

**EVALUACION DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS PRODUCTOS  
OBTENIDOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ECO-SANITARIOS EN EL  
MUNICIPIO DE MALAMBO (ATLÀNTICO)**

**DIEGO ARTURO BORRERO ROSAS**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA CON ÉNFASIS EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.  
2013**

**EVALUACION DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS PRODUCTOS  
OBTENIDOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ECO-SANITARIOS EN EL  
MUNICIPIO DE MALAMBO (ATLÀNTICO)**

Por:

**BORRERO R, DIEGO ARTURO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
Magister en ingeniería industrial.**

Directores:

**Germán Castaño Rodríguez, M. Sc. - Universidad Tecnológica de Bolívar**

**Oscar E. Cabarcas Núñez, M. Sc. - Universidad del Atlántico.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.  
2013**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Ciudad y fecha de sustentación**

## **DEDICATORIA**

A Dios, quien con esta oportunidad me mostró para qué me puso en el mundo.

A mi esposa LIA, quien fue receptora de mi sacrificio, a través del tiempo que le negué y que nunca me reclamó, convencida de que todo sería para nuestro común progreso.

A mis hijos ALBA, DIEGO JOSÉ, STEFANIA, BRITANY y MATHEWS, fuentes de resistencia en momentos difíciles y motivo de inspiración permanente a lo largo del proceso académico.

A mi hermana Miriam, In Memoriam, en quien hallé respaldo y motivación, que no se apagaron a pesar de su inesperada partida.

A mi mejor Amigo NAYIB MORENO RODRIGUEZ, precursor de este nuevo esfuerzo, animador constante del proceso e incondicional apoyo moral en momentos de flaqueza o desfallecimiento. A Dios gracias por permitirme compartir con él, el resultado final de todo este esfuerzo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNIVERSIDAD DE LA COSTA por darme la oportunidad de ampliar mis conocimientos en cabeza del Dr. Tito José Crissien. A la Ingeniera FAIRUZ OSPINO Decana de la Facultad de Ingeniería por su constante apoyo.

A la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR con todo su grupo docente que impartieron el conocimiento y mostraron sus valores permitiendo una formación integral en y en el grupo de compañeros que cada fin de semana recibíamos clases sin importar las adversidades.

A la Organización COL SANITAS INTERNACIONAL por permitir la realización de los ensayos Microbiológicos.

A la Empresa KGP Ingeniería Ambiental por su aporte con los profesionales y equipos de medición de gases.

De Forma muy especial Al Ingeniero Industrial ALEXANDER TRONCOSO por su colaboración durante la ejecución del proyecto.

A la Comunidad de la Vereda el Espinal Malambo Atlántico, quienes proporcionaron toda su colaboración para esta investigación.

Y desde luego, llego al final de este proyecto dándole gracias a DIOS, al invaluable apoyo que generaron mis profesores a quienes siempre tendré presente por lo que me han enseñado

## Tabla de contenido

2.1 La salud Pública.....	16
2.2 Aguas residuales.....	16
2.3 Los Biosólidos.....	17
2.4 Los sanitarios secos.....	18
2.5 Abono orgánico.....	19
2.6 Los residuos sólidos urbanos (RSU).....	19
2.6.1 Clasificación de los Residuos.....	20
2.7 Pozo séptico.....	22
2.8 Saneamiento Básico.....	23
2.8 Grupo Focal.....	23
2.10 Desarrollo Sostenible.....	24
2.11 Desarrollo sustentable.....	24
2.12 Alternativas energéticas.....	25
2.13 La Biomasa.....	26
2.14 Eco – saneamiento.....	27
<b>3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>29</b>
3.1 Biosólidos como Abonos orgánicos.....	29
3.2 La digestión anaerobia.....	30
3.3 Excreta humana y riesgos potenciales para la salud.....	31
3.4 Requisitos para el crecimiento de las plantas.....	32
3.4.1 Macronutrientes.....	32
3.4.2 Micronutrientes.....	34
3.5 Microorganismos causantes de enfermedades en la excreta.....	35
3.6 Patógenos en la orina.....	36
3.7 Patógenos en las heces.....	38
3.8 Factores que influyen la mortalidad periódica de los Patógenos.....	40
<b>6. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>50</b>
<b>7. OBJETIVOS.....</b>	<b>52</b>
7.1 GENERAL.....	52

7.2	ESPECIFICOS .....	52
<b>8.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>53</b>
8.1	Localización Geográfica .....	53
8.2	Toma de las muestras de heces.....	54
8.3	Diseño del Experimento.....	54
8.4	Diseño e implementación del piloto de los sanitarios secos.....	55
8.5	Implementación de técnicas de eliminación de patógenos .....	55
8.6	Caracterización de los productos obtenidos del potencial energético .....	56
8.6.1	Determinación de los gases generados. ....	57
8.7	Determinación de Pruebas Fisicoquímicas.....	58
8.7.2	Análisis fisicoquímicos de las muestras. ....	60
8.8	Determinar la variabilidad de microorganismos patógenos en los biosólidos....	66
8.8.1	Técnicas de Inoculación.. .....	66
8.8.2	Procesamientos especiales de siembra .....	66
<b>9.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>69</b>
9.1	Diseño del piloto de los sanitarios secos.....	69
9.2	Implementación de técnicas de eliminación de patógenos .....	72
9.3	Caracterización de los productos obtenidos con potencial energético .....	78
9.4	Pruebas Fisicoquímicas .....	89
9.4.1	Determinación del contenido de grasa. ....	89
9.4.2	Determinación del contenido de la humedad en la muestras.....	90
9.4.3	Determinación del contenido de proteína en las muestras. ....	92
9.4.4	Contenido de Cenizas en las muestras. ....	93
9.5	Determinación de la temperatura.....	94
9.6	Comportamiento del pH.....	95
9.7	Análisis de correlación entre variables para el primer tratamiento .....	102
9.8	Evaluación de la competitividad y sustentabilidad ambiental de un sistema eco-sanitario.....	104
<b>11.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>117</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1. El efecto sobre el rendimiento de los cultivos</b>	35
<b>Figura 2. Mapa de localización de la vereda “El espinal”.</b>	53
<b>Figura 3. Sistema de generación de gases del experimento</b>	57
<b>Figura 4. Medidor de gases.</b>	58
<b>Figura 5. Medidor de pH y Temperatura</b>	59
<b>Figura 6. Determinación de grasa según el método de Soxhlet</b>	61
<b>Figura 7. Horno de secado.</b>	62
<b>Figura 8. Mufla.</b>	63
<b>Figura 9. Método de aislamiento en las cajas petri con agar</b>	68
<b>Figura 10. Vista en Planta del Ecosanitario</b>	69
<b>Figura 11. Vista frontal del Ecosanitario</b>	70
<b>Figura 12. Vista del Ecosanitario</b>	71
<b>Figura 13. Curvas de Distribución normal de los resultados microbiológicos.</b>	72
<b>Figura 14. Variabilidad de los resultados microbiológicos</b>	73
<b>Figura 15. Curva del comportamiento microbiológico de los tratamientos</b>	76
<b>Figura 16. Variabilidad de los resultados microbiológicos de los tratamientos</b>	77
<b>Figura 17. Probabilidad normal, Ajustes e Histograma</b>	77
<b>Figura 18. Probabilidad de producción del gas metano (CH<sub>4</sub>).</b>	78
<b>Figura 19. Variabilidad de producción de gas metano - diferentes tratamientos.</b>	79
<b>Figura 20. Efecto de los tratamientos en la producción de gas metano</b>	83
<b>Figura 21. Variabilidad de los resultados de la producción de gas metano</b>	83
<b>Figura 22. Residuos para gas metano (Probabilidad normal, Ajustes, Histograma y Orden).</b>	84
<b>Figura 23. Resultados de la medición de O<sub>2</sub></b>	86

