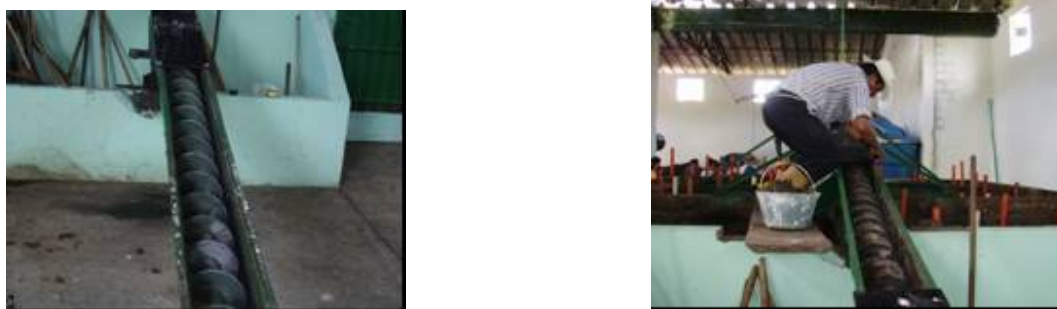
Los residuos sólidos previamente seleccionados son movidos por medio de la banda (movida por un motor de 2 HP), hasta el triturador, este reduce el material a un tamaño de partícula adecuado para agilizar el proceso de compostación entre 2 y 3 mm, es un triturador vertical que contiene martillos y cuchillas el cual fue necesario soportarlo sobre una base en concreto para evitar las vibraciones que se generaban durante la trituración de residuos; en la parte de la tolva cuenta con un tornillo sin fin (Ver figura 115), para asegurar el correcto ingreso de los residuos orgánicos al triturador, (trabaja con un motor de 20 HP).

Figura 115. Triturador vertical



Luego los residuos sólidos ya triturados pasan al tornillo sin fin que sirve para transportar el material picado a las celdas de producción pero es necesario tenerle control a la velocidad para lograr que no se apelmacé el producto ni se riegue durante el proceso, o de lo contrario es necesario ocupar un operario para la limpieza del tornillo como se observa en la foto.. (Ver figura 116) (movido por un motor de 3 HP),este tornillo va sobre un soporte metálico que soporta el material y tiene unas ventanas sobre cada una de las celdas de producción las cuales se abren o cierran de acuerdo a la celda que se tenga que llenar, estas celdas se van llenando y a su vez se les incorporan los tubos de aireación durante su conformación.

Figura 116. Tornillo sin fin transporte a celdas de producción



El tiempo de duración en las celdas es de 8 a 10 días; para su oxigenación le inyectan aire a T° ambiente por medio de un ventilador y usando tubería de PVC de 2", puesto que en cada celda existe un falso fondo creado por la presencia en suelo de la celda de una malla que permite percolar los lixiviados generados en la maduración del producto y poder inyectar el aire a través de la celda por un tubería en espina de pescado que va en el fondo de la celda; se observaron seis celdas de producción, pero la intención del municipio es volver regional la planta por lo tanto es necesario ampliar las celdas de producción ya que la maquinaria es suficiente para aumentar la producción; durante la conformación de las celdas se van insertando tubos de aireación de 2" para mejorar la entrada de aire a las partes intermedias de las celdas (Ver figura 117).

Figura 117. Tubos PVC para aireación



Una vez se encuentra en las cavas el material triturado, le agregan caldo microbiano por dosificación preparado por ellos mismos, para lo cual cuentan con el laboratorio en las instalaciones de la planta, asesorados por la Dra Graciela Chalela a través del laboratorio de UNAB. El cultivo se realiza en el laboratorio y es reproducido en dos tanques plásticos con capacidad de 1000 litros oxigenado todo el tiempo (Ver figura 118).

Figura 118. Tanques almacenamiento y producción M.O



Los microorganismos que se reproducen en el laboratorio son llevados a dos tanques de almacenamiento de 1000 litros y son oxigenados por medio de un compresor durante las 24 horas del día garantizando que los microorganismos cuenten con el oxígeno suficiente para su reproducción.

Una vez terminada su reproducción son adicionados a las celdas de compostación por medio de una manguera n dos veces por día aproximadamente durante un tiempo de 5 minutos, por medio de un operador en iguales proporciones a cada una de las celdas de compostación, como se muestra en la figura 119.

Figura 119. Caldos microbianos y forma de regarlos sobre las celdas.



En el fondo de las celdas se encuentran unas rejillas en forma de “v”, cuya función es permitir la inyección del aire, el cual es inyectado por medio de un ventilador de tiro forzado. Así mismo, en el centro de cada celda se presenta un desnivel donde se encuentra un tubo encargado de recolectar los lixiviados para transportarlos y depositarlos en un tanque. El producto comportado es retirado de las celdas en forma manual por medio de carretillas y es llevado a una zona de maduración, en donde se deposita en pilas piramidales de aproximadamente 5 metros de largas (no se le realiza volteo), donde continua el proceso de compostación en estas pilas únicamente se le toma temperatura y permanecen allí aproximadamente durante 5 días (Ver figura 120).

Figura 120. Zona de maduración y toma de temperatura



Una vez se ha madurado el producto se pasa a las zonas de secado, (Ver figura 120) donde el producto ya empieza a perder humedad por volteos que se le realizan constantemente hasta obtener una humedad adecuada para poder pasarlas a la zona de tamizado; se observo que en estas zonas de secado aun el producto tiene alta temperatura indicándonos que el proceso de compostaje no ha terminado.

Figura 121. Zonas de secado producto final.



Terminado el proceso de secado, el material triturado es pasado por la zaranda, con el fin de realizar la separación del material triturado en diferentes tamaños, así mismo el material plástico que se ha filtrado en el proceso, (Ver figura 122), La zaranda tiene dos compartimientos o bandejas de forma horizontal con un desnivel de que permite el desplazamiento de las partículas; la primera bandeja contiene la malla y un orificio en la parte final por donde se evacua el material que no es cribado y a la segunda bandeja cae el material tamizado. El operador agrega manualmente la materia triturada sobre la malla, se coloca a funcionar la zaranda y esta inicia a vibrar lo que permite que se lleve a cabo el proceso antes descrito. El material tamizado que pasa a la segunda bandeja es evacuado en recipientes que tienen marcado el peso del contenido de los bultos donde se empaqua para luego ser comercializado.

Figura 122. Equipo de Tamizado.



El producto terminado es empacado en costales, depositado en la bodega listo para su comercialización como mejorador de suelos (Ver figura 123). El tiempo empleado en el proceso para la elaboración del compost es de 20 a 25 días.

Figura 123. Empaque producto final



El material triturado que sobra luego de ser cribado, es de nuevo repasado por el proceso. Aunque éste es apetecido por los campesinos para utilizarlo como abono para los pastos, en los galpones; no está siendo vendido debido a los residuos de plástico que presenta, lo cual genera contaminación.

Por otra parte la Administración municipal en Convenio con la CAS dotaran a los usuarios de recipientes de los cuales ya compraron 640 unidades y están esperando adquirir los restantes para hacerle entrega (Ver figura 124).

Figura 124. Recipientes para la selección de orgánicos en la fuente



Lo que se busca al entregar los recipientes es controlar en el momento de la recolección la calidad de la clasificación de los desechos orgánicos

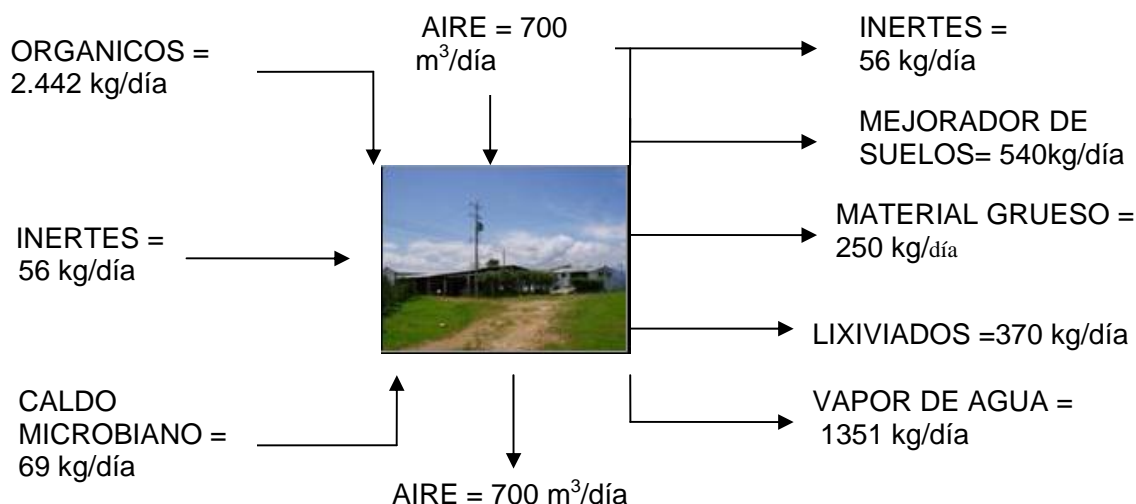
Para el control biológico, dependiendo de la cantidad de moscas que presenten, fumigan día por medio, cada tres o cada 15 días con creolina y una vez al mes con cipermetrina al 15% (cipermetrina disuelta con creolina).

Una vez conocido el diagnóstico de la forma como se aprovechan los residuos orgánicos en la planta de compostaje, se procedió a obtener la información necesaria de la unidad de servicios públicos domiciliarios, (encargada del manejo de la planta de compostaje), en cuanto a la cantidad de: residuos procesados, energía consumida, insumos utilizados en el proceso, el costo de personal e insumos, la cantidad de producto comercializado, el valor del producto vendido, etc., y de esta manera realizar los balances de materia, energía, económico, con el fin de poder establecer si hay viabilidad en el proceso productivo tanto económicamente como de funcionamiento.

9.4 BALANCE GENERAL DE MATERIA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE CHARALA

Los usuarios del municipio de Charalá que cuentan con servicio de aseo son 1 741, de los cuales 1 665 son residenciales, que generan = 72,42 ton/mes = 2 414 kg/día (valor obtenido de la caracterización autores PGIRS) procesados los días lunes y jueves.

Figura 125. Balance general de materia Charalá



Del balance de materia se obtiene que la planta de compostaje de Charala procesa 2442 kilogramos por día de materia orgánica previamente seleccionada en la fuente con 56

kilogramos por día de material inerte y en promedio se están agregando 69 kilogramos por día de caldos microbianos para acelerar el proceso de compostaje y lograr reducir los tiempos de producción del mejorador de suelo.

Se oxigenan las celdas de producción con 700 metros cúbicos por día de aire forzado por medio de un ventilador de tiro forzado y asegurar un proceso aeróbico de descomposición de tal forma que se minimicen los olores generados por la descomposición.

Los residuos inertes que ingresan, se retiran durante todo el proceso de producción y salen en la misma cantidad como residuos inertes y son dispuestos en el relleno sanitario.

Se producen 540 kilogramos por día de mejorador de suelos; de igual manera se están generando 250 kilogramos por día de material grueso el cual se dispone en las pilas de maduración para que continúe su descomposición.

Durante el procesamiento de los residuos orgánicos se generan 370 kilogramos por día de lixiviados que son líquidos generados por lixiviación de las celdas de compostación.

Por último se generan 1351 kilogramos por día de vapor de agua durante todo el proceso de compostación ya que en todo momento se está evaporando agua, ya que los residuos orgánicos presentan un 52% de agua en su estructura que van a la atmósfera.

Se utilizan 700 metros cúbicos de aire por día para el proceso de aireación de las celdas y así poder mantener en buena condición aerobia a los microorganismos encargados de acelerar la descomposición de los residuos.

Se observa que la cantidad de residuos inertes generados es pequeña equivaliendo a una correcta selección en la fuente por parte de los usuarios y su finalidad es poder no generar ningún tipo de estos residuos en el proceso.

9.5 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE CHARALA

Se presentan a continuación un análisis económico de conformidad a los datos suministrados por la unidad de Servicios Públicos entidad encargada de la operación y funcionamiento de la planta de compostaje por lo cual se presenta el estado de resultados y el balance de causación de la planta para el año 2005.

Tabla 49. Estado de resultados de la planta de compostaje de Charalá

DICIEMBRE 31 DE 2005
(Cifras en miles de pesos)

Cuentas		
INGRESOS		84,018
INGRESOS PLANTA	84,018	
Ingresos venta Mejorador de suelos	4,000	
Ingresos por Tarifas	37,542	
Subsidio de la Alcaldía	42,476	
GASTOS		84,018
GASTOS DE FUNCIONAMIENTO	39,600	
Personal operación planta compostaje	39,600	
GASTOS OPERACIONALES	44,418	
Insumos	10,118	
Mantenimiento	15,100	
Energía Eléctrica	19,200	
UTILIDAD DEL EJERCICIO		-

Fuente: Unidad de Servicios Públicos

El estado de resultados (estado de pérdidas y ganancias) se establece para el año 2005 y presenta ingresos por venta del mejorador por valor de \$4.000.000 siendo bajo para la capacidad de producción que posee la planta; lo que se indicó es que se están comercializando el 15% de lo producido, por que la Administración Municipal le aporta a los productores orgánicos del municipio el abono para mejoramiento de sus cultivos e igualmente apoya proyectos productivos agropecuarios, con aportes de abono o mejorador de suelos.