<b>Figura 24. Resultados de la producción de CO</b>	<b>86</b>
<b>Figura 25. Efectos principales en la producción de CO</b>	<b>87</b>
<b>Figura 26. Interacción y/o efectos en la producción de CO</b>	<b>87</b>
<b>Figura 27. Resultados de grasa presente en las muestras</b>	<b>90</b>
<b>Figura 28. Evolución de la humedad en el experimento</b>	<b>91</b>
<b>Figura 29. Resultados de humedad en las muestras.</b>	<b>91</b>
<b>Figura 30. Variabilidad del contenido de proteína en el experimento</b>	<b>93</b>
<b>Figura 31. Resultados de temperatura</b>	<b>95</b>
<b>Figura 32. Probabilidad pH para los tratamientos</b>	<b>96</b>
<b>Figura 33. Variabilidad de los resultados - tratamientos con Ca(OH)<sub>2</sub> y NaCl.</b>	<b>97</b>
<b>Figura 34. Comportamiento del pH en los diferentes tratamientos</b>	<b>100</b>
<b>Figura 35. Variabilidad del pH en los diferentes tratamientos.</b>	<b>100</b>
<b>Figura 36. Comportamiento de curva normal de los resultados de pH</b>	<b>101</b>
<b>Figura 37. Matriz de correlación entre variables de interés tratamiento I</b>	<b>104</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pag
<b>Tabla 1. Patógenos que podrían ser excretados en la orina y su importancia</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 2. Patógenos que pueden ser excretados en las heces.</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 3. Medios de aislamientos de microorganismos utilizados.</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 4. Análisis de varianza (Anova) para el análisis microbiológico</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 5. Anova de los resultados de análisis microbiológico</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 6. Verificación comparaciones y diferencia de medias</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 7. Prueba de Comparaciones múltiples</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 8. Prueba de verificación, comparaciones y diferencia de medias</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 9. Prueba de comparaciones múltiples en la producción de metano</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 10. Variables aplicadas con estadística descriptiva.</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 11. Contenido de CO<sub>2</sub> en la muestra</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 12. Contenido de H<sub>2</sub>S en las muestras</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 13. Datos descriptivos: grasa.</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 14. Anova de los resultados de grasa.</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 15. Datos descriptivos: humedad</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 16. Anova de dos Factores: Humedad</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 17. Estadística Descriptiva: Proteína</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 18. Anova de dos factores: proteína.</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 19. Contenido de cenizas en las muestras</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 20. Resultados de la temperatura en el experimento</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 21. Análisis descriptivo: Temperatura.</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 22. Comparaciones Diferencias de medias</b>	<b>98</b>
<b>Tabla 23. Prueba de correlación de Pearson</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 24. Costo de construccion de un sanitario seco</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 25. Costo de construccion de un sanitario convencional</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 26. Costo de manteniemineto trimestral de un sanitario seco</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 27. Costo de manteniemineto trimestral de un sanitario convencional</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 28. Matriz de analisis de datos cualitativos</b>	<b>108</b>

## LISTA DE ANEXOS

	Pag.
<b>ANEXO A. Vertedero de los residuos sólidos de la vereda “El Espinal”</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO B. Trabajo de campo con la comunidad</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO C. Diseño experimental</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO D. Trabajo en el laboratorio</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO E. Medición de gases en el laboratorio</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO F. Resultados microbiológicos (tratamiento con NaCl).</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO G. Resultados microbiológicos (tratamiento con NaHCO<sub>3</sub>).</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO H. Producción de Metano del experimento</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO I. ANOVA para los tratamientos de gas metano</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO J. ANOVA producción de gas metano – diferencia de medias</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO k. Valores reportados para contenido de Metano</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO L. Contenido del monóxido de carbono en el experimento</b>	<b>130</b>
<b>ANEXO M. Valores reportados para contenido de O<sub>2</sub></b>	<b>130</b>
<b>ANEXO N. Valores reportados para contenido de grasa</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO O. Valores reportados para contenido de Humedad</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO P. Contenido de proteína en el experimento</b>	<b>132</b>
<b>ANEXO Q. Valores reportados para contenido de Ceniza</b>	<b>132</b>
<b>ANEXO R Anova para los tratamientos de pH</b>	<b>133</b>
<b>ANEXO S. Prueba de comparaciones de Tukey- Valores pH</b>	<b>133</b>
<b>ANEXO T. Valores reportados para contenido de Temperatura</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO U. Análisis Procesamiento de datos obtenidos en laboratorio</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO V. Datos consolidados del experimento</b>	<b>136</b>
<b>ANEXO X. Manual de un sanitario seco</b>	<b>140</b>
<b>ANEXO Y. Actividades del trabajo investigativo</b>	<b>154</b>

## ABSTRACT

We developed a survey to assess the energy potential of the products obtained from the implementation of eco-toilets in the neighborhood united (trail "The Cord"), Malambo Township (Atlantic). There he implemented a dry toilet, which was invited to perform bowel movements to 10 people. These depositions were mixed and then took a portion of 100 g feces averaged for each container and placed in 12 plastic containers randomly. The experiment had a factorial design of 3 x 3 two-way, with a duplicate for each sample. Physicochemical tests were performed, such as pH, temperature of the samples, the ash content, moisture, protein and fat, according to AOAC methods (2011), and microbiological tests such as. Total count of microorganisms, pathogens and parasites as Colsanitas methodology.

The results showed that treatment 1 (NaCl with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), proved to be the most effective treatment for the destruction of pathogenic microorganisms and protozoa (*Giardia*, *Ascaris* and other parasites), inclusive, the lower concentration (0.25 / 1) showed that it is sufficient to reach the microbial kill. However, the increased production of methane ( $\text{CH}_4$ ), was obtained from treatment 2  $\text{NaHCO}_3$  sample to the lowest concentration (0.25 / 1). There was a correlation between increasing pH, the production of methane and microbial killing

## RESUMEN

Se desarrolló una investigación para evaluar el potencial energético de los productos obtenidos de la implementación de eco-sanitarios en El barrio Unidos (vereda “El espinal”), municipio de Malambo (Atlántico). Allí se implementó un sanitario seco, en el cual se invitó a realizar deposiciones fecales a 10 personas. Estas deposiciones se mezclaron y luego se sacó una porción de 100 g en promedio de excremento para cada envase y se depositaron en 12 recipientes plásticos distribuidos aleatoriamente. El experimento tuvo un diseño factorial de 3 x 3 de dos vías; con un duplicado para cada muestra. Se realizaron las pruebas fisicoquímicas, tales como: pH, temperatura de las muestras, el contenido de cenizas, humedad, proteína y grasas, según metodologías AOAC (2011), y las pruebas microbiológicas tales como. Recuento total de microorganismos, Patógenos y parásitos según metodología de Colsanitas.

Los resultados mostraron que el tratamiento 1 (NaCl con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), resultó ser el tratamiento más eficaz para la destrucción de los microorganismos patógenos y protozoos (*Giardia*, los *Ascaris* y otros parásitos); inclusive, la menor concentración de (0.25/1), se observó que es suficiente para alcanzar la destrucción microbiana. Sin embargo, la mayor producción de metano ( $\text{CH}_4$ ), se obtuvo en el tratamiento 2 a partir de la muestra de  $\text{NaHCO}_3$  a la concentración más baja (0.25/1). Hubo una correlación entre el incremento de pH, la producción de metano y la destrucción microbiana

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso inadecuado de las aguas residuales se practica actualmente en varias regiones del mundo, por diversas razones. La escasez del agua y el continuo crecimiento de la población, especialmente en áreas urbanas, ha forzado un desarrollo hacia la sobre utilización de los escasos recursos hídricos y los recursos de fertilización para cultivos. El uso de la excreta está dado por su valioso contenido de nutrientes para las plantas, sin embargo, la excreta humana puede contener también microorganismos patógenos, que directamente o al ser diluidos en las aguas residuales constituyen una amenaza para la salud humana. La diarrea y las enfermedades parasitarias son importantes factores que contribuyen con la Carga Mundial de Morbilidad (GBD por sus siglas en inglés), donde la transmisión ambiental a través del agua y de los cultivos alimenticios contaminados o mediante el contacto directo con las fuentes contaminadas por materia fecal son los mayores contribuyentes. Este proyecto se implementó en una vereda del municipio de Malambo como lo indica la localización geográfica (Vereda “El espinal”) – Adyacente al arroyo el ají - (Malambo, Atlántico, Colombia 471 m N).

Se invitó a realizar deposiciones fecales en un ecosanitario a 10 personas de la vereda el espinal. Estas deposiciones se mezclaron y luego se sacó una porción de 100 g en promedio de excremento para cada envase y se depositaron en 12 recipientes plásticos distribuidos aleatoriamente. El experimento tiene un diseño factorial de 3 x 3 de dos vías; con un duplicado para cada muestra. Y los factores

son: X1 = Concentración de Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) + Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ); y X2 = Concentración de Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) (s)+ Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ).

Esta investigación evaluó el potencial energético de los productos obtenidos de la implementación de eco-sanitarios en El barrio Unidos (vereda “El espinal”), municipio de Malambo (Atlántico).

El tratamiento 1 ( $\text{NaCl}$  con  $\text{Ca(OH)}_2$ ), resultó ser el tratamiento más eficaz para la destrucción de los microorganismos patógenos y protozoos (*Giardia*, los *Ascaris* y otros parásitos); inclusive, la menor concentración de (0.25/1), se observó que es suficiente para alcanzar la destrucción microbiana.

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 La salud Pública.**

Es la disciplina encargada de la protección de la salud a nivel poblacional. Tiene como objetivo mejorar la salud de la población, así como el control y la erradicación de las enfermedades. Es una ciencia de carácter multidisciplinario, ya que utiliza los conocimientos de otras ramas del conocimiento como las ciencias Biológicas, Conductuales, Sanitarias y Sociales. Es uno de los pilares en la formación de todo profesional de la salud (Restrepo, et all., 2006)<sup>1</sup>.

### **2.2 Aguas residuales**

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua,

---

<sup>1</sup> Restrepo J, Echeverri E, Vásquez J, Rodríguez S. El seguro subsidiado y el acceso a los servicios de salud. Teoría, contexto colombiano y experiencia en Antioquia. Medellín: Centro de Investigaciones Económicas, Universidad de Antioquia; 2006.

constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín *cloaca*, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno. (Fernández, 2008).<sup>2</sup>

### **2.3 Los Biosólidos.**

Son lodos con gran cantidad de materia orgánica, nutrientes, microorganismos, metales pesados y agua. Las plantas de aguas residuales domiciliarias y las industrias producen grandes cantidades de estos desechos (Shober y Sims, 2003).<sup>3</sup> Los que provenientes de las plantas depuradoras de aguas residuales, también llamados lodos urbanos, son acumulaciones de sólidos orgánicos sedimentables, separados de los distintos procesos de tratamiento de aguas (Cuevas et all., 2006).<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Fernández A. Energía a partir de aguas residuales. Fundación Erosky contigo. 2008.

<sup>3</sup> Shober, A.L.; Sims, J.T. 2003. Phosphorus restrictions for land application of biosólidos: current status and future trends. J. of Environmental Quality 32: 1955-1964.

<sup>4</sup>Cuevas, J. et all. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 2006. 6 (2): 1-12

Pueden constituir un riesgo a la salud, a los cultivos y a los ecosistemas del suelo y agua en general (Page et all., 1994).<sup>5</sup>

## **2.4 Los sanitarios secos**

Son una alternativa, enfocada principalmente a resolver la problemática de manejo sanitario de excretas, implementando en una comunidad vulnerable un sistema apropiado, accesible, manejable y rentable. Que aporta soluciones ambientales, sanitarias, mejorando la calidad de vida de la población en todos sus aspectos (Montes, 2009).<sup>6</sup> Los sanitarios secos o también llamados sanitarios ecológicos plantean una propuesta simple y que para algunos resulta descabellado. Es un sistema de eliminación de excretas que no necesita agua y con el cual se puede obtener un subproducto el abono orgánico. Como se menciona en algunos estudios consultados y experiencias del primer curso internacional de saneamiento ecológico los sanitarios ecológicos secos familiares y comunitarios constituyen una tecnología apropiada para la disposición, aislamiento, almacenamiento y tratamiento de la excreta. El enfoque de saneamiento ecológico que le dan algunos autores es convertir la excreta humana en material seguro; prevenir la contaminación en vez de controlarla después de contaminar, y usar en la agricultura los productos seguros de

---

<sup>5</sup> Page, A.L.; Chang, A.C.. Overview of the past 25 years: Technical perspective. 1994. p. 3-6.

<sup>6</sup> Montes A. Análisis de la Contribución de los Sanitarios Secos al Saneamiento Básico Rural. Caso Vereda Chorrillos. Pontificia Universidad Javeriana. Tesis MSc. (2009).

excreta humana saneada. Este enfoque puede llamarse sanear y reciclar (Bofill-Mals, 2005).<sup>7</sup>

## **2.5 Abono orgánico**

El abono orgánico es un fertilizante que proviene de animales, humanos, restos vegetales de alimentos, restos de cultivos de hongos comestibles u otra fuente orgánica y natural. En cambio los abonos inorgánicos están fabricado por medios industriales, como los abonos nitrogenados (hechos a partir de combustibles fósiles y aire) como la urea o los obtenidos de minería, como los fosfatos o el potasio, calcio, zinc. Actualmente los fertilizantes inorgánicos o sales minerales, suelen ser más baratos y con dosis más precisas y más concentrados. Sin embargo, salvo en cultivo hidropónico, siempre es necesario añadir los abonos orgánicos para reponer la materia orgánica del suelo. El uso de abono orgánico en las cosechas ha aumentado mucho debido a la demanda de alimentos frescos y sanos para el consumo humano (Jonsson et al., 2004).<sup>8</sup>

## **2.6 Los residuos sólidos urbanos (RSU).**

---

<sup>7</sup> Bofill-Mals S; Casares P; Albiñana, N; Maluquer de Motes C; Hundesagofa A; Girnes R. Efectos sobre la salud de la contaminación del agua y alimentos por virus emergentes humanos. U. de Barcelona. (2005).

<sup>8</sup> Jonson H. et. all. Guidelines on the use of urine and faeces in crop production. Stockholm. Environment Institute. Report, 2004-2.

Son todos aquellos residuos que se originan en los hogares, ámbitos laborales, restaurantes, edificios administrativos, hoteles, industrias...compuestos generalmente por restos de papel y cartón, botellas, embalajes de diversos tipos, restos de comida y residuos de jardín. Una inadecuada gestión de los residuos supone, por un lado, un derroche de energía y, por otro, una fuente de problemas medioambientales. Los residuos mal eliminados poseen olores muy molestos, son fácilmente inflamables y además presentan un grave riesgo de contaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, con el consiguiente peligro para la salud y transmisión de enfermedades (Foster, 2005)<sup>9</sup>.

**2.6.1 Clasificación de los Residuos.** Los tipos de residuos sólidos de una población están relacionados con las actividades realizadas por esta población y por su localización. A pesar de que son muchas y muy variadas las clasificaciones que se han hecho sobre los residuos sólidos, según su origen se clasifican en:

- Residuos sólidos Urbanos
- Residuos industriales
- Residuos rurales (ganaderos y Agrícolas)
- Residuos sanitarios

---

<sup>9</sup> Forster T. Digestión anaerobia termofílica seca de residuos sólidos urbanos: Estudio de las variables del proceso en el arranque y estabilización del bio-reactor. T. doctoral. Universidad de Cádiz-España. Pg 3.

Otra de las clasificaciones que es posible realizar de los residuos es de acuerdo al manejo que debe ser realizado, desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

**a. Residuo peligroso:** Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada, por ejemplo: Relaves mineros, emisiones aéreas desde chimeneas, derrames industriales en cauces superficiales, restos de pesticidas que aun se encuentran en las frutas, verduras en el momento del consumo humano, desechos hospitalarios, desechos de la industria química y farmacéutica, desechos de la actividad agropecuaria o forestal como fungicidas, plaguicidas, desechos de la industria del plástico, desechos de la industria energética como aceites de transformadores, desechos de la industria del petróleo, desechos de la industria textil, desechos de la industria militar, desechos de centros de investigación científica, entre otros.

**b. Residuo no peligroso/ asimilables a urbanos:** Son los residuos fermentables (materia orgánica) combustibles (papel, cartón, plástico, madera, gomas, cueros, trapos, etc.).