Un ingreso derivado de las tarifas por disposición final de residuos sólidos, correspondiente a los residuos orgánicos.

Se hace necesario el subsidio o apoyo por parte de la administración para lograr el equilibrio económico de la planta.

Presenta unos Gastos de funcionamiento por nómina para el personal y asegurar la operación de la planta y su correcto funcionamiento, pero se consideran altos para los volúmenes de producción.

En los gastos operacionales se presentan por insumos necesarios para el correcto funcionamiento de la planta como es los insumos de los caldos microbianos, los de seguridad industrial y del proceso.

Otros gastos en mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento de la maquinaria pues es una operación que no puede parar mas de tres días, es de anotar que fue necesario remplazar los tornillos sin fin que transportan el material por desgaste y oxidación de los soportes.

Finalmente gastos asociados al consumo de energía que vienen representados por los consumos de energía eléctrica para el funcionamiento de los motores de la banda transportadora, la picadora, los tornillos sin fin, el ventilador y la zaranda de selección final del producto.

No se obtiene utilidad, por no estar comercializando la totalidad de la producción en cambio la Alcaldía tiene que subsidiar con recursos de transferencia de la nación la suma de \$42.476.000 para asegurar el equilibrio económico de la planta.

Tabla 50. Balance general de la planta de compostaje Charalá

DICIEMBRE 31 DE 2005 (Cifras en miles de pesos)

ACTIVO		PASIVO	
CORRIENTE	550	CORRIENTE	0
EFFECTIVO	350	Operaciones de Credito	0
Caja	350	Obligaciones Financieras	0
Rentas por Cobrar	0	Cuentas por pagar	0
DEUDORES	0	Obligaciones laborales	0
Cuentas por cobrar	0	Pasivos estimados	0
INVENTARIOS	200		
Materiales prestación del servicio	200	NO CORRIENTE	0
		Cuentas por pagar	0
NO CORRIENTE	453,900	Obligaciones laborales	0
PROPIEDAD PLANTA Y EQUIPO	453,900	TOTAL PASIVO	0
Terreno	100,000		
Maquinaria y Equipo	350,000	PATRIMONIO	454,450
Depreciación Acumulada	3,900	CAPITAL SOCIAL	454,450
		UTILIDAD DEL EJERCICIO	0
TOTAL ACTIVO	454,450	TOTAL PATRIMONIO	454,450
		TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO	454,450

Fuente: Unidad de Servicios Públicos.

En el balance encontramos que se encontraban a 31 de diciembre del año 2005 \$350.000 en caja, en materiales para la prestación del servicio la suma de \$200.000, debido a que cuentan con más personal para la operación; el terreno avaluado en \$100.000.000 y la maquinaria y equipos existentes en \$350.000.000, una depreciación de \$3.900.000, para un total de activos de \$33.454.450.000.

En cuanto a los pasivos no se presentan por reconocer que la inversión la realizó la alcaldía y un patrimonio de \$454.450.000 representados en capital social ya que no presenta utilidad, indicando un equilibrio: Activo igual al Pasivo más el Patrimonio.

- Analizando la información anterior se observa que la planta de compostaje del municipio de Charala cuenta con una buena infraestructura, que los ingresos provenientes por la venta del mejorador de suelos son muy pocos debido a la no comercialización del producto, lo que indica que se hace necesario empezar a administrar mejor la venta del producto y así asegurar el ingreso de los recursos para garantizar la viabilidad económica de la planta.
- Por vía de las tarifas se está cubriendo para esta disposición final la suma de \$ 3.128.000 mensuales lo que en promedio para la disposición final de residuos orgánicos es alto, porque la tendencia debe ser que la planta se autofinancie sin la necesidad de tener en cuenta esa disposición final en el esquema tarifario.
- Por el otro lado posee unos gastos por pago a operadores por \$ 3.300.000, siendo altos para la producción que se obtiene ya que equivalen a 6 operadores para la planta de conformidad a información obtenida en campo y en el PGIRS.
- Los insumos equivalen a las dotaciones necesarias en la planta para la producción, el sustrato para la producción de los microorganismos y las herramientas necesarias para la operación.
- El mantenimiento equivale a lo realizado sobre la maquinaria, las instalaciones y la infraestructura propia de la planta de compostaje, la cual en el año 2005 fue necesario reemplazar los tornillos sin fin por presentar excesiva corrosión en los soportes que llevan el producto y los lixiviados.
- La energía equivale a lo cancelado a la empresa de energía de Santander mensualmente por el servicio, para la operación y buen funcionamiento de los equipos.

9.7 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE CHARALA

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras fueron tomadas por el personal de cada una de las plantas, para lo cual se tomó aproximadamente 1,5 kg. Para cada muestra, almacenando la misma en bolsas

apropiadas y debidamente etiquetadas para ser transportadas al laboratorio para su análisis correspondiente.

El monitoreo se llevo a cabo durante aproximadamente 4 semanas tiempo el cual dura el proceso de aprovechamiento, con el fin de realizar un seguimiento a los porcentajes y concentraciones de los diferentes parámetros incluidos en el estudio.

Para el análisis de las muestras, el laboratorio, usa los métodos listados a continuación:

Tabla 51. Métodos de análisis pruebas de laboratorio

PARAMETRO	METODO DE ANÁLISIS
PH	NORMA ICONTEC 684
TEXTURA	GRANULOMETRIA
HUMEDAD	NORMA ICONTEC 529
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	S.M.5310 – C Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
NITRÓGENO	S.M. 4500 NT.B Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
FÓSFORO	NORMA ICONTEC 233 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
HIERRO	S.M. 3500 Fe
ZINC	NORMA ICONTEC 954 Y/O S.M. 3500 – Zn
MANGANESO	S.M. 3500 – Mn
COBRE	NORMA ICONTEC 627 Y/O S.M. 3500 – Cu
CAPACIDAD INTERCAMBIO IONICO	NORMA ICONTEC 712 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
POTASIO	NORMA ICONTEC 202 Y/O METODOS ANALITICOS DE SUELOS. IGAC INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI
CALCIO	S.M. 3500 – Ca
MAGNESIO	NORMA ICONTEC 643

Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis.

Las pruebas de temperatura se realizaron directamente en la planta de compostaje y se realizaron sobre una misma celda cuyos datos se consignan en la tabla 52.

Tabla 52. Toma de temperatura en Landazuri

Fecha	Hora	Temperatura (°C)
9/20/2005	9:00	17
9/21/2005	9:00	18
9/22/2005	9:00	19
9/23/2005	9:00	20
9/24/2005	9:00	21
9/25/2005	9:00	25
9/26/2005	9:00	35
9/27/2005	9:00	45
9/28/2005	9:00	49
9/29/2005	9:00	55
9/30/2005	9:00	55
10/1/2005	9:00	54
10/2/2005	9:00	55
10/3/2005	9:00	56
10/4/2005	9:00	54
10/5/2005	9:00	48
10/6/2005	9:00	47
10/7/2005	9:00	47
10/8/2005	9:00	43
10/9/2005	9:00	43
10/10/2005	9:00	42
10/11/2005	9:00	42
10/12/2005	9:00	42
10/13/2005	9:00	40
10/14/2005	9:00	40
10/15/2005	9:00	38
10/16/2005	9:00	38
10/17/2005	9:00	36
10/18/2005	9:00	36
10/19/2005	9:00	33
10/20/2005	9:00	33
10/21/2005	9:00	33

10/22/2005	9:00	30
10/23/2005	9:00	30
10/24/2005	9:00	30
10/25/2005	9:00	27
10/26/2005	9:00	27
10/27/2005	9:00	27
10/28/2005	9:00	24
10/29/2005	9:00	25
10/30/2005	9:00	24
10/31/2005	9:00	23
11/1/2005	9:00	22
11/2/2005	9:00	19
11/3/2005	9:00	19
11/4/2005	9:00	17

Fuente: Los Autores.

Tabla 54. Análisis fisicoquímico de compost en Charalá

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 1-CHA-05

Fecha de emisión: Octubre 8 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del

Muestras tomadas por: EMSERPUNAL

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – CHARALA**

Fecha de muestreo: Septiembre 19, 21 y

Tipo de muestras: Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Septiembre

Fecha de análisis: Sep 24 –Oct 6 de

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST CHARALA SEPT. 19/05	COMPOST CHARALA SEPT. 21/05	COMPOST CHARALA SEPT. 23/05		
PH	5.9	6.3	6.4	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	56.8	58.2	54.4	%	25 – 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	39.6	40.8	42.4	%	40 – 60
NITRÓGENO	0.78	0.65	0.87	%	1 - 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 55. Análisis físicoquímico de compost en Charalá**INFORME DE LABORATORIO****Informe No.:** 2-CHA-05**Fecha de emisión:** Octubre 12 de 2005**Solicitante:** EMSERPUNAL**Dirección:** Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828**Protocolo de muestreo:** Protocolo del **Muestras tomadas por:** EMSERPUNALLugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – CHARALA****Fecha de muestreo:** Sep. 25, 28 y Oct. 3 **Tipo de muestras:** Muestra Compost.**Fecha / Hora de recepción:** Octubre 4 **Fecha de análisis:** Octubre 5 – 12 de 2005

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST CHARALA SEP.28/05	COMPOST CHARALA OCT.3/05	COMPOST CHARALA OCT.6/05		
PH	6.5	6.4	6.6	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	50.2	47.6	44.1	%	25 – 35
TEXTURA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	NO DEFINIDA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	41.2	41.3	40.9	%	40 – 60
NITRÓGENO	0.88	0.85	1.2	%	1 – 3
FÓSFORO	0.84	0.86	0.79	%	1.5 - 10.0
HIERRO	0.35	0.36	0.32	%	-
ZINC	0.06	0.08	0.07	mg/Kg	Mayor 10
MANGANESO	63.2	58.2	52.1	mg/Kg.	-
COBRE	1.2	1.3	1.4	mg/Kg	Mayor 0.2
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO	25.3	28.8	29.2	UNIDADES	15 -2 5
POTASIO	0.41	0.40	0.44	%	1.0 - 3.0
CALCIO	4.3	4.6	4.8	%	3 – 5
MAGNESIO	2.3	2.4	2.3	%	1 -2

Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 56. Análisis fisicoquímico de compost en Charalá

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 3-CHA-05

Fecha de emisión: Octubre 25 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo

Muestras tomadas por: EMSERPUNAL

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – CHARALA**

Fecha de muestreo: Octubre 10,12 y

Tipo de muestras: Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Octubre

Fecha de análisis: Octubre 15 – 25 de 2005

ANALISIS FISICOQUIMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST CHARALA OCT.10/05	COMPOST CHARALA OCT. 12/05	COMPOST CHARALA OCT.14/05		
PH	6.7	6.7	6.9	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	32.0	28.5	29.3	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	41.2	39.2	45.2	%	40 – 60
NITRÓGENO	1.4	1.6	1.8	%	1 – 3

Fuente: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 57. Análisis fisicoquímico de compost en Charalá

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 4-CHA-05

Fecha de emisión: Octubre 30 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del **Muestras tomadas por:** EMSERPUNAL

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – CHARALA**

Fecha de muestreo: Octubre 16, 18 y 21 **Tipo de muestras:** Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Octubre 22 **Fecha de análisis:** Octubre 22 – 30 de 2005

ANALISIS FISICOQUIMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST CHARALA OCT.16/05	COMPOST CHARALA OCT.18/05	COMPOST CHARALA OCT. 21/05		
PH	6.8	6.6	6.7	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	33.5	30.4	31.3	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	39.2	42.3	43.2	%	40 – 60
NITRÓGENO	1.8	1.9	2.1	%	1 – 3

FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Tabla 58. Análisis fisicoquímico de compost en Charalá

NFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 5-CHA-05

Fecha de emisión: Noviembre 18 de 2005

Solicitante: EMSERPUNAL

Dirección: Carrera 10 N° 13 - 78 San Gil. Tel: 7247828

Protocolo de muestreo: Protocolo del **Muestras tomadas por:** EMSERPUNAL

Lugar de muestreo: **PLANTA DE COMPOSTAJE – CHARALA**

Fecha de muestreo: Oct. 25, 30 y Nov. 5 **Tipo de muestras:** Muestra Compost.