**c. Residuo inerte:** Son residuos que no presentan ningún riesgo para el medio ambiente (cascarilla, chatarra, barros inertes, cenizas, polvos, arena, recortes de chapa, escorias y toda otra sustancia que no necesite ningún tratamiento previo a su disposición (Zaror, 2008).<sup>10</sup>

## 2.7 Pozo séptico

Uno de los sistemas utilizados con mayor frecuencia para la eliminación de excretas en zonas rurales, pueblos costeros, ciudades pequeñas, poblaciones marginales o sin acceso a la red de alcantarillado en Latinoamérica, son los pozos sépticos o también llamados letrinas. Estos consisten en una simple fosa excavada a mano, que es reemplazada una vez se llena. Revistiéndose con losa de vigas, tablas o concreto, adecuando un asiento generalmente de madera y una caseta de cualquier material y calidad, para asegurar la privacidad de los usuarios. Este sistema está al alcance de todos por su simple construcción, uso, mantenimiento y bajo costo (Mejía, 1993).<sup>11</sup> Sin embargo, las graves desventajas de los pozos sépticos son: olores desagradables, precarios estados sanitarios en la tenencia del sanitario,

---

<sup>10</sup> Zaror C. Introducción a la Ingeniería Ambiental Para La Industria De Procesos". Universidad de Concepción de Chile. 2008. Pg.165.

<sup>11</sup> Mejía R. Tecnologías de bajo costo para sistemas de alcantarillado, Hojas de investigación técnica CEPIS.; Universidad de Antioquia, Colombia. (1993).

<sup>12</sup> Montesinos V.; Unidades sanitarias secas: Una solución económica y ambientalmente sustentable para el saneamiento básico, Corporación CETAL 2009.

proliferación de moscas, cucarachas y otros insectos, vectores de enfermedades infecciosas, desbordamiento en período de lluvias, contaminación directa del suelo y aguas subterráneas que sirven para el abastecimiento de agua a través de norias o pozos instalados a poca distancia del pozo séptico, como es el caso de la vereda (Montesinos, 2009).<sup>12</sup>

## **2.8 Saneamiento Básico**

Según (Williams, 2000), El saneamiento ambiental básico es el conjunto de acciones técnicas y socioeconómicas de salud pública que tienen por objetivo alcanzar niveles crecientes de salubridad ambiental y preservación de las condiciones sanitarias óptimas de:

- Fuentes y sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano.
- Disposición sanitaria de excrementos y orina, ya sean en letrinas o baños.
- Manejo sanitario de los residuos sólidos, conocidos como basura.
- Control de la fauna nociva, como ratas, cucarachas, pulgas, etc.
- Mejoramiento de las condiciones sanitarias y limpieza de la vivienda

## **2.8 Grupo Focal.**

Es un medio para recolectar, en poco tiempo y en profundidad, un volumen

---

significativo de información cualitativa, a partir de una discusión con un grupo de seis o doce personas, que son guiados por un entrevistador para exponer sus conocimientos y opiniones sobre temas considerados importantes para el estudio. Este tipo de entrevistas constituyen una fuente importante de información para comprender las actitudes, las creencias, el saber cultural y las percepciones de una comunidad en relación con algún aspecto particular del problema de investigación.

## **2.10 Desarrollo Sostenible**

Es el término que se le da al equilibrio del manejo del planeta en tres ámbitos ambiental, social y económico. Teniendo en cuenta que, ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación, ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente, ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible. Es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. (Gallopín, 2003)<sup>13</sup>

## **2.11 Desarrollo sustentable**

---

<sup>13</sup> Gallopín G. Sostenibilidad y Desarrollo sostenible: Un enfoque sistémico. ONU-CEPAL. 2003. Chile. Pg 25-28.

Se habla de Desarrollo sustentable por primera vez en la reunión del protocolo de Ginebra de 1984, dándole un término al mecanismo por el cual los países podrían aprovechar mejor los recursos sin causar problemas severos en el medio ambiente.

Según el diccionario de la real academia de la lengua, las palabras sustentable y sostenible son adjetivos que se definen como, “que se puede sustentar o defender con razones”, y “dicho de un proceso: Que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace”, respectivamente UNESCO. (Gallopín, 2011)<sup>13</sup>.

## **2.12 Alternativas energéticas**

Se denomina energía alternativa, o más propiamente fuentes de energía alternativas, a aquellas fuentes de energía planteadas como alternativa a las tradicionales clásicas (Cartlidge, 2011)<sup>14</sup>. No obstante, no existe consenso respecto a qué tecnologías están englobadas en este concepto, y la definición de "energía alternativa" difiere según los distintos autores: en las definiciones más restrictivas, *energía alternativa* sería equivalente al concepto de energía renovable o energía verde, mientras que las definiciones más amplias consideran *energías alternativas* a todas las fuentes de energía que no implican la quema de "combustibles fósiles" (carbón, gas y petróleo); en estas definiciones,

---

<sup>14</sup> Edwin Cartlidge "Saving for a rainy day". *Science*. 2011. (V. 334). pp. 922–924.

además de las renovables, están incluidas la energía nuclear o incluso la hidroeléctrica (REN 21, 2011)<sup>15</sup>.

### **2.13 La Biomasa**

Según el Diccionario de la Real Academia Española, tiene dos acepciones:

- a. F. Biol. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.
- b. F. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

La primera acepción se utiliza habitualmente en Ecología. La segunda acepción, más restringida, se refiere a la biomasa 'útil' en términos energéticos formales: las plantas transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible. La biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en biomasa natural, residual y los cultivos energéticos (Estevan, 2008).<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> REN 21. "Renewables 2011: Global Status Report". (2011). pp. 17, 18.

<sup>16</sup> Estevan, Antonio (2008). «Biocombustibles: la agricultura al servicio del automóvil». *El ecologista* (56). ISSN 1575-2712.

- La biomasa natural es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana. Por ejemplo, la caída natural de ramas de los árboles (*poda natural*) en los bosques.
- La biomasa residual es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc.), silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria (alpechines, bagazos, cáscaras, vinazas, etc.) y en la industria de transformación de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc.), así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.
- Los cultivos energéticos son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria (cereales y remolacha para producción de bioetanol y oleaginosas para producción de biodiesel), existen otros cultivos como los lignocelulósicos forestales y herbáceos y cosechas.

#### **2.14 Eco – saneamiento**

El eco – saneamiento (ECOSAN) es un concepto ligado a los dos principios básicos de la producción más Limpia (PML), ellos son: la minimización de residuos en la fuente y la separación de los mismos para facilitar su manejo adecuado. En el primer caso, ECOSAN ha sido concebido fundamentalmente para trabajar sin agua o con una cantidad mínima de ella, además las soluciones de ECOSAN son

descentralizadas y se construyen en el ámbito de la vivienda que es el núcleo primario de producción de desechos (Esrey et al., 1999).<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Esrey, A. y Andersson, I. Saneamiento Ambiental desde una Perspectiva de Ecosistema. En: Ecological Sanitation: Closing the Loop for Food Security. Ahuatepec, (1999). México.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Biosólidos como Abonos orgánicos

De acuerdo con (Wu, et all., 2000),<sup>18</sup> a través de pruebas de germinación se puede evaluar el efecto de la adición de lodo a suelos agrícolas, pues estos ensayos son indicadores confiables de la madurez del biosólido para ser aplicado al suelo. Experiencias desarrolladas por (Zucconi et all., 2001)<sup>19</sup>, han demostrado que la germinación de semillas de tomate disminuyó en un 33 % a 55 % cuando la concentración del biosólido aumentó. Durante el período de germinación ocurren numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de elementos fitotóxicos, como Cu, Ni ó Zn (Shober et all., 2003)<sup>20</sup>, puede interferir alterando la viabilidad de la semilla y el desarrollo normal de las plántulas (Sobrero y Ronco, 2004). Las semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) son particularmente sensibles para estos bioensayos (Sobrero y Ronco, 2004)<sup>21</sup>. *L. sativa* es una especie indicadora del efecto de compuestos tóxicos y una buena acumuladora de metales pesados en sus

---

<sup>18</sup> Wu, L.; Ma, L.; Martinez, G.. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality* 2000. 29: 424-429.

<sup>19</sup> Zucconi, F.; Peram, A.; Forte, M.; De Bertolidi, M. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle* 22: 54-56.

<sup>20</sup> Shober, A.L.; Sims, J.T. 2003. Phosphorus restrictions for land application of biosólidos: current status and future trends. *Journal of Environmental Quality* 32: 1955-1964.

<sup>21</sup> Sobrero, M.C., Ronco, A. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). p: 71-79. En: *Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas*, G. Castillo, Ed., Ottawa, 2004. Canadá.

tejidos (Schmidt, 1997).<sup>22</sup> Esta especie es de fácil y rápida germinación, por lo que es posible desarrollar la prueba en pocos días.

### **3.2 La digestión anaerobia.**

Es una de las estrategias de gestión y tratamiento de los residuos sólidos urbanos, lodos de depuradora y otros tipos de residuos orgánicos. Las principales ventajas de este tratamiento son los elevados porcentajes de eliminación de materia volátil (40 a 60%), la obtención de biogás con alto contenido en metano, la destrucción de microorganismos patógenos, especialmente en condiciones termofilicas, y la baja cantidad de lodos generados en el proceso. Por otro lado, la relativa complejidad del proceso y los elevados costes de inmovilizados son desventajas asociadas a este tipo de tratamiento.

Son diversas las tecnologías que permiten reducir impactos ambientales en cuanto a las emisiones de dióxido de carbono y la generación de residuos: aquellas que sustituyen las fuentes de combustibles actuales por fuentes renovables de energía (solar, eólica, geotérmica, y biodegradación de la biomasa o biometanización o digestión anaerobia). La digestión anaerobia posibilita la degradación de la fracción orgánica biodegradable presente en los residuos sólidos urbanos, transformándola en biogás, con alto contenido en metano y susceptible, por tanto, de

---

<sup>22</sup> Schmidt, J.P. 1997. Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land-applied sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* 26: 4-10.

aprovechamiento energético y en un residuo final estabilizado, con una alta tasa de destrucción de microorganismos patógenos, que reúne las condiciones para poder ser utilizado como mejorador del suelo. Por ello, la digestión anaerobia presenta un balance energético positivo posibilitando tanto la prevención de la contaminación como la recuperación sostenible de la energía (De Baere, 2000).<sup>23</sup>

### **3.3 Excreta humana y riesgos potenciales para la salud.**

Las enfermedades infecciosas causan una cuarta parte del total de enfermedades, y a la fecha son las que cobran más vidas de niños y adultos jóvenes en el mundo; con un total de 13 millones de muertes al año. Una de cada dos personas en países pobres muere a temprana edad debido a enfermedades infecciosas. Los menores de edad, y quienes sufren deficiencias del sistema inmunológico son los más vulnerables ante los principales organismos que contribuyen con este peso, particularmente bacterias, virus y parásitos. Algunos de estos organismos siguen activos en el medio ambiente por periodos largos, no importa si hay o no un organismo huésped inmediato (Thor-Axel, 1999).<sup>24</sup>

---

<sup>23</sup> De Baere, et all. Anaerobic fermentation of refuse. Resources and Conservation. (1987). 14, 295-308.

<sup>24</sup> Thor-Axel S. Conference: "Health security in the reuse of human excreta from on-site sanitation", Cuernavaca, México, 1999.

### 3.4 Requisitos para el crecimiento de las plantas.

Los requerimientos para el crecimiento de las plantas incluye luz, agua, una estructura para que las raíces crezcan y nutrientes. Cuando se incrementa el suministro del factor de crecimiento limitante, otros factores de crecimiento se vuelven importantes como factores limitantes (Figura 1). Si los distintos factores de nutrientes son limitantes, por ejemplo, agua, luz, pH, salinidad, la luz o la temperatura, la adición de más nutrientes no va a aumentar el rendimiento (Jönsson et al., 2004).<sup>25</sup>

Puede ser pensado como el lado tablonos de un barril y el nivel de rendimiento como el nivel del líquido puede alcanzar antes de fluir de nuevo. Si se mejora el factor más limitante, por ejemplo, aquí mediante la adición de nitrógeno, entonces algún otro factor de limitará el rendimiento a un nivel superior.

**3.4.1 Macronutrientes.** Los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas se llaman nutrientes. Los nutrientes utilizados en las mayores cantidades son los elementos no minerales, es decir, carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos elementos son principalmente ocupados en forma de

---

<sup>25</sup> Jonson H.; Richert A.; Vienràs B.; Salomon E. Guidelines on the use of urine and faeces in crop Production. Stockholm Environment Institute. Report, 2004-2.

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire y el agua (H<sub>2</sub>O) por las raíces. Creciente el suministro de luz, dióxido de carbono, agua y nutrientes minerales de la gama de la deficiencia aumenta la tasa de crecimiento y rendimiento de los cultivos (Durán, 2004).

Los nutrientes pueden ser divididos en dos categorías: los macronutrientes y micronutrientes. La absorción de macronutrientes es de aproximadamente 100 veces la de micronutrientes. Los seis elementos normalmente clasifican como macronutrientes son Nitrógeno (N<sub>2</sub>), Fósforo (P), Potasio (K), Azufre (S), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Estos nutrientes se toman principalmente desde el suelo por la raíces en forma iónica. El N<sub>2</sub> es a menudo el nutriente más limitante para el crecimiento de las plantas y el uso de N<sub>2</sub> es generalmente más alto que el uso total de los otros macronutrientes y micronutrientes juntos. El N<sub>2</sub> es tomado por la planta en forma de iones de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) Y amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Las principales fuentes naturales de planta available N son la degradación de la materia orgánica en el suelo y la fijación de N por microorganismos vivir en simbiosis con las raíces de las leguminosas (FAO, 2003).<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> FAO/OMS (Food Agriculture Organization /Organization Mundial de la Salud). Alimentación y Nutrición La evaluación de la inocuidad de los alimentos derivados de animales modificados genéticamente, incluidos los peces. Roma. 2004.

**3.4.2 Micronutrientes.** Los micronutrientes son esenciales para el crecimiento de las plantas como los macronutrientes, pero son tomados en pequeñas cantidades (micro). Los elementos normalmente considerados micronutrientes son boro, cobre, hierro, cloro, manganeso, molibdeno y zinc (Frausto da Silva & Williams, 1997; Marschner, 1997)<sup>27</sup>. Los micronutrientes son necesarios para la formación de N<sub>2</sub> de diferentes enzimas. Estos nutrientes están disponibles en cantidades suficientes en el suelo para iniciar la mineralización del material orgánico. Sólo en circunstancias especiales la escasez de micronutrientes limita el crecimiento de las plantas. Cuando excrementos humanos se utilizan como fertilizante, el riesgo de dicha deficiencia es mínimo, ya que la excreta contiene todos los micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas (Jönsson et al., 2004).

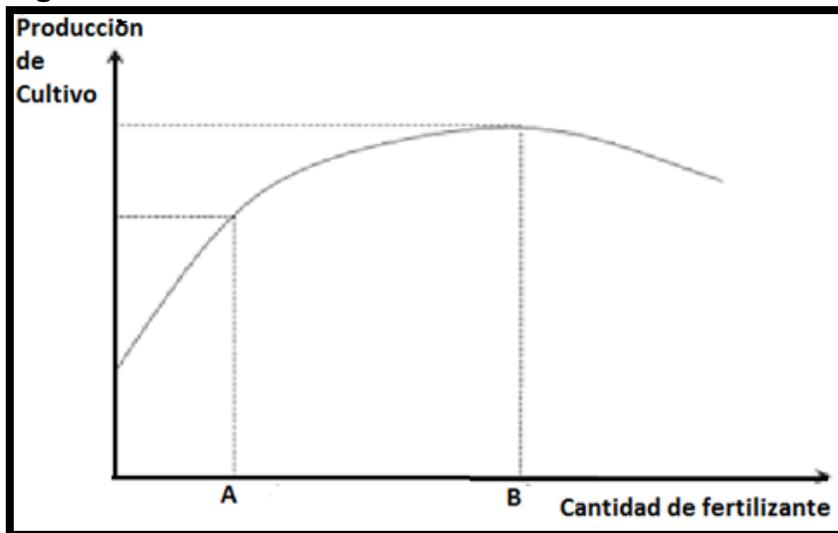
El efecto sobre el rendimiento de los cultivos al aumentar las tasas de aplicación de N<sub>2</sub> disponible, por ejemplo, en forma de la orina. Hasta una tasa A, el aumento de rendimiento es lineal a la adición de la orina. Entre tasa A y tasa de B, el rendimiento todavía aumenta en respuesta al aumento de la aplicación de fertilizantes, pero a un

---

<sup>27</sup> Fraústo da Silva, et all. The Biological Chemistry of the Elements -The Inorganic Chemistry of Life. Oxford, 1997. UK.

ritmo más lento. Más allá de clase B, la aplicación de fertilizantes adicionales se vuelve tóxico y el rendimiento disminuye si la tasa de aplicación se incrementa.