Fecha / Hora de recepción: Nov. 6 de **Fecha de análisis:** Noviembre 6 – 18 de 2005

ANALISIS FISICOQUIMICO DE COMPOST

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST CHARALA OCT.25/05	COMPOST CHARALA OCT. 30/05	COMPOST CHARALA NOV.5/05		
PH	6.7	6.6	6.9	UNIDADES	4.0 -6.0
HUMEDAD	30.5	28.4	29.3	%	25 – 35
TEXTURA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	-	-
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	38.4	40.3	41.0	%	40 – 60
NITRÓGENO	2.2	2.1	2.2	%	1 – 3
FÓSFORO	1.1	1.6	1.5	%	1.5 - 10.0
HIERRO	0.41	0.31	0.38	%	-
ZINC	0.08	0.09	0.07	mg/Kg	Mayor 10
MANGANESO	67.1	60.2	59.2	mg/Kg	-

ANÁLISIS	RESULTADOS MUESTRA DE COMPOST			UNIDADES	INTERVALO DE VALORES NORMALES DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO
	COMPOST CHARALA OCT.25/05	COMPOST CHARALA OCT. 30/05	COMPOST CHARALA NOV.5/05		
COBRE	1.3	1.1	1.3	mg/Kg	Mayor 0.2
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO	24.6	26.7	28.1	UNIDADES	15 -2 5
POTASIO	0.42	0.44	0.44	%	1.0 - 3.0
CALCIO	4.8	5.2	5.1	%	3 – 5
MAGNESIO	2.6	2.5	2.4	%	1 -2

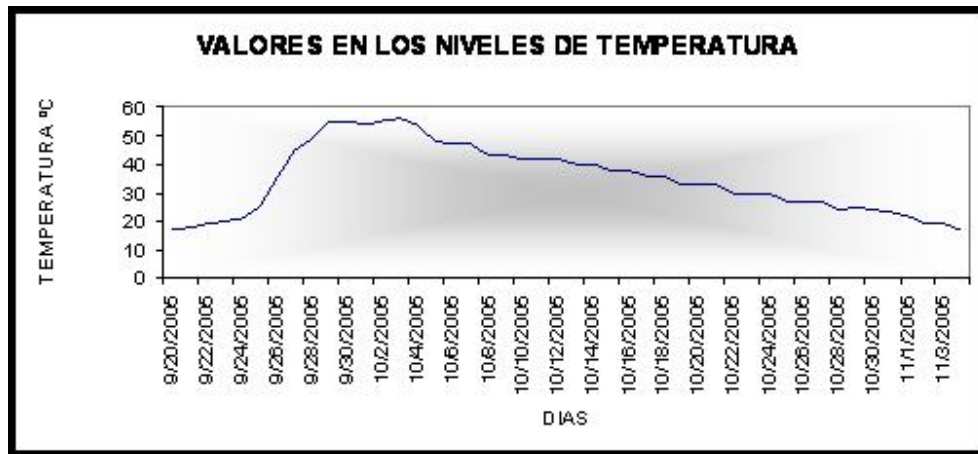
FUENTE: laboratorio PSL Proanálisis

Con los análisis fisicoquímicos del compost se procederá a realizarle una valoración, análisis e interpretación de forma estadística de cada una de las variables, su evolución o cambio a través del tiempo para obtener información sobre el proceso realizado y de la calidad del producto que se obtiene.

En primer lugar se analizará la evolución o cambio experimentado por cada una de las variables estudiadas y su comportamiento con relación al proceso, a los valores teóricos ideales y su importancia dentro del esquema productivo de la planta.

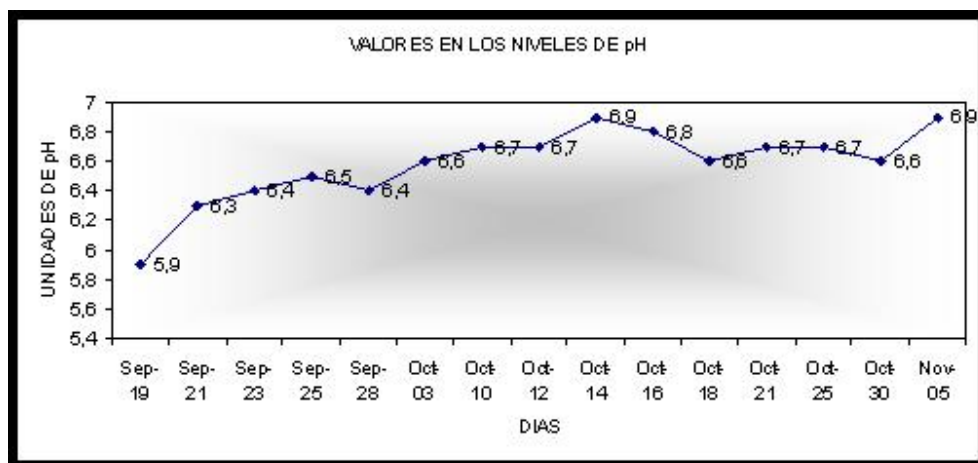
El monitoreo se llevo a cabo durante aproximadamente 4 a 5 semanas tiempo el cual dura el proceso de aprovechamiento, con el fin de realizar un seguimiento a los porcentajes y concentraciones de los diferentes parámetros incluidos en el estudio.

Figura 126. Valores en los niveles de temperatura en Charalá



- Se observa que se presenta una región mesofílica que aproximadamente va hasta 35°C y se presenta una región termofílica entre 50 y 55 °C para luego presentar un descenso lento en la temperatura indicando que el proceso se termina.
- La subida de temperatura se produce por una fermentación asociada a reacciones exotérmicas por parte de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos.
- Se presenta una rápida elevación de la temperatura asegurando llegar a la etapa termofílica más rápido, siendo esta etapa la mejor para descomponer residuos sólidos orgánicos por medio de celdas.
- La temperatura máxima alcanzada fue de 55°C.
- La toma de temperatura se realizó durante 45 días por que no se observaba un descenso en la temperatura considerable por tal motivo lo que indica fallas en el proceso de descomposición para lograr menores tiempos de producción.

Figura 127. Valores en los niveles de Ph Charalá

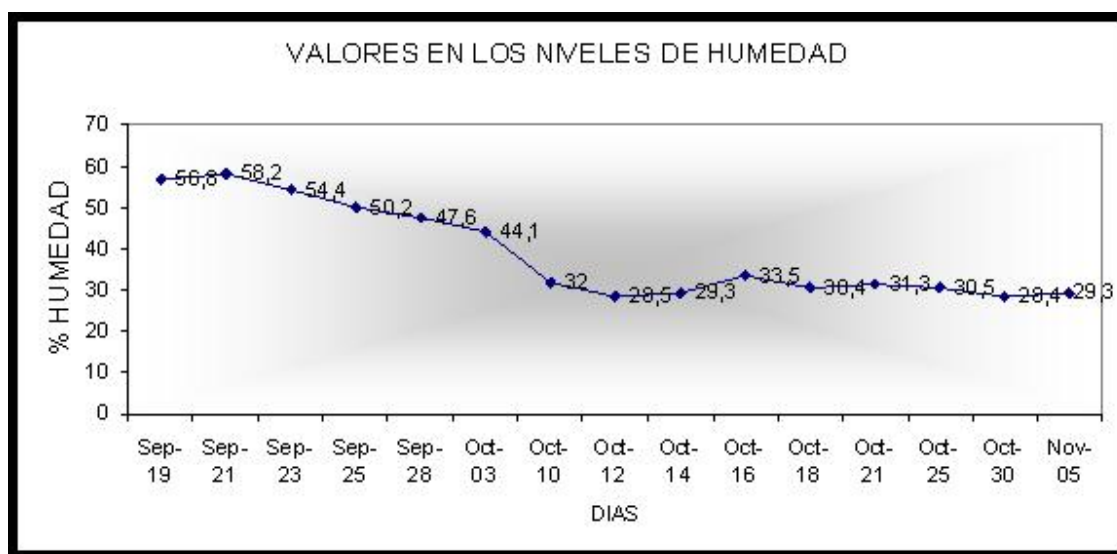


- Para lograr una descomposición aerobia óptima, el pH debería permanecer en el rango de 7 a 7.5, se observa que el valor mas próximo es 6,9.
- Para minimizar la pérdida de nitrógeno en la forma de gas amonio, el pH no debería sobrepasar un valor de 8,5, observándose que este fenómeno no se esta presentando durante todo el proceso de descomposición.
- Las condiciones ambientales de pH tienen un efecto sobre la supervivencia y el crecimiento de los microorganismos. La concentración de iones de hidrogeno, expresada como pH, no es un factor significativo en el crecimiento de microorganismos, en si mismo, dentro de la gama de 6 a 9.
- Generalmente el pH óptimo en el crecimiento bacteriano queda entre 6.5 y 7.5; sin embargo cuando el pH esta por encima de 9 o por debajo de 4.5 parece que las moléculas sin disociar de los ácidos débiles o bases pueden entrar en la célula más fácilmente que los iones de hidrogeno y oxidrilo y, alterando el pH interno, dañar la célula.
- El valor mínimo encontrado fue de 5,9 en la primera semana de la toma cuando el producto está fresco y se va incrementado a medida que se va degradando la materia orgánica lentamente hasta lograr un máximo en la cuarta semana de 6,9.
- El valor de pH inicial de los residuos sólidos orgánicos está normalmente entre 5 y 7, observándose que en Barichara se presentan valores alrededor de 6,3.
- El valor de pH varía según el perfil pH – tiempo que se muestra en el gráfico 65. En los primeros días de compostaje el pH cae a 5,9, en esta etapa la masa orgánica esta a temperatura ambiente, comienza la reproducción de organismos mesofílicos y empieza a subir rápidamente la temperatura. Entre los productos de esta etapa inicial de

aproximadamente 3 días, la temperatura llega a la etapa termofílica, y el pH empieza a subir hasta 7.2 para el resto del proceso aerobio. El pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a valores de 7 a 6,9 en el compost maduro.

- En la última muestra que equivale al producto listo para ser comercializado se observa que el pH presenta valores cercanos a 7 siendo apto para el uso de suelos agrícolas y en cualquier cultivo a ser utilizado.
- Se concluye que la aireación forzada que se realiza asegura la descomposición aerobia, ya que si la aireación no es la adecuada se producirán condiciones anaerobias y el pH caerá a valores hasta aproximadamente 4 a 5 y el proceso de compostaje se retrasaría.
- Esta variable juega un papel muy importante en el análisis de laboratorio ya que es de fácil toma o muestreo y se puede correlacionar con otras variables mediante una ecuación de regresión conocida y así poder establecer valores de otras variables sin necesidad de realizar su análisis.

Figura 128. Valores en los niveles de humedad Charalá



- Se observa que la humedad inicial es grande empezando en un 56,8% que indica que el producto fresco (residuo sólido domiciliario) contiene altas cantidades de agua, pero una vez se tritura y se composte en la pila de producción empieza a perder humedad por escorrenteria la cual va aumentando a medida que el proceso pasa a ser termofílico y con el aumento de la temperatura se pierde humedad por evaporación haciendo reducir la humedad en todo el proceso hasta llegar a un valor final de 29,3%
- El contenido de humedad debería estar entre el 50% y el 60% durante el compostaje siendo un valor óptimo el 55%, por tal motivo es necesario en la planta de Charala agregar agua desde el principio del proceso hasta su culminación. Por lo anterior se

recomienda recircular mediante riego manual los lixiviados generados por la desintegración de los residuos orgánicos, sobre las pilas de compostaje, lo cual lo pueden realizar los operadores continuamente a las pilas de compostación para lograr aumentar la humedad de las pilas de compostaje, esto con el fin de obtener una óptima actividad bacteriana.

- La humedad puede ajustarse mediante la adición de agua o de lixiviados como se comento anteriormente ya que si el contenido de humedad cae por debajo del 40% se reduce la velocidad de fermentación, hecho que está ocurriendo desde la segunda semana del proceso.
- La humedad final del 29,3% se está logrando en tan corto tiempo (20 días) por el proceso de secado con aire a temperatura ambiente que se realiza, logrando que durante su almacenamiento en la bodega no se produzca fermentación del producto, se evite la producción de hongos, se disminuya su peso para el transporte y se entregue el producto final con una humedad final adecuada. Sin embargo se recomienda tratar de disminuir la humedad del producto final hasta lograr valores de alrededor de 10% de humedad final.

Figura 129. Valores en los niveles de carbono orgánico total Charalá



- Se observa que los niveles de carbono orgánico total son fluctuantes a través de todo el proceso teniendo un máximo de 45,2% y un mínimo en la mitad del proceso de 39,2%, teniendo un promedio de 41,08%.
- En el proceso mesófilico se presenta un aumento de la cantidad de carbono total, para luego volver a reducirse en la etapa inicial termofílica, continua sus fluctuaciones a través de todo el proceso hasta obtener un valor muy cercano al inicial de 41 %.

- Se debe mejorar el procedimiento de compostaje en las fases de humectación, agregar mejor la aireación de las pilas y mejorar el proceso de agregación de microorganismos para lograr valores más altos de carbono y así obtener mejores relaciones de carbono/nitrógeno.
- Se debe analizar son las relaciones carbono / nitrógeno con el fin de conocer que ventajas hay entre los diferentes mejoradotes de suelo por tal motivo las relaciones iniciales por masa deben ser entre 25% y 50% siendo optimas para el compostaje aerobio. Con relaciones más bajas se emite amoniaco presentando perdidas de nitrógeno, también se impide la actividad biológica.
- Con relaciones más altas, el nitrógeno puede ser un nutriente limitante.