**Figura 1. El efecto sobre el rendimiento de los cultivos**



El uso directo de la excreta, heces y orina humana, da como resultado el uso benéfico de los nutrientes en la agricultura. Estos productos usualmente no contienen contaminantes químicos industriales que podrían impedir el reuso de las aguas residuales municipales, pero deben ser tratados para reducir los niveles de patógenos a un nivel seguro (Vinnerås, 2002).<sup>28</sup>

### 3.5 Microorganismos causantes de enfermedades en la excreta

---

<sup>28</sup> Vinnerås, B. Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion. PhD- thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 2002. Sweden.

Un individuo normalmente excretará grandes cantidades de microorganismos en la materia fecal. Los números están en el rango de 10-10<sup>13</sup>/g. Estos organismos saprofiticos generalmente no son de preocupación para la salud. La mayoría de los organismos causantes de enfermedades de cuidado son excretados, en una cantidad variable, en las heces, pero pocos de ellos también a través de la orina (Vinnerås, 2002).<sup>29</sup>

### 3.6 Patógenos en la orina.

*E. coli* es la causa más común de las infecciones del tracto urinario, donde ciertos clones también pueden estar asociados con las infecciones gastrointestinales. Los patógenos que se conoce, tradicionalmente, que son excretados en la orina son *Leptospira interrogans*, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* y *Schistosoma haematobium* (Feachem *et al.*, 1983).<sup>30</sup> Existe una variedad de otros patógenos que se han detectado en la orina pero su presencia no puede ser considerada

---

<sup>29</sup> Vinnerås B., Holmqvist A., Bagge E., Albiñ A. and Jönsson H. 2003a. 'The potential for disinfection of separated faecal matter by urea and by peracetic acid for hygienic nutrient recycling.' *Bioresource Technology* 89: 155161.

<sup>30</sup> Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D. *Sanitation and Disease -Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley and Sons, 1983. Chichester, UK

significante para el riesgo de transmisión ambiental de enfermedades (Tabla 1), (WHO, 2013).<sup>31</sup>

**Tabla 1. Patógenos que podrían ser excretados en la orina y su importancia.**

Patógenos	Orina como ruta de transmisión	Importancia
Leptospira interrogans	Usualmente a través de la orina animal	Probablemente bajo
Salmonella typhi	Probablemente inusual, excretada en orina en enfermedades infecciosas sistémicas	Bajo comparado con otras rutas de transmisión
Salmonella paratyphi	No directo pero indirecto, la larva infecta a los humanos a través del agua dulce	Necesita ser considerado en áreas endémicas donde hay agua dulce
Schistosoma haematobium (huevos excretados)	Inusual. Usualmente transportado por el aire	Bajo
Mycobacteria	Normalmente no reconocido. Con excepción de casos aislados de hepatitis A y sugerido para la hepatitis B. Se requiere más información	Probablemente bajo
Virus, CMV, JCV, BKV, adeno, hepatitis y otros.	Sugerido pero no reconocido	Bajo
Microsporidia	No. No sobreviven durante periodos significativos fuera del cuerpo	
Causantes de las enfermedades venéreas	No. No hay transmisión ambiental directa	Bajo
Infecciones del tracto urinario		

Fuente: Caroline Schönning and Thor Axel Stenström (2003).<sup>32</sup>

Los riesgos principales del uso de la excreta están relacionados con la fracción fecal y no con la fracción de orina. Por esto, es muy importante evitar o minimizar la contaminación fecal cruzada a la fracción de orina. A pesar de que algunos patógenos pueden ser excretados en la orina, la contaminación fecal cruzada que puede ocurrir por la disposición errada de las heces en el inodoro desviador de orina Schönning *et al.*, 2002)<sup>33</sup>, está relacionada con el riesgo más significativo para la salud (Höglund *et al.*, 2002)<sup>34</sup>.

<sup>31</sup> WORLD HEALTH ORGANIZATION - UNICEF. Progress in Sanitation and Drinking-Water. 2013.

<sup>32</sup> Schönning, C., Westrell, T., Stenström, T.A., Arnbjerg-Nielsen, K., Hasling, A.B., Hansen, L. and Carlsen, A. *Microbial risk assessment of local handling and reuse of human faeces*. Manuscript. 2003.

<sup>33</sup> Schönning, C., Leeming, R. and Stenström, T.A.. 'Faecal contamination of source-separated human urine based on the content of faecal sterols.' 2002. *Water Research* **36** (8): 1965-1972.

### 3.7 Patógenos en las heces.

Las infecciones entéricas pueden ser transmitidas por especies patógenas de bacteria, virus, protozoarios y helmintos. Desde una perspectiva del riesgo, la exposición a heces no tratadas es siempre considerada insegura, debido a la potencial presencia de patógenos. Existen muchos tipos diferentes de organismos que causan infecciones entéricas, parasitarias u otro tipo de infecciones que se podrían dar y su prevalencia en determinada sociedad es a menudo desconocida. En los sistemas de vigilancia, las bacterias han sido tradicionalmente consideradas el grupo principal de organismos causantes de enfermedades gastrointestinales.

Más de 120 diferentes tipos de virus pueden ser excretados por las heces: enterovirus, rotavirus, adenovirus entéricos y calicivirus humanos (norovirus), (Tauxe & Cohen, 1995)<sup>35</sup>. La Hepatitis A es considerada como un virus patógeno de gran preocupación cuando se aplica los desechos a la tierra y es catalogado como un riesgo para brotes de enfermedades relacionados con el agua y los alimentos y la importancia de la Hepatitis E está creciendo.

Entre las bacterias: la *Salmonella*, *Campylobacter* y *E. coli* enterohemorrágica (EHEC) son generalmente de importancia, tanto en países industrializados como en desarrollo, cuando se evalúa los riesgos microbianos de varios productos

---

<sup>34</sup> Höglund, C. 2001. *Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated human urine*. PhD thesis, Department of Biotechnology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

fertilizantes incluidas las heces, los lodos residuales y el estiércol animal. También son importantes como agentes zoonóticos (transmisión entre humanos y animales, así como sus heces y estiércol). En áreas con insuficiente saneamiento, la fiebre tifoidea (*Salmonella typhi*) y el cólera (*Vibrio cholerae*) constituyen los riesgos principales en relación a un inadecuado saneamiento y a la contaminación del agua. *Shigella* es una causa común de diarrea en los países en desarrollo, especialmente en zonas donde la higiene y el saneamiento son deficientes (Chien, 2001)<sup>36</sup>.

Los protozoarios, *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia / intestinalis* han sido estudiados intensamente durante la última década, parcialmente debido a su alta resistencia ambiental y bajas dosis infecciosas, el *Cryptosporidium* por su asociación con algunos brotes grandes de enfermedades relacionadas con el agua, y la *Giardia* por su alta prevalencia como patógeno entérico. La *Entamoeba histolytica* es también reconocida como una infección de cuidado en países en desarrollo. Además, la *Cyclospora* y *Isospora* (Höglund, 2001)<sup>37</sup>.

En los países en desarrollo, las infecciones por los helmintos son de gran preocupación. Los huevos (óvulos) especialmente de *Áscaris* y *Tenia* son muy persistentes en el ambiente y por eso se los considera como un indicador de la

---

<sup>36</sup> Chien, B.T., Phi, D.T., Chung, B.C., Stenström, T.A., Carlander, A., Westrell, T. and Winblad, U. 2001. 'Biological study on retention time of microorganisms in faecal material in urine-diverting eco-san latrines in Vietnam.' First International Conference on Ecological Sanitation. 5<sup>th</sup>-8<sup>th</sup>, Nanning, China: 120-124.

<sup>37</sup> Höglund, C. *Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated human urine*. PhD thesis, Department of Biotechnology, Royal Institute of Technology, 2001. Stockholm, Sweden.

calidad higiénica (OMS, 2007). La Anquilostomiasis es generalizada en zonas tropicales y subtropicales húmedas, y afecta a casi mil millones de personas en todo el mundo. En las naciones en desarrollo, estas infecciones exageran la desnutrición e indirectamente causan la muerte de muchos niños incrementando su vulnerabilidad a otras infecciones que normalmente podrían ser toleradas. Los huevos inefectivos de los *Áscaris* y anquilostomas que son excretados en las heces requieren un período de latencia y condiciones favorables en el suelo o heces depositadas para que eclosionen en larvas y se conviertan en infecciosos (, 2003).<sup>38</sup>

*Schistosoma haematobium*, *Schistosoma*, por ejemplo: *S. japonicum* y *S. mansoni* son excretados en las heces. *S. japonicum* es principalmente prevalente en el Lejano Oriente y *S. mansoni* en África y otras partes de América del Sur y Central, principalmente en Brasil (Chin, 2001).<sup>39</sup> Más de 20 millones de personas están actualmente infectadas con esquistosomiasis. La Tabla 2, muestra agentes patógenos de preocupación y sus síntomas.

### **3.8 Factores que influyen la mortandad periódica de los Patógenos.**

---

<sup>38</sup> Letter Health Consultation. Pohatcong Valley Groundwater Contamination Superfund Site. EPA Facility ID: NJD981179047. 2013. N. J.- E.U.

<sup>39</sup> Chin J. El control de las enfermedades transmisibles. Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2001. Pg. 11-13.

Los protozoos y los virus no son capaces de desarrollarse en el ambiente fuera del huésped, por lo que su número siempre decrecerá, mientras que las bacterias pueden multiplicarse bajo condiciones ambientales favorables. Las curvas de inactivación o los valores  $T_{90}$  son necesarios (Schönning et al., 2003)<sup>40</sup>.

**Tabla 2. Patógenos que pueden ser excretados en las heces.**

Grupo	Patógeno	Enfermedad – Síntomas
Bacteria	Aeromonas spp.	Enteritis
	Campylobacter jejuni/coli	Campilobacteriosis - diarrea, calambres, dolor abdominal, fiebre, náuseas, artritis, síndrome de Guillain-Barré
	Escherichia coli (EIEC, EPEC, ETEC, EHEC)	Enteritis
	Pleisiomonas shigelloides	Enteritis
	Pseudomonas aeruginosa	Varios; bacteriemia, infecciones de la piel, otitis, meningitis, neumonía
	Salmonella typhi/paratyphi	Fiebre tifoidea y fiebre paratifoidea - dolor de cabeza, fiebre, malestar general, anorexia, bradicardia, esplenomegalia, tos
	Salmonella spp.	Salmonelosis - diarrea, fiebre, calambres abdominales
Virus	Shigella spp.	Shigelosis - disentería (diarrea sanguinolenta), vómitos, calambres, fiebre, síndrome de Reiter
	Vibrio cholerae	Cólera - diarrea acuosa, grave y mortal si no reciben tratamiento
	Yersinia spp.	Yersiniosis - fiebre, dolor abdominal, diarrea, dolores en las articulaciones, erupción
	Adenovirus	Varios; enfermedad respiratoria. Aquí añadido debido a los tipos entéricos
	Enteric adenovirus 40 y 41	Enteritis
Protozoarios	Astrovirus	Enteritis
	Calicivirus (incl. Noroviruses)	Enteritis
	Coxsackievirus	Varios; enfermedad respiratoria; enteritis; meningitis viral
	Echovirus	Meningitis aséptica; encefalitis; a menudo asintomático
	Enterovirus tipos 68-71	Meningitis; encefalitis; parálisis
	Hepatitis A	Hepatitis - fiebre, malestar general, anorexia, náuseas, molestias abdominales, ictericia
	Hepatitis E	Hepatitis
	Poliovirus	Poliomielitis - a menudo asintomática, fiebre, náuseas, vómitos, dolor de cabeza, parálisis
	Rotavirus	Enteritis
	Cryptosporidium parvum	Criptosporidiosis - diarrea acuosa, cólicos abdominales y dolor
Helmintos	Cyclospora cayetanensis	A menudo asintomático; diarrea; dolor abdominal
	Entamoeba histolytica	Amebiasis - A menudo asintomática, la disentería, malestar abdominal, fiebre, escalofríos
	Giardia intestinalis	Giardiasis - diarrea, calambres abdominales, malestar, pérdida de peso
	Ascaris lumbricoides	En general, pocos o ningún síntoma; sibilancias, tos, fiebre, enteritis; eosinofilia pulmonar
Helmintos	Taenia solium/saginata	
	Trichuris trichiura	Imperceptible a vaga molestia del tracto digestivo a emaciación con piel seca y diarrea
	Anquilostomas	Picazón, erupción, tos, anemia, deficiencia de proteínas
	Shistosomiasis spp.	

Fuente: Caroline Schonning and Thor Axel Stenstrom (2004).<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Schönning, C., Westrell, T., Stenström, T.A., Arnbjerg-Nielsen, K., Hasling, A.B., Hansen, L. and Carlsen, A. *Microbial risk assessment of local handling and reuse of human faeces*. Manuscript. 2003.

<sup>41</sup> Schönning, C., Westrell, T., Stenström, T.A., Arnbjerg-Nielsen, K., Hasling, A.B., Hansen, L. and Carlsen, A. *Microbial risk assessment of local handling and reuse of human faeces*. Manuscript. 2003.

### **3.9 A.O.A.C. (Analysis Official Analytical Chemistry, por sus siglas en inglés).**

Es una asociación científica sin ánimo de lucro con sede en Gaithersburg, Maryland, (EE.UU). Publica métodos de análisis químicos estandarizados, diseñados para aumentar la confianza en los resultados de los análisis químicos y microbiológicos. Las agencias gubernamentales y organizaciones civiles a menudo requieren que los laboratorios utilicen métodos oficiales de la AOAC. Informalmente la AOAC, fue fundada 08 de septiembre 1884 como la Asociación Oficial de Químicos Agrícolas, por el Departamento de Agricultura de los E. U., para establecer métodos de análisis químico uniformes de los abonos; la membresía se limita a los químicos analíticos del gobierno hasta 1987, después , la afiliación se hizo extensiva a los científicos industriales. En 1965, el nombre de la AOAC cambió a Asociación de Químicos Analíticos Oficiales para reflejar con exactitud su alcance más allá de la agricultura. En 1991, pasó a llamarse AOAC INTERNACIONAL, que, oficialmente, no es un acrónimo, a pesar de los lectores alentadores del sitio web AOAC, para interpretar AOAC como Asociación de Comunidades Analíticas (A.O.A.C. 2013).

#### 4. ESTADO DEL ARTE

En Ibadan, la segunda ciudad más grande de Nigeria, se instaló una planta de producción de Biogás a partir de residuos excrementales de humanos y animales, como fuente de energía alternativa. Esta planta es considerada una de la más grande del continente africano y provee gas a más de 5.400 familias, con un costo de una cuarta parte del gas natural licuado. Esta planta tiene un sistema anaeróbico que consta de un digestor de película fija, en el cual un microorganismo activo ataca en un medio inerte. Este digestor acorta el tiempo de digestión lo cual permite que este sea más compacto. La digestión se lleva a cabo en dos etapas: las bacterias acidogénicas y ácido acéticas. Estas bacterias metabolizan estos compuestos en presencia de gas rico en metano, fósforo y lodos cargados de Nitrógeno, los cuales son excelentes fertilizantes. Dependiendo de la temperatura y humedad esto toma cerca de 6 - 25 días para completar el proceso. Los productos finales son cerca de 60 - 70% de metano y cerca de 20 - 30% de CO<sub>2</sub>, con pequeñas cantidades de H<sub>2</sub>S y otras impurezas. A pequeña escala los biodigestores tienen un precio de U\$ 100 a U\$1.700. Cerca del 60% de los Ibadaneses toman agua de los pozos de aguas subterráneas contaminadas y cerca del 15% tienen pozos privados tomando directamente de acuíferos. Los residuos de los mataderos llevan grandes cantidades de microorganismos patógenos que causan enfermedades a humanos y animales.. (Brown, 2006)<sup>42</sup>.