Figura 129. Valores en los niveles de nitrógeno Charalá

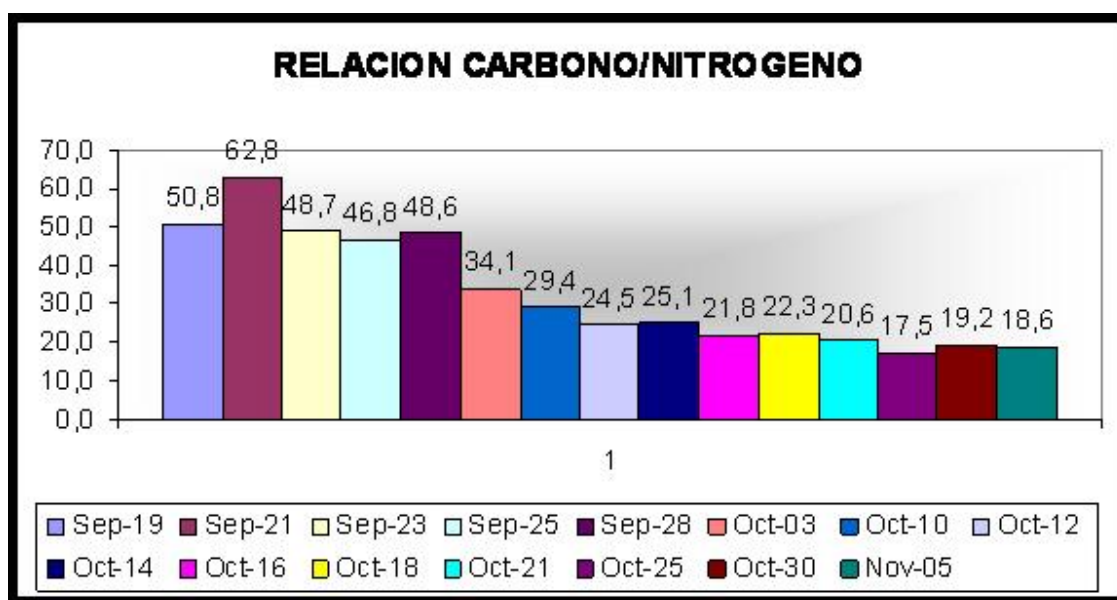


- Se observa que en el inicio del proceso se presenta unos niveles bajos de nitrógeno alrededor de 0,78% y si lo comparamos con los valores de la tabla 11 se puede concluir que los residuos sólidos orgánicos frescos vienen con un alto contenido de residuos de fruta fresca como se comprobó en las diferentes visitas realizadas al municipio.
- Se presenta en las siguientes etapas del proceso una tendencia a aumentar lentamente hasta llegar a un valor de 2,2% pero teniendo un promedio en todo el proceso de 1,48%.
- Relacionando la cantidad de nitrógeno generado durante el proceso se observa que a partir de la segunda semana, aproximadamente cuando se inicia el aumento de temperatura y pasa a ser un proceso termofílico la cantidad de nitrógeno tiene un

aumento lentamente durante todo el resto del proceso, y continua durante la etapa de enfriamiento.

- El producto final a ser comercializado que corresponde al de las dos últimas muestras, equivaldría de conformidad a la tabla 11 al ofrecido por un estiércol indicándonos que hay relación entre la actividad bacteriana generada en los estómagos de los seres vivos con el proceso generado en la planta de compostaje. De igual manera se aprecia que es buena la cantidad de nitrógeno ofrecida por los residuos sólidos domésticos, teniendo en cuenta que el municipio tiene un habito de consumo de productos frescos, de mucha fruta, hortaliza, productos naturales y en muy poca importancia los enlatados o empacados o sintéticos.

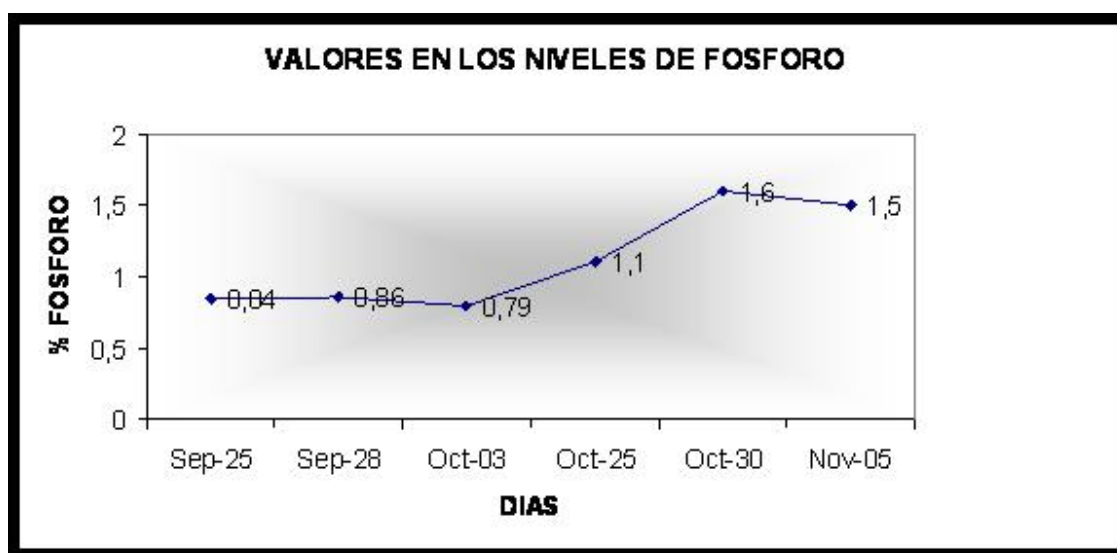
Figura 130. Relación carbono / nitrógeno Charalá



- Como se observa en la gráfica los niveles de nitrógeno en la primera semana son los más bajos por tal razón se obtiene una relación alta de carbono nitrógeno, una vez se inicia la etapa termofílica se produce un incremento en los niveles de nitrógeno que causan la disminución de la relación carbono / nitrógeno para mantenerse aproximadamente constante en el resto del proceso.
- Presenta un valor máximo de 62,8, en el inicio del proceso y un valor mínimo de 17,5 en la mitad del proceso para obtener un producto final con una relación de 18,6.
- Uno de los factores más importantes en el compostaje es la relación carbono - nitrógeno (relación C/N), el rango optimo para la mayoría de los residuos orgánicos está entre 20 y 25 a 1, como se muestra en la tabla 11.

- Para compostaje aerobio se tienen que las relaciones de carbono/nitrógeno deben encontrarse entre 25 y 50 basados en pesos secos totales, debido a que con relaciones más bajas se produce amoníaco gaseoso, reduciendo los niveles de nitrógeno disponible en el mejorador de suelos y en algunas ocasiones impide la actividad biológica con relaciones más bajas.
- De conformidad a la tabla 11 se analiza que los valores de la relación carbono / nitrógeno están por debajo de los niveles para compostaje aerobio, por tal motivo se recomienda realizar mejoras en el proceso productivo para lograr mejorar los niveles de carbono.

Figura 131. Valores en los niveles de fósforo Charalá

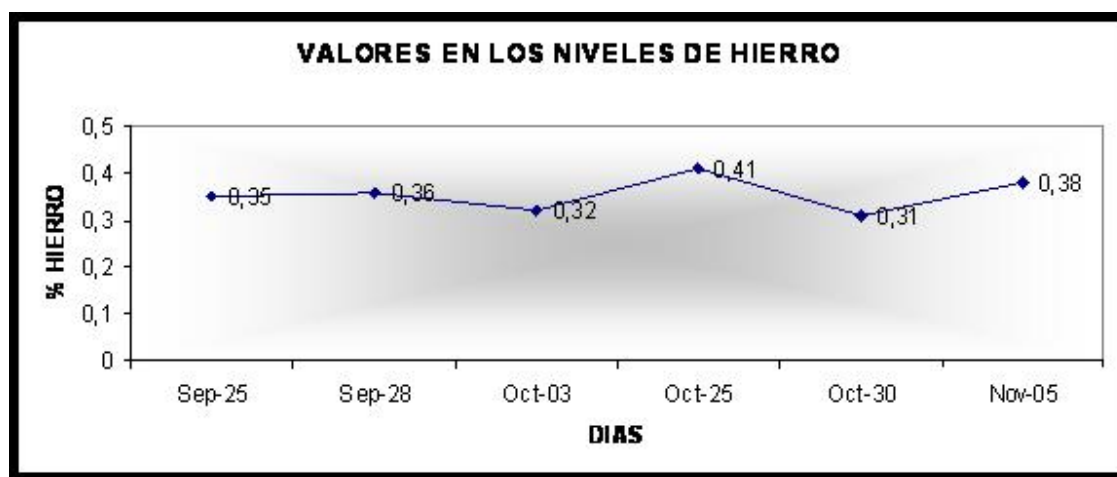


- Para los niveles de fósforo se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de fósforo no se ve afectado por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante a un valor promedio de 1,11%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de fósforo hasta tener en el producto final un valor de 1,5%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (1,5% – 10%), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de fósforo ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de fósforo por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de fósforo por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de

la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.

- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- De igual forma se recomienda establecer un cronograma para realizar a nivel de un laboratorio reconocido o al proveedor de los microorganismos un análisis del estado de los microorganismos, del estado de los hongos y de las levaduras presentes en el agroplus utilizado para acelerar el proceso de compostación.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.

Figura 132. Valores en los niveles de hierro Charalá



- Para los niveles de hierro se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de hierro se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece constante, luego presenta un comportamiento de aumento hasta obtener un valor final de 0,38% y un valor promedio de 0,35%.

- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de hierro hasta tener en el producto final un valor de 0,38%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Los niveles normales de hierro no se encuentran contemplados en los fertilizantes orgánicos, pero si son necesarios como nutrientes menores dentro de las necesidades de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

Figura 133. Valores en los niveles de zinc Charalá

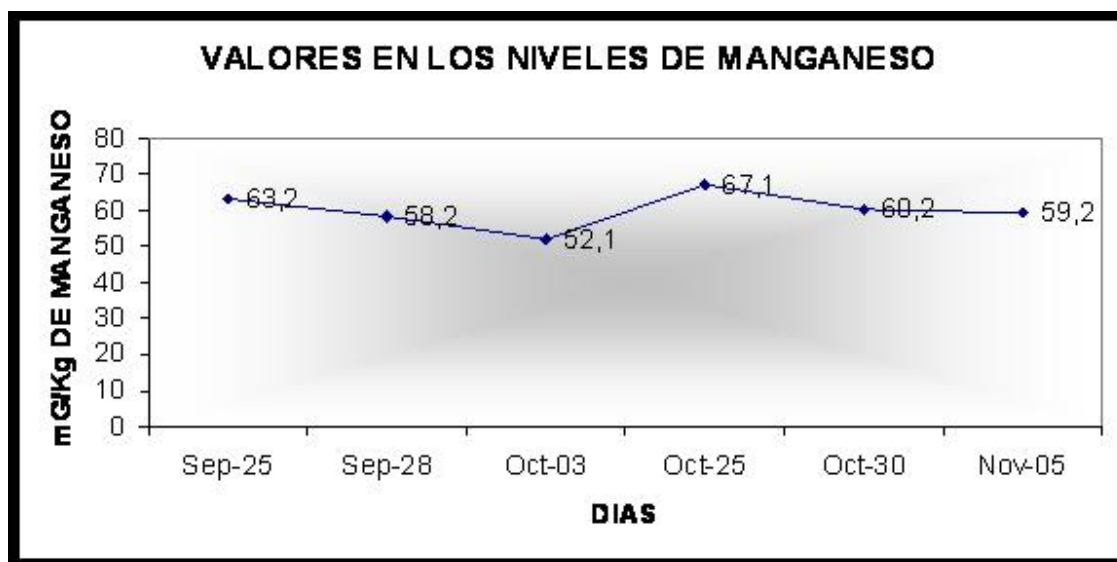


- Para los niveles de zinc se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de zinc se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico presenta un leve aumento y luego si continua su aumento hasta obtener un valor final de 0.07 mg/Kg. y un valor promedio de 0,075mg/Kg.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se disminuye un poco la cantidad de zinc hasta tener en el producto final un valor de 0,07 mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Con respecto al valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (mayor de 10mg/Kg.), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de zinc ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de zinc por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de zinc por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más

estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.

- Se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.
- Se recomienda establecer un cronograma para realizar a nivel de un laboratorio reconocido o al proveedor de los microorganismos un análisis del estado de los microorganismos, del estado de los hongos y de las levaduras presentes en el agroplus utilizado para acelerar el proceso de compostación.
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.

Figura 134. Valores en los niveles de manganeso Charalá

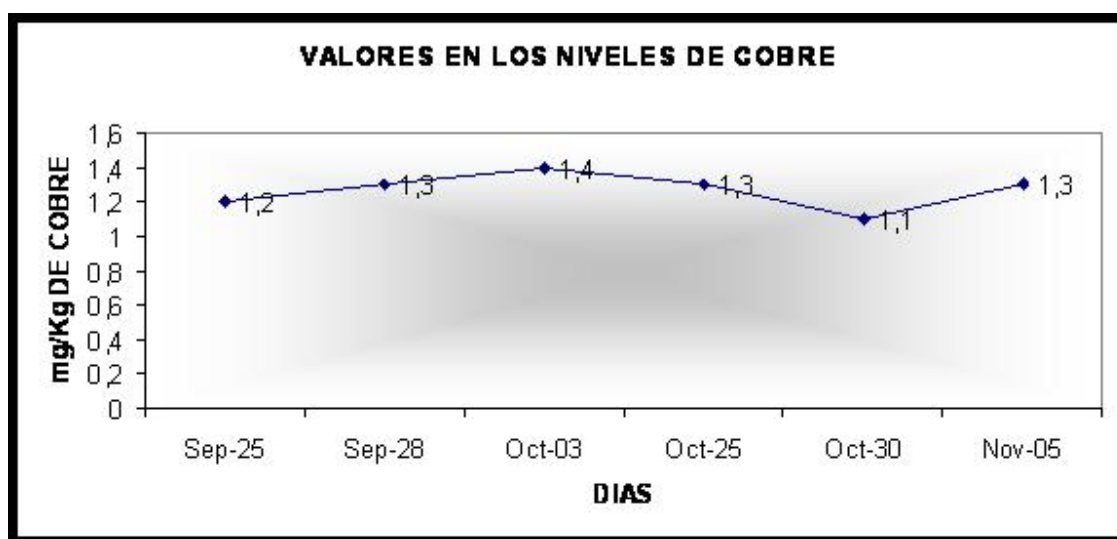


- Para los niveles de manganeso se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de manganeso se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta una leve disminución, pero

luego sube hasta volver a ser casi constante, hasta obtener un valor final de 59,2mg/Kg y un valor promedio de 60mg/Kg.

- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene casi constante la cantidad de manganeso hasta tener en el producto final un valor de 59,2 mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Los niveles normales de manganeso no se encuentran contemplados en los fertilizantes orgánicos, pero si son necesarios como nutrientes menores dentro de las necesidades de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

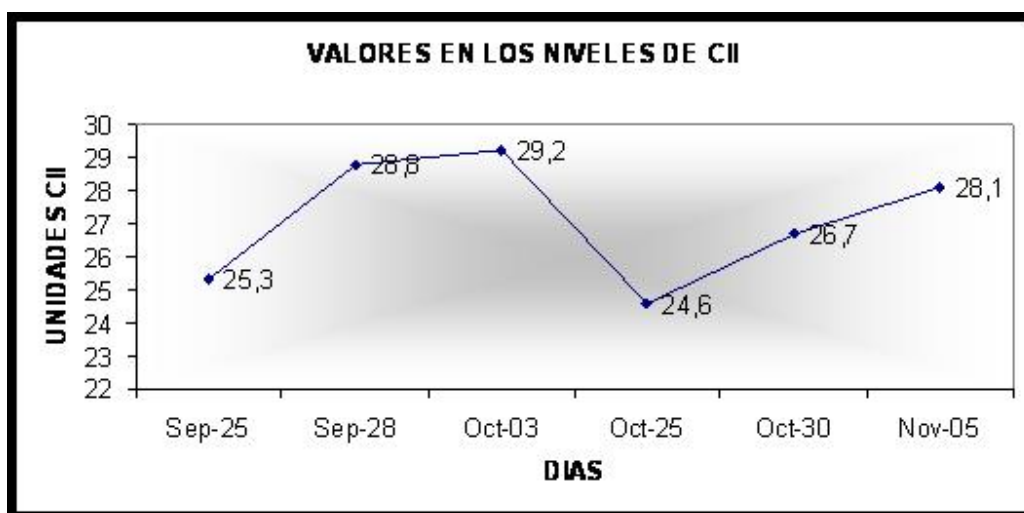
Figura 135. Valores en los niveles de cobre Charalá



- Para los niveles de cobre se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de cobre se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta una leve disminución, pero luego sube hasta volver a ser casi constante, hasta obtener un valor final de 1,3 mg/Kg y un valor promedio de 1,26 mg/Kg. durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene casi constante la cantidad de cobre hasta tener en el producto final un valor de 1,3 mg/Kg., el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con los valores normales de un fertilizante orgánico (mayor 0,2mg/Kg.) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición buenos niveles de cobre.

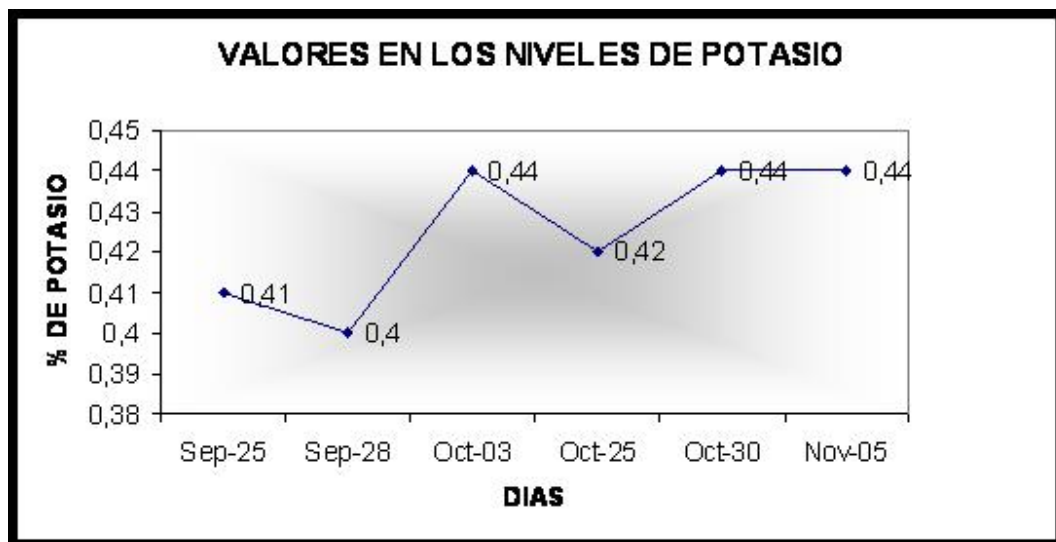
- Se analiza que la cantidad de cobre no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, siendo óptimo para ser mejorador de suelos.

Figura 136. Valores en los niveles de capacidad de intercambio iónico Charalá



- Para los niveles de capacidad de intercambio iónico se realizaron análisis en la segunda semana del proceso, al producto final y en la última semana del proceso, por tal motivo se observa que la cantidad de CII se ve afectado un poco por la temperatura ya que en el proceso presenta un aumento y luego una disminución para luego aumentar levemente, hasta obtener un valor final de 28,1 unidades y un valor promedio de 27,11 unidades durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene un aumento constante en la cantidad de CII hasta tener en el producto final un valor de 28,1 unidades, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (15 – 25 unidades) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de CII.
- Se analiza que la cantidad de CII no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, siendo óptimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

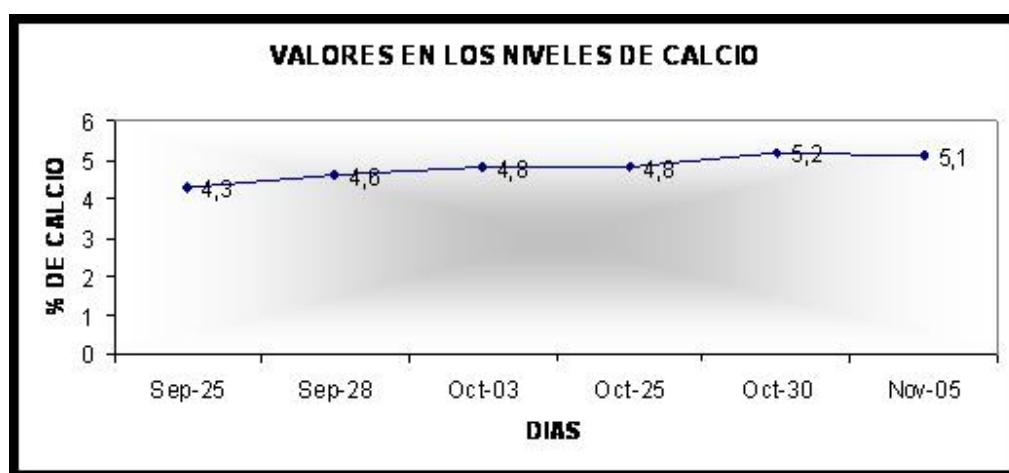
Figura 137. Valores en los niveles de potasio Charalá



- Para los niveles de potasio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de potasio no se ve afectado por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante a un valor promedio de 0,425%.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se incrementa un poco el porcentaje de potasio hasta tener en el producto final un valor de 0,44%, el cual se comercializa con este porcentaje.
- Con respecto a valor del producto final comparado con el intervalo de porcentajes normales para fertilizantes orgánicos (1,0% – 3,0%), se presenta que no cumple con los valores normales indicando que existen deficiencias de potasio ya sea en la materia prima por ser residuos sólidos orgánicos domésticos en su gran mayoría o por fallas en el procesamiento de estos residuos generando niveles de potasio por debajo de los valores normales.
- Los niveles bajos de potasio por debajo de los niveles normales para fertilizantes orgánicos, se recomienda que en la durante la operación se establezcan planillas de control de la aireación de cada una de las pilas de compostaje para llevar un control más estricto de la capacidad de aireación y el tiempo de aireado con el fin de garantizar el buen estado de los microorganismos.
- De igual forma se recomienda establecer planillas de control de la cantidad de agua o de recirculación de lixiviados que se están agregando a cada una de las pilas de compostación, especialmente en la etapa termofílica para conocer los niveles de humedad, llevar control del proceso y establecer la cantidad exacta de agua que se necesita por cada pila de compostaje y de acuerdo a el tiempo de compostaje.

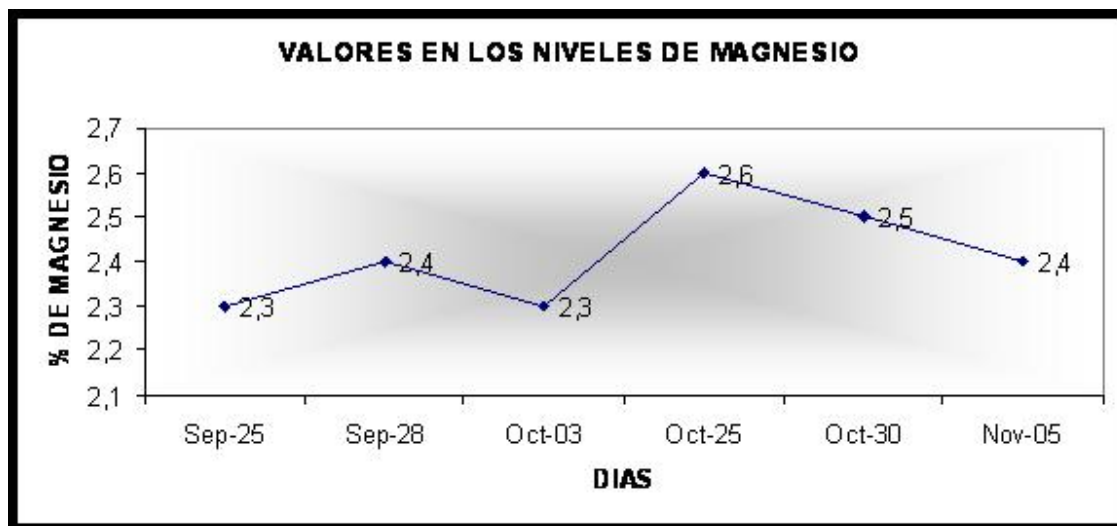
- Se recomienda establecer un cronograma anual de mantenimiento de maquinaria con la finalidad de asegurar la operación y garantizar siempre un tamaño de partícula adecuado por medio del triturador para garantizar la eficiencia en el proceso.
- Se recomienda establecer un seguimiento a la temperatura alcanzada durante las etapas mesofílica y termofílica para asegurar que no se pierdan los nutrientes por exceso de temperatura.

Figura 138. Valores en los niveles de calcio Charalá



- Para los niveles de calcio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de calcio se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta un leve aumento, para luego ser casi constante, hasta obtener un valor final de 5,1% y un valor promedio de 4,8% durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento se mantiene constante el porcentaje de calcio hasta tener en el producto final un valor de 5,1%, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (3% - 5%) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de calcio.
- Se analiza que la cantidad de calcio no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor iniciando en 5,1% como producto fresco, siendo optimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

Figura 139. Valores en los niveles de magnesio Charalá



- Para los niveles de magnesio se realizaron análisis en la segunda semana del proceso y al producto final, en la ultima semana del proceso, por tal motivo se observa que el porcentaje de magnesio se ve afectado poco por la temperatura ya que en el proceso termofílico permanece casi constante, luego presenta un leve aumento, para luego ser casi constante, hasta obtener un valor final de 2,4% y un valor promedio de 2,41% durante el proceso.
- Se analiza que en la etapa de enfriamiento mantiene casi constante el porcentaje de calcio hasta tener en el producto final un valor de 2,4 %, el cual se comercializa con esta cantidad.
- Comparándolo con el intervalo de valores normales de un fertilizante orgánico (1% - 2%) se tiene que durante todo el proceso se cumple con esta cantidad indicando que los residuos sólidos orgánicos domiciliarios generan en la descomposición presentan buenos niveles de magnesio.
- Se analiza que la cantidad de magnesio no depende del proceso de compostación ni de la temperatura ya que durante todo el proceso es constante su valor, iniciando con un valor de 2,3% equivaliendo a un valor superior de las condiciones normales de un fertilizante orgánico, siendo optimo para ser mejorador de suelos, ya que siempre es superior a los niveles normales.

9.8 REQUISITOS DEL ICA PARA EL ABONO

El Instituto Colombiano Agropecuario ICA ha realizado un proyecto de norma técnica Colombiana sobre productos para la industria agrícola, con el objeto de 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.

REQUISITOS GENERALES

- Los productos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o líquida como concentrados solubles.
- Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación.
- Deberá declararse el origen (clase y procedencia) de las materias primas y los procesos de transformación empleados.

REQUISITOS ESPECÍFICOS

Los productos orgánicos empleados como fertilizantes o abonos y enmiendas¹⁰ del suelo, deben cumplir con los requisitos que se mencionan a continuación:

Indicaciones relacionadas con la obtención del Abono orgánico y los componentes principales: Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de 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 indiquen.

Parámetros a caracterizar:

- Pérdidas por volatilización %.
- Contenido de cenizas máximo 60%.
- Contenido de humedad:
 10. Para materiales de origen animal, máximo 20 %.
 11. Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %.
 12. Para mezclas, el contenido de contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.
- Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %.
- N, P₂O₅ y K₂O totales, declararlos si cada uno es mayor de 1 %.
- Relación carbono / nitrógeno.
- Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg⁻¹ (meq/100g).
- Capacidad de retención de humedad mínimo su propio peso.
- pH mayor de 4 y menor de 9
- Densidad máximo 0.6 g / cm³.
- Se indicará la materia prima de que procede el producto.

¹⁰ De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1927, la definición de enmienda corresponde a Acondicionador de Suelos.

Para iniciar el proceso de certificación del compostaje por el ICA se deben cumplir con los parámetros mencionados anteriormente. Es de destacar que el mejorador de suelos de la planta cumple con el parámetro fundamental que define si se puede someter a certificación o no el producto, siendo este la separación en la fuente, porque en la norma expresa claramente que la materia prima de la cual procede el compost debe ser separada en la fuente, de lo contrario no obtendrá la acreditación del ICA.

El mejorador de suelos de la planta de Charala cumple con:

- Contenido de humedad:
Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %, y el mejorador de suelos tiene 28%
- Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %, y el mejorador de suelos tiene 40%.
- N, P₂O₅ y K₂O totales, declararlos si cada uno es mayor de 1 % y el mejorador de suelos tiene: 2,1% de N, 1,4 % de fósforo y no cumpliría con los totales de potasio pues tiene 0,44%
- Relación carbono / nitrógeno, es de 18,6 en promedio.
- pH mayor de 4 y menor de 9 y tiene un pH de 6,7.

Por lo anterior el mejorador de suelos si estaría cumpliendo los parámetros que exigiría el ICA para su comercialización, teniendo que mejorarse los niveles de Potasio.

9.9 ANÁLISIS VARIABLES DE CORRELACION PARA LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPIO DE BARICHARA

Una vez analizados cada uno de los parámetros muestreados en la planta de compostaje se procederá a realizar un análisis de correlación y de regresión de las variables muestreadas con el fin de obtener la relación entre dichas variables y su comportamiento para esto se presenta una explicación de estos procedimientos así:

9.10 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CORRELACIÓN

La covarianza estadística entre dos variables suele ser analizada haciendo una [tabla](#) o una presentación gráfica, pero también hay disponibles estadísticas especiales para indicar su intensidad. Los medios disponibles para el análisis de los vínculos entre las variables dependen de con qué tipo de escala que han medido las variables.

- Para variables sobre escalas aritméticas, el método usual es la correlación estándar, mejor dicho la correlación del momento-producto o correlación de Pearson.

Para el análisis de las variables se establece la asociación entre dos variables cuantitativas estudiando el método conocido como correlación. Dicho cálculo es el primer paso para determinar la relación entre las variables. La predicción de una variable.

La cuantificación de la fuerza de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, se estudia por medio del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (1-3). Dicho coeficiente oscila entre -1 y +1. Un valor de -1 indica una relación lineal o línea recta positiva perfecta. Una correlación próxima a cero indica que no hay relación lineal entre las dos variables.

El realizar la representación gráfica de los datos para demostrar la relación entre el valor del coeficiente de correlación y la forma de la gráfica es fundamental ya que existen relaciones no lineales.

El coeficiente de correlación posee las siguientes características:

- El valor del coeficiente de correlación es independiente de cualquier unidad usada para medir las variables.
- El valor del coeficiente de correlación se altera de forma importante ante la presencia de un valor extremo, como sucede con la desviación típica. Ante estas situaciones conviene realizar una transformación de datos que cambia la escala de medición y modera el efecto de valores extremos (como la transformación logarítmica).
- El coeficiente de correlación mide solo la relación con una línea recta. Dos variables pueden tener una relación curvilínea fuerte, a pesar de que su correlación sea pequeña. Por tanto cuando analicemos las relaciones entre dos variables debemos representarlas gráficamente y posteriormente calcular el coeficiente de correlación.
- El coeficiente de correlación no se debe extrapolar más allá del rango de valores observado de las variables a estudio ya que la relación existente entre X e Y puede cambiar fuera de dicho rango.
- La correlación no implica causalidad. La causalidad es un juicio de valor que requiere más información que un simple valor cuantitativo de un coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación de Pearson (r) puede calcularse en cualquier grupo de datos, sin embargo la validez del tes de hipótesis sobre la correlación entre las variables requiere en sentido estricto:

a) que las dos variables procedan de una muestra aleatoria de individuos.

b) que al menos una de las variables tenga una distribución normal en la población de la cual la muestra procede. Para el cálculo válido de un intervalo de confianza del coeficiente de correlación de r ambas variables deben tener una distribución normal. Si los datos no tienen una distribución normal, una o ambas variables se pueden transformar (transformación logarítmica) o si no se calcularía un coeficiente de correlación no paramétrico (coeficiente de correlación de Spearman) que tiene el mismo significado que el coeficiente de correlación de Pearson y se calcula utilizando el rango de las observaciones.

9.10.1 Test de hipótesis de r . Tras realizar el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r) debemos determinar si dicho coeficiente es estadísticamente diferente de cero. Para dicho calculo se aplica un tes basado en la distribución de la t de student.

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$$

Si el valor del r calculado (para un ejemplo con $r = 0.885$) supera al valor del error estándar multiplicado por la t de Student con $n-2$ grados de libertad, diremos que el coeficiente de correlación es significativo.

El nivel de significación viene dado por la decisión que adoptemos al buscar el valor en la tabla de la t de Student.

Para un ejemplo donde la población es 20, los grados de libertad son 18 y el valor de la tabla de la t de student para una seguridad del 95% es de 2.10 y para un 99% de seguridad el valor es 2.88. (Tabla 2)

$$\text{Error estándar de } r = \sqrt{\frac{1-0.885^2}{20-2}} = 0.109$$

Como quiera que $r = 0.885 > 2.10 \cdot 0.109 = 2.30$ podemos asegurar que el coeficiente de correlación es significativo ($p < 0.05$). Si aplicamos el valor obtenido en la tabla de la t de Student para una seguridad del 99% ($t = 2.88$) observamos que como $r = 0.885$ sigue siendo $> 2.88 \cdot 0.109 = 0.313$ podemos a su vez asegurar que el coeficiente es significativo ($p < 0.001$). Este proceso de razonamiento es válido tanto para muestras pequeñas como para muestras grandes. En esta última situación podemos comprobar en la tabla de la t de student que para una seguridad del 95% el valor es 1.96 y para una seguridad del 99% el valor es 2.58.

9.10.2 Intervalo de confianza del coeficiente de correlación. La distribución del coeficiente de correlación de Pearson no es normal pero no se puede transformar r para conseguir un valor z que sigue una distribución normal (transformación de Fisher) y calcular a partir del valor z el intervalo de confianza.

La transformación es:

$$z = 1/2 L_n \frac{1+r}{1-r}$$

L_n representa el logaritmo neperiano en la base e

$$\text{El error standard de } z \text{ es } = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$$

donde n representa el tamaño muestral. El 95% intervalo de confianza de z se calcula de la siguiente forma:

$$z_1(\text{limite inferior}) = z - 1.96 / \sqrt{n-3}$$

$$z_2(\text{limite superior}) = z + 1.96 / \sqrt{n - 3}$$

Tras calcular los intervalos de confianza con el valor z debemos volver a realizar el proceso inverso para calcular los intervalos del coeficiente r

$$\frac{e^{2z_1} - 1}{e^{2z_1} + 1} \quad \alpha \quad \frac{e^{2z_2} - 1}{e^{2z_2} + 1}$$

9.11. ANÁLISIS DE REGRESION

En un Análisis de Regresión simple existe una variable respuesta o dependiente (y) que puede ser el número de especies, la abundancia o la presencia-ausencia de una sola especie y una variable explicativa o independiente (x). El propósito es obtener una función sencilla de la variable explicativa, que sea capaz de describir lo más ajustadamente posible la variación de la variable dependiente. Como los valores observados de la variable dependiente difieren generalmente de los que predice la función, ésta posee un error. La función más eficaz es aquella que describe la variable dependiente con el menor error posible o, dicho en otras palabras, con la menor diferencia entre los valores observados y predichos. La diferencia entre los valores observados y predichos (el error de la función) se denomina variación residual o residuos. Para estimar los parámetros de la función se utiliza el ajuste por mínimos cuadrados. Es decir, se trata de encontrar la función en la cual la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y esperados sea menor. Sin embargo, con este tipo de estrategia es necesario que los residuos o errores estén distribuidos normalmente y que varíen de modo similar a lo largo de todo el rango de valores de la variable dependiente. Estas suposiciones pueden comprobarse examinando la distribución de los residuos y su relación con la variable dependiente.

Cuando la variable dependiente es cuantitativa (por ejemplo, el número de especies) y la relación entre ambas variables sigue una línea recta, la función es del tipo $y = c + bx$, en donde c es el intercepto o valor del punto de corte de la línea de regresión con el eje de la variable dependiente (una medida del número de especies existente cuando la variable ambiental tiene su mínimo valor) y b es la pendiente o coeficiente de regresión (la tasa de incremento del número de especies con cada unidad de la variable ambiental considerada). Si la relación no es lineal pueden transformarse los valores de una o ambas variables para intentar linearizarla. Si no es posible convertir la relación en lineal, puede comprobarse el grado de ajuste de una función polinomial más compleja. La función polinomial más sencilla es la cuadrática ($y = c + bx + bx^2$) que describe una parábola, pero puede usarse una función cúbica u otra de un orden aun mayor capaz de conseguir un ajuste casi perfecto a los datos. Cuando la variable dependiente se expresa en datos cualitativos (presencia-ausencia de una especie) es aconsejable utilizar las regresiones logísticas ($y = [\exp(c + bx)] / [1 + \exp(c + bx)]$).

De conformidad a lo anterior se analizaran los datos en dos grupos el primero que equivale a las variables pH, Humedad, Carbono Orgánico Total y Nitrógeno, por tener valores en todos los días de muestreo que equivalen a los siguientes:

Tabla 58. Valores de muestreo para las variables ph, humedad, cot, n en charala

ANALISIS	Sep-19	Sep-21	Sep-23	Sep-28	Oct-03	Oct-06	Oct-10	Oct-12
pH	5,90	6,30	6,40	6,50	6,40	6,60	6,70	6,70
Humedad	56,80	58,20	54,40	50,20	47,60	44,10	32,00	28,50
COT	39,60	40,80	42,40	41,20	41,30	40,90	41,20	39,20
N	0,78	0,65	0,87	0,88	0,85	1,20	1,40	1,60

ANALISIS	Oct-14	Oct-16	Oct-18	Oct-21	Oct-25	Oct-30	Nov-05
pH	6,90	6,80	6,60	6,70	6,70	6,60	6,90
Humedad	29,30	33,50	30,40	31,30	30,50	28,40	29,30
COT	45,20	39,20	42,30	43,20	38,40	40,30	41,00
N	1,80	1,80	1,90	2,10	2,20	2,10	2,20

Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis.

Con los datos anteriores se procederá a realizarle un análisis de correlación de Pearson para obtener cuáles son las variables que pueden tener relación entre sí y poder analizarlas:

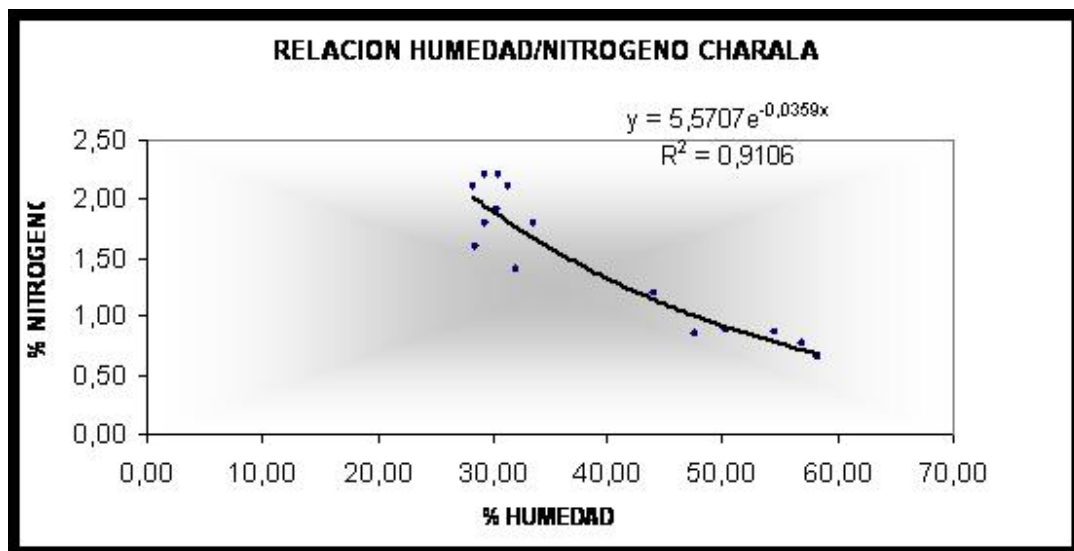
Tabla 59. Coeficientes de correlación para ph, humedad, cot, nitrógeno charala

Analisis	pH	Humedad	COT	N
pH	1			
Humedad	-0,8344	1		
COT	0,2255	-0,0532	1	
N	0,7590	-0,9235	0,0101	1

Fuente: Los Autores.

Una vez realizado el procedimiento de correlación por intermedio de Excel se obtienen los datos consignados en la tabla 6 donde se observa que existe una relación aceptable entre las variables de Humedad – Nitrógeno, para dichas relaciones se procederá a establecer los análisis de regresión y así poder conocer su comportamiento durante el proceso de compostación:

Figura 140. Relación entre humedad y nitrógeno Charalá



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un exponencial 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9106, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.
- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Nitrógeno con respecto al porcentaje de humedad es la siguiente:

$$\% \text{ Nitrógeno} = 5,5707 e^{-0,0359 \text{ Humedad}}$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 79 se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe tomar el porcentaje de Humedad de la pila correspondiente y se podrá calcular el porcentaje de Nitrógeno en esa etapa del proceso.
- De la misma manera se puede establecer el porcentaje de Nitrógeno presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, tomando el valor de la Humedad presente en el producto terminado.

Por otro parte se debe analizar los coeficientes de correlación de las demás variables de conformidad a las muestras realizadas, teniendo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 60. Valores de muestreo para las demás variables analizadas Charalá

VARIABLES	UNIDADES	Sep-25	Sep-28	Oct-03	Oct-25	Oct-30	Nov-05
pH	UNIDAD	6,50	6,40	6,60	6,70	6,60	6,90
Humedad	%	50,20	47,60	44,10	30,50	28,40	29,30
COT	%	41,20	41,30	40,90	38,40	40,30	41,00
N	%	0,88	0,85	1,20	2,20	2,10	2,20
P	%	0,84	0,86	0,79	1,10	1,60	1,50
Fe	%	0,35	0,36	0,32	0,41	0,31	0,38
Zn	mg/Kg	0,06	0,08	0,07	0,08	0,09	0,07
Mn	mg/Kg	63,20	58,20	52,10	67,10	60,20	59,20
Cu	mg/Kg	1,20	1,30	1,40	1,30	1,10	1,30
C.I.I	UNIDAD	25,30	28,80	29,20	24,60	26,70	28,10
K	%	0,41	0,40	0,44	0,42	0,44	0,44
Ca	%	4,30	4,60	4,80	4,80	5,20	5,10
Mg	%	2,30	2,40	2,30	2,60	2,50	2,40

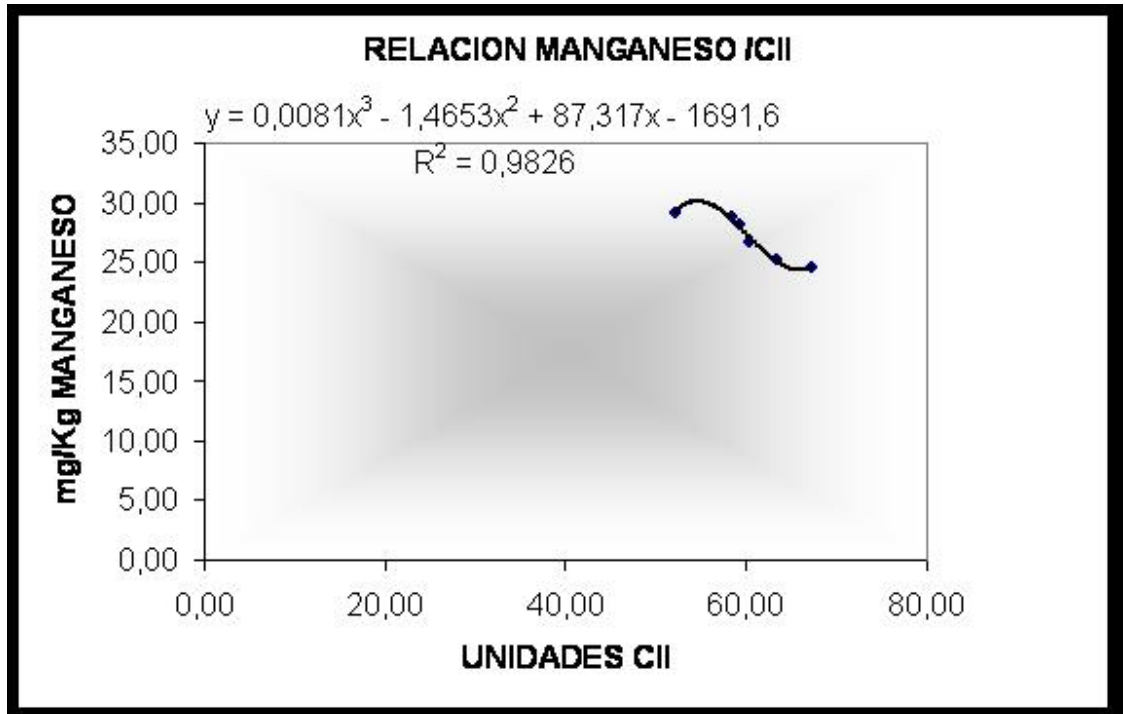
Fuente: Laboratorio PSL Proanálisis.

Con los datos anteriores se procederá a realizarle un análisis de correlación de Pearson para obtener cuáles son las variables que pueden tener relación entre sí y poder analizarlas:

Tabla 61. Coeficientes de correlación para las variables analizadas Charalá

	Ph	Humed	COT	N	P	Fe	Zn	Mn	Cu	C.I.I	K	Ca	Mg
pH	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Humedad	0,7576	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COT	0,3095	0,5829	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	0,8126	0,9886	0,6386	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	0,6288	0,8817	0,2050	0,8339	1,0000	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	0,3893	0,2274	0,5269	0,3178	0,0233	1,0000	-	-	-	-	-	-	-
Zn	0,0554	0,5778	0,4269	0,4751	0,5248	0,1279	1,0000	-	-	-	-	-	-
Mn	0,1175	0,2958	0,6422	0,3636	0,2043	0,6525	0,0946	1,0000	-	-	-	-	-
Cu	0,1499	0,2668	0,0236	0,2148	0,5566	0,3116	0,3693	0,4419	1,0000	-	-	-	-
C.I.I	0,0684	0,2216	0,6529	0,3045	0,1158	0,4261	0,0151	0,9225	0,4838	1,0000	-	-	-
K	0,6925	0,6448	0,0986	0,6336	0,5989	0,3504	0,1625	0,3742	0,0000	0,2248	1,0000	-	-
Ca	0,6360	0,8792	0,2447	0,8154	0,8538	0,1469	0,6383	0,1691	0,1768	0,2248	0,7950	1,0000	-
Mg	0,2814	0,7388	0,8624	0,7336	0,5087	0,4818	0,7340	0,6484	0,2761	0,5162	0,0486	0,4685	1,0000

Figura 141. Relación entre manganeso y cii Charalá



- Realizado el análisis de regresión se obtuvo que la curva que más se asemeja al comportamiento de las dos variables equivale a un polinómica de orden 3 con un coeficiente de ajuste de 0,9826, siendo valido para describir el comportamiento entre estas dos variables.

- La ecuación que representa el cambio del porcentaje de Hierro con respecto a las unidades de pH es la siguiente:

$$\text{Mg/Kg Manganeso} = 0,0081 \text{ CII}^3 - 1,4653 \text{ CII}^2 + 87,317 \text{ CII} - 1691,6$$

- Con la ecuación anterior o el grafico 80 se puede establecer la cantidad de Manganeso del proceso de compostación en cualquier instante del proceso, se debe analizar el valor de la capacidad de intercambio ionico de la pila correspondiente y se podrá calcular la cantidad de Manganeso en esa etapa del proceso.

- De la misma manera se puede establecer la Cantidad de Manganeso presente en el mejorador de suelos a ser comercializado, a partir de la cantidad de CII presente en el producto final.

10. ANÁLISIS COMPARATIVO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LOS CUATRO PROCESOS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.

De conformidad a los resultados obtenidos en el presente estudio se realizarán cuadros comparativos y gráficas que definan las mejores experiencias obtenidas, las mejoras que se puedan presentar de conformidad a las experiencias y concluiremos los mejores parámetros a destacar en cada proceso.

Con respecto al diagnóstico se pudo comprobar que en cada una de las plantas de compostaje se presentan diferentes equipamientos, tanto en maquinaria como en energía donde se encontraron equipos suministrados por diferentes proveedores, en las diferentes plantas, tecnologías de adición de microorganismos elaboradas por diferentes proveedores, diferentes formas de realizar la última selección de los residuos inorgánicos que llegan al proceso, diferentes molinos de trituración unos horizontales y otros verticales con martillos y cuchillas para lograr un tamaño de partícula adecuada como primera variable a controlar en los procesos, los cuales se resumen en las tablas siguientes:

Tabla 62. Tecnologías de equipamiento en cada municipio

MUNICIPIO	TECNOLOGIA DE APROVECHAMIENTO				
	SUMINISTRO EQUIPOS	MICROORGANISMOS	ZONA RECEPCIÓN	ZONA SELECCIÓN	ZONA TRITURACIÓN
PUENTE NACIONAL	INDUSTRIAS FIMAR	FUNDASES	TOLVA	Banda transportadora, horizontal, ancho 1m	Molino Horizontal, con Alimentación tornillo Sin Fin
LANDAZURI	ECOJOVEN	NO AGREGAN	TOLVA	Banda transportadora inclinada ancho 0,5 m	Molino Vertical Alimentación Banda Inclinada
BARICHARA	ECOJOVEN	EM – FUNDASES	PISO	Banda transportadora inclinada ancho 0,5 m	Molino Vertical Alimentación Banda Inclinada
CHARALA	ECOJOVEN	UIS / Dr. CHALELA	TOLVA	Banda transportadora inclinada ancho 0,5 m	Molino Vertical Alimentación Banda Inclinada

Fuente: Los Autores.

Tabla 63. Tecnologías de aprovechamiento en cada municipio

MUNICIPIO	TECNOLOGIA DE APROVECHAMIENTO			
	ZONA COMPOSTACIÓN	ZONA SECADO	ZONA DE EMPAQUE	MANEJO LIXIVIADOS
PUENTE NACIONAL	Conformada por 15 Pilas Estáticas, en forma piramidal de 12m *1,5m*1,5m cada una, donde se inyecta aire por medio de un ventilador de tiro forzado	Se realiza un secado con aire caliente, utilizando una hornilla que calienta el aire y es llevado por un ventilador de tiro forzado.	Posee un Cribadora mecánica para seleccionar tamaño de partícula, tolvas de empaque de producto y una balanza	Presenta zonas de compostación con canales perimetrales de recolección, conducidas a un Birreactor de Lixiviados con válvulas para extracción y reutilización del producto en el proceso
LANDAZURI	2 zonas una con dos celdas de Maduración, aireadas con mallas inferiores y aireación forzada; otra con celdas sin aireación y volteo manual	Placa de concreto contiguo a las celdas de compostación, con volteos manuales y en capas de máximo 20cm.	Posee una zaranda manual, se empaca manualmente y tiene una romana	Las celdas poseen canales y ductos de extracción de lixiviados y presenta un tanque plástico de 1000 litros para recolección de lixiviados, realizan recirculación de los mismos
BARICHARA	8 Celdas de Maduración, aireadas por un ventilador con mallas inferiores y ductos de eliminación de lixiviados	Sobre tierra en pilas piramidales, contiguo a las celdas de compostación, volteo manual	Posee una zaranda manual, se empaca manualmente y no tiene una balanza	Las celdas poseen canales y ductos de extracción de lixiviados hacia un tanque recolector el cual esta conectado hacia los terrenos aledaños a la planta sin tratamiento
CHARALA	2 zonas una con 6 celdas de Maduración, mallas inferiores, aireación forzada y ductos de eliminación de lixiviados; otra formando pilas piramidales con volteo manual	En pilas piramidales, sobre placas de concreto, contiguo a la zona de compostación con volteo manual	Posee un Cribadora mecánica para seleccionar por tamaño de partícula, se empaca manualmente y posee una balanza	Las celdas poseen canales y ductos de extracción de lixiviados hacia un tanque recolector, luego pasa a otro para ser oxigenados y aprovechados.

FUENTE: Los Autores.

Tabla 64. Variables de aprovechamiento en cada municipio

DESCRIPCION DE LA VARIABLE	MUNICIPIOS			
	PUENTE NACIONAL	LANDAZURI	BARICHARA	CHARALA
PPC	0,6	0,65	0,58	0,604
Número de Habitantes	5666	2940	4149	5874
Número de usuarios	1255	588	822	1741
Material Orgánico Procesado (Kg./día)	3500	398	2400	2442
Cantidad de Caldos Microbianos que Adiciona (Kg./día)	100	0	70	69
Cantidad de Aire Agregado (m3/día)	1000	150	200	700
Cantidad de Mejorador de Suelos Producido (Kg./día)	700	150	480	540
Cantidad de Lixiviados Generados (Kg./día)	525	112	360	370
Ingresos Planta de Compostaje (\$)	47.880.000	32.860.000	38.951.000	84.018.000
Gastos Planta de Compostaje (\$)	47.880.000	32.860.000	38.951.000	84.018.000
Subsidio Alcaldía Municipal Año 2005 (\$)	0	18.604.000	23.113.000	42.746.000
Utilidad Año 2005 (\$)	400.000	0	0	0
Activos año 2005 (\$)	333.600.000	171.830.000	212.900.000	454.450.000
Pasivos año 2005 (\$)	0	0	0	0

- Se concluye que en la planta de Puente Nacional se presenta un Diseño en tres niveles uno de descarga de producto (tolva de recepción), otro de selección (banda transportadora) y otro de trituración y proceso, logrando una buena distribución y operación pero se incrementan los costos iniciales de inversión, porque fue necesario hacer muros de contención en concreto; mientras que en las plantas de Barichara, Charala y Landazuri se realiza sobre terrenos planos, no se requieren muros de contención, pero se hace necesario la instalación de bandas de transporte para la alimentación de los residuos sólidos al triturador, teniendo en cuenta que son trituradores verticales; por lo tanto se debe establecer la mejor condición de conformidad al terreno y su topografía para definir que diseño se debe realizar.

- En todas las plantas se presenta una sección donde se encuentran la maquinaria de proceso y otra sección donde se realiza el proceso de compostación ambas con sus respectivas cubiertas, se encontraron las plantas de Puente Nacional, Barichara y Landazuri con encerramientos en malla para garantizar el flujo de aire por lo tanto se concluye que para las nuevas plantas deben ir cubiertas pero no se requieren cerramientos en ladrillo sino que se pueden realizar en mallas finas garantizando la aireación e impidiendo la entrada de insectos.

- Todas las plantas cuentan con una zona de recepción de material fresco, donde Barichara tiene un área sobre el piso y las otras plantas poseen tolvas en laminas de hierro, en las cuales se descargan los residuos desde el carro recolector, por tal motivo se aconseja para la construcción de las nuevas plantas adecuar la topografía para lograr que se descargue directamente desde el carro recolector sobre una tolva en laminas de acero la cual descarga los residuos sobre la banda transportadora.
- Poseen una zona de maquinaria y equipos donde encontramos unas bandas de transporte hacia los molinos de trituración una de ancho 1m y las otras de ancho 0,5 m pero se concluye que deben ser amplias para lograr mayor capacidad de procesamiento y deben contar con pestañas laterales o ser cóncavas para evitar que se derramen los residuos por los costados de las bandas.
- Se presentan dos empresas que suministraron los equipos para las plantas que fueron Industrias Fimar y Ecojoven; cuyas características principales son que la industria Fimar instaló un triturador horizontal que presenta un tornillo sin fin para alimentar el residuo sólido al sistema de trituración, que consta de tres cuchillas y martillos y Ecojoven suministro trituradores verticales con martillos y cuchillas y se hace necesario la instalación de una banda transportadora para llevar los residuos desde la tolva hasta el triturador; en este caso se deben tener en cuenta las mejores condiciones topográficas para el montaje de las nuevas plantas ya que las dos presentan buenas eficiencias de proceso y dan buenos tamaños de partícula.
- En los procesos de Puente Nacional, Barichara y Charala se agregan microorganismos con el fin de acelerar el proceso de compostación y además evitar los vectores contaminantes como insectos y olores molestos, mientras que en Landazuri no se agregan microorganismos aumentando el tiempo de procesamiento y presentando algunos olores molestos por lo anterior se aconseja que para las nuevas plantas se diseñen con sistema de adición de microorganismos para lograr mejores procesos y productos.
- Puente Nacional cuenta con dos zonas de producción formadas por pilas piramidales estáticas con inyección de aire, mientras que Barichara, Charala y Landazuri cuentan con celdas de producción con inyección de aire; concluyendo que ambos procesos son eficientes y adecuados a la cantidad de residuos que se están procesando en cada planta, por lo tanto para las nuevas plantas es necesario conocer la cantidad de residuos a procesar para escoger la forma de comportarlos teniendo en cuenta que en forma de pilas estáticas se reduce la inversión, y sirve para mayores Volúmenes de producción.
- En cuanto a las zonas de secado se debe tener en cuenta el espacio con que se cuenta y la necesidad de obtener más rápidamente el producto final debido a que en Puente Nacional se tiene un proceso de secado por aire caliente, inyectándole aire que es precalentado con una hornilla y carbón coque lo que logra es que en aproximadamente 10 horas de secado el producto ya obtiene la humedad final deseada mientras que en las otras plantas se hace el secado al aire libre sin ninguna ayuda por la cual se está demorando entre 8 a 10 días para obtener la humedad final deseada, por tanto para las nuevas plantas se debe tener en cuenta las necesidades y el espacio con que se cuenta se debe optar por el de Puente Nacional cuando se trate de grandes Volúmenes a

procesar sin embargo este proceso aumenta los costos de producción pues se necesita más energía para obtener el producto final mientras que al aire libre se aprovecha la energía del sol.

- Con relación a las zonas de empaque se necesita que el producto final tenga un tamaño de partícula uniforme para lograr comercializarlo con facilidad y calidad por lo tanto se debe cribar o cernir el producto final, para lo cual dependiendo de la cantidad de producto procesado se debe realizar mecánicamente o manualmente, en las Plantas de Puente Nacional y Charala se realiza mecánicamente y en Barichara y Landazuri se realiza manualmente por lo tanto para las nuevas plantas se debe considerar la cantidad de residuos a procesar, concluyendo que después de 2000 Kg./día se debe diseñar cribado mecánico; la zona de empaque debe contar con una balanza que garantice el llenado uniforme con el producto de los bultos a comercializar y se debe pensar en ofrecer en todas las planta otras presentaciones del mejorador de suelos en empaques adecuados para manejo de jardinería de viviendas o apartamentos y poder ser comercializado en las grandes ciudades o en supermercados logrando mayor valor agregado al producto.

- Se establece que todo proceso aeróbico de compostaje a partir de residuos sólidos domésticos se generan lixiviados los cuales deben tener un manejo o un tratamiento adecuado para lo cual en primer lugar se deben recoger ya sea por medio de canales perimetrales en las zonas de producción como ocurre en Puente Nacional o se deben tener mecanismos de recolección en caso de ser un proceso por medio de celdas, con ductos de conducción de lixiviados a tanques o birreactores con agitación. Se establece que los lixiviados pueden ser reprocesados siendo agregados nuevamente sobre las pilas o celdas de compostación asegurando la humedad necesaria en el procesamiento, como ocurre en Puente Nacional y Landazuri; por otra parte se aconseja realizarle una caracterización mediante análisis de laboratorio a los lixiviados generados en la plantas para estabilizarlos y poder obtener un producto que se pueda comercializar ya que son líquidos con buenos contenidos nutricionales.

- Con relación a los PPC se encuentran todos alrededor de 0,6 indicando que son valores acordes a la generación de residuos a nivel nacional, pero se deben establecer campañas a nivel de los municipios para lograr reducir estos valores por debajo de 0,5 kilogramos por habitante día y de esta manera reducir los Volúmenes de material inerte que se lleven a los rellenos sanitarios, las campañas deben ir enfocadas a lograr concientizar a la comunidad en cambio de algunos hábitos alimenticios y de uso de productos biodegradables o de reutilización.

- Se tiene que el Municipio de Charala es quien mas tiene habitantes seguido por Puente Nacional, Luego Barichara y por ultimo Landazuri, pero el que más residuos procesa es Puente Nacional y esto es debido a que esta planta es Regional y procesa residuos provenientes de otros municipios cercanos a el; aquí se establece que los municipios que le recibe residuos también cuentan con un sistema de selección de residuos; por tanto para las nuevas plantas se debe establecer la posibilidad de regionalizarlas para lo cual se debe diseñar en un terreno equidistante de todos los municipios interesados y tener selección en la fuente de residuos en esos municipios.

- En cuanto a la cantidad de caldos microbianos que se agregan en cada una de las plantas se establece que aproximadamente se están agregando 0,03 litros por kilo de producto procesado, estableciendo que con esos volúmenes se consigue evitar los olores molestos de descomposición y minimizar la cantidad de insectos presentes pero si es necesario agregarlos por lo menos en dos aplicaciones diarias y durante los primeros diez días de procesamiento, para lograr más efectividad durante el proceso; se concluye que para las nuevas plantas se recomienda agregar caldos microbianos con una frecuencia mínima de dos veces por día y por los primeros quince días del proceso.
- En todas las plantas se estableció la adición de aire a presión por intermedio de un ventilador con el fin de garantizar la oxigenación de los microorganismos en el centro de las pilas o de las celdas respectivamente y garantizar el proceso aeróbico; por tanto se concluye que en las nuevas plantas se debe contar con sistemas que garanticen la oxigenación de las pilas o celdas de producción con una frecuencia mínima de dos veces por día en periodos no superiores 20 minutos y a una tasa aproximada de 0,3 metros cúbicos por kilogramo de producto.
- Con respecto a la cantidad de producto empacado que se genera en cada una de las plantas comparado con la cantidad de producto fresco procesado se establece que en promedio equivale a un 20 por ciento de los de los residuos frescos, pero en el proceso de cribado se retiene una cantidad considerable de material que no cumple con el tamaño de partícula para ser comercializado por lo tanto se debe reprocesar para que continúe su proceso de descomposición o se debe triturar para poder ser comercializado, por tal motivo para evitar que se genere bastante material grueso se aconseja que para las nuevas plantas se cuente con una trituradora al final del proceso y antes de realizar el proceso de cribado sea nuevamente triturado el producto y así lograr la mayor cantidad de producto para ser comercializado.
- Con respecto al análisis económico se observa que los mayores costos de producción se presentan en la planta de Charala, para procesar 2.442 kilogramos por día, mientras que en Puente Nacional los costos de producción son la mitad de los de Charala y procesa 3.500 kilogramos por día, lo que indica que son muy altos los costos de charala para su producción y esto se debe a que se tiene altos costos de personal; en las plantas de Charala, Barichara y Landazuri no se cuenta con un balance económico ya que el respectivo municipio debe cubrir parte de los costos de producción para lograr el equilibrio económico de la planta con recursos provenientes del sistema general de participaciones. Se deben realizar ajustes en las tres plantas principalmente en los costos de personal asociado al proceso, pero es necesario también que en cada municipio se empiece a comercializar la totalidad del producto producido, ya sea que el municipio lo compre para que continúe con sus apoyos en subsidio a sus agricultores, pero que se realice la transacción comercial con el fin de viabilizar económicamente las plantas de compostaje.
- La planta de Puente Nacional es la única que presenta utilidad y esto debido a su regionalización ya que tiene un ingreso extra por disposición final de residuos orgánicos a otros municipios cercanos, por lo tanto se recomienda que para las nuevas plantas se diseñen en forma regional, que la inversión sea de varios municipios, que se cobre por la disposición final de residuos orgánicos a los municipios que se les preste el servicio, que sea con visión empresarial logrando eficiencia en los procesos y en el personal que labore

y que se comercialice la totalidad de los productos generados para darles viabilidad económica.

- Se observa que en todos los municipios se cuenta con un patrimonio representado en los terrenos, las edificaciones, la maquinaria y todo lo que representa sus bienes e inmuebles indicándonos que se han realizado importantes inversiones por parte de los municipios en el sentido del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, que dichas inversiones equivalen a capital social por tal motivo no encontramos pasivos en dichas plantas de compostaje, por tal motivo se deben hacer esfuerzos por parte de los municipios para lograr que las plantas sean técnicamente factibles, mecanizando algunos de sus procesos, económicamente viables disminuyendo sus cargas laborales sin deteriorar el proceso productivo y ambientalmente convenientes de tal manera que se controlen de forma adecuada los vectores contaminantes como insectos, olores y manejo adecuado de lixiviados.
- Como conclusión final se establece que las plantas de compostaje en las condiciones actuales de los municipios y con los recursos con que cuentan son las mejores y más económicas formas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, son buenos nichos de generación de empleo sobre todo en regiones rurales donde hay tanta necesidad de empleo y generan una cultura de aprovechamiento y correcto manejo de los recursos y de los desperdicios que se generan en cada uno de los municipios; recomendamos que con ayuda de este trabajo se puedan seguir construyendo y generando empresas de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos domésticos a través de plantas de compostaje ojala y en lo posible regionales y con buenas técnicas de manejo.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA PUENTE NACIONAL, 2005, *“Plan de gestión integral de residuos sólidos”*, Alcaldía Municipal, Puente Nacional. ALCALDIA DE CHARALA, 2005, *“Plan de gestión integral de residuos sólidos”*, Alcaldía Municipal, Charala.

ALCALDIA DE BARICHARA, 2005, *“Plan de gestión integral de residuos sólidos”*, Alcaldía Municipal, Barichara. ALCALDIA DE LANDAZURI, 2005, *“Plan de gestión integral de residuos sólidos”*, Alcaldía Municipal, Landazuri.

MC GRAW – HILL, 1994, *“Gestión Integral de Residuos Sólidos”*, Editorial Mc Graw – Hill.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2002, *“Decreto 1713 – por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.”*, Santa Fe de Bogotá, Agosto.