---

<sup>42</sup> Brown, V. Biogas: A Bright idea for Africa. Environmental Health Perspective; 2006; 114,5;

Se realizó una digestión termofílica anaeróbica en una sola etapa con mezclador continuo de flujo, la cual no es aprobada en los EE.UU. como un proceso capaz de producir biosólidos Clase A para aplicación manual. Este estudio fue diseñado para evaluar la inactivación de patógenos y organismos indicadores en un reactor X, seguido por tratamientos por baches en un pequeño reactor. El proceso combinado era evaluado a 53°C con lodos desde tres diferentes fuentes y a 51°C y 55°C con lodos de una de las fuentes. También se alimentó lodos a un reactor de flujo continuo, y se inoculó con patógenos sustitutos, *Áscaris suum* y vacunas de cadenas de polivirus. Se analizó la alimentación y el efluente para ese organismo y para *Salmonella* spp. Nativa, *Coliformes fecales*, esporas de *Clostridium perfringes*, machos específicos y fagos de coli. Los resultados encontraron huevos de áscaris no viables, en el reactor de flujo continuo a 53°C y 55°C, se registró una reducción de 2 Log mayor a que en todos los tratamientos. Aproximadamente se produjo una reducción de 2 Log a temperatura de 51°C, pero todos los biosólidos contenían al menos un huevo de *Áscaris* viable. Además, se encontró huevos de polivirus no viable en el efluente del digestor a las diferentes condiciones de operaciones; y en una sola muestra se encontró *Salmonella* ssp. Viable, medida en el efluente del digestor a lo largo del estudio. La remoción de fagos machos específicos a través del reactor continuo apareado era relacionado con la temperatura. En general, al menos uno era excedido, los criterios de los patógenos Clase A o el límite de coliformes

fecales, en al menos una muestra, en el reactor continuo efluyendo a cada temperatura. (Aitken, 2005).<sup>43</sup>

La excreta humana, específicamente las heces, pueden hacerse seguras de diversas formas. En el punto de excreción, al agregar material secante como cal o cenizas a las heces o excreta puede destruir patógenos resistentes en un lapso de tiempo razonable. La cal incrementa el nivel de pH y ayuda a deshidratar las heces. Estudios recientes hechos en Vietnam indican que los huevecillos de áscaris y el bacteriófago *Salmonella* pueden neutralizarse en seis meses. La media de la tasa de mortalidad de los bacteriófagos fue de 37 días, cerca de cinco semanas, mientras que el de los huevecillos de áscaris fue de 65 días, aproximadamente nueve semanas. El pH promedio en las cámaras fue aproximadamente 9.5 a 10.0. De los tres factores que afectan la pervivencia de los patógenos (pH, humedad y temperatura), incrementar el pH resultó más efectivo para eliminar patógenos persistentes que modificar los otros dos factores. Una reducción en el nivel de humedad o un incremento de la temperatura puede resultar algo difícil de lograr sin tubo de ventilación, calentadores solares o materiales que aceleren la deshidratación y alta temperatura (Esrey, 2006).<sup>44</sup>

---

<sup>43</sup> Aitken M.; sobsey M.; Marck D.; Shehee M.; Blauth K.; Vicent H.; Farrell J.; Nappier S.; Walters G.; Crunk P. y Van Abel N. Laboratory evaluation of thermophilic-anaerobic digestion to produce Class A Biosolids. Watter environment research. 2005. 77.7. ProQuest pg. 3028.

Se realizó un estudio para identificar un organismo indicador para evaluación de patógenos que reducen la capacidad de plantas de biogás, Los cultivos tenían  $10^4$  a  $10^5$  UFC/mL de *E. Coli* y *Enterocoos faecalis* a lo largo con inoculación de cadenas *Clostridiumm perfringes* son expuestos a 37°C por 15 días y 70°C x 24 horas, 55°C por 48 horas. *Clostridium perfringes* era el organismo más resistente al calor, seguido por *E. Faecalis*, sin embargo la *E. coli* era el microorganismo más sensible al calor. *E. coli* fue reducida bajo el límite de detección a todas las temperaturas con reducción de  $\text{Log}_{10}$  4.94 (10s), 4.37 en 40 minutos y 2.6 en 5 días a 70°C, 55°C y 37°C respectivamente. Reducción máxima de  $\text{Log}_{10}$  para *E. faecalis* son de 1.77 a 70°C (1 día), 1.77 a 55°C (2 días) y 3.13 a 33°C (15 días). La reducción máxima para *Clostridium perfringes* en  $\text{Log}_{10}$  a 37°C fue de  $\text{Log}_{10}$  de 1.35 unidades (15 días), comparado al menos que 1 unidad a 55°C y 70°C. Los resultados modelados exhiben que *E. faecalis* y *C. perfringes* tiene una gran resistencia al calor que *E. coli*. Así que *E. faecalis* y *C. perfringes* pueden ser usados como organismos indicador para evaluar la capacidad de reducción de patógenos en las plantas de gas a altas temperaturas de 55°C y 70°C, sin embargo *E. coli* a 37°C también podría ser incluida como indicador (Watcharasurkarn, et al., 2009).<sup>45</sup>

---

<sup>44</sup> Esrey, S.A., "Food security – its implications on health", en International Perspectives on Environmental Development and Health: Toward a Sustainable World, ed. G.S. Shahi, B.S. Levy, A. Binger, et al., Nueva York, Springer Publishing Company, (1997), pp. 91-113.

<sup>45</sup> Watcharasurkarn M; Kaparaju P; Steyer J; Krogfelt K, Angelidaki I. Screening Escherichia coli, Enterococos faecalis and Clostridium perfringes as indicator organisms in evaluating Pathogen-reducing capacity in biogas plants. J. Microb. Ecolo. (2009). 58:221-230.

Una investigación piloto se realizó en la vereda Chorrillos, por parte de La Secretaria Distrital De Salud<sup>46</sup>, a través del Hospital de Suba, ubicado en el Noroccidente de la Capital, Bogotá-Cundinamarca teniendo en cuenta las falencias en sistemas viables de saneamiento básico en poblaciones de escasos recursos, en lugares donde la infraestructura y los medios físicos, no permiten la adecuación de sistemas convencionales de alcantarillado. La investigación cualitativa se basó en un estudio de caso y observación participante, usando instrumentos como entrevistas a informantes claves, trabajo con grupo focal, y trabajo de campo. El resultado es una matriz de análisis de entrevistas cualitativas, que permiten hacer una aproximación a los cambios generados gracias al uso de esta alternativa; las problemáticas socio ambientales de la zona, ventajas y desventajas de pozos sépticos (tradicionales), ventajas y desventajas de sanitarios secos, contribución real de sanitarios secos, adaptabilidad al núcleo social básico (familia), e impactos económicos primarios.

---

<sup>46</sup> Montes A.. Análisis de la Contribución de los Sanitarios Secos al Saneamiento Básico Rural. Caso Vereda Chorrillos. Pontificia Universidad Javeriana. Tesis MSc. (2009).

## 5. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La comunidad del Barrio Unidos (vereda “El espinal”), localizada en el área rural de Malambo, municipio del departamento del Atlántico, no cuentan con los servicios de acueducto ni alcantarillado; esto genera el aumento sostenido en la producción de biosólidos procedentes de depuración de aguas residuales y depósitos de desechos cropológicos y orinas creando un problema a la hora de la ubicación y destino final de estos desechos. Los biosólidos corresponden a lodos con gran cantidad de materia orgánica, nutrientes, microorganismos, metales pesados y agua. Las plantas de aguas domiciliarias y las industrias producen grandes cantidades de estos desechos (Shober y Sims, 2003).<sup>47</sup>

La disposición de aguas residuales expuestas al ambiente y sin ningún tipo de tratamiento la padecen muchas áreas rurales de muchas regiones del país, a las cuales no llegan los servicios públicos domiciliarios y donde el tema de insalubridad del ambiente en materia de disposición de residuos constituye una gran problemática de salud pública aun, a pesar de haber alcanzado un nivel de desarrollo importante en la región.

El vertimiento de aguas residuales en posas profundas es otra opción muy frecuente en zonas rurales, trayendo como consecuencia la filtración de estas aguas al subsuelo y contaminándolo con bacterias patógenas al agua potable que allí se

---

<sup>47</sup> Shober, A.L.; Sims, J.T. Phosphorus restrictions for land application of biosólidos: current status and future trends. 2003. 1955-1964.

encuentra. El vertimiento de estos biosólidos al sistema de alcantarillado o letrinas, no es una práctica recomendable debido a la producción de una cantidad de gases entre ellos el sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ). El agua contaminada en el subsuelo es utilizada por los campesinos al consumo humano, provocando un riesgo de enfermedad o muerte a las comunidades y de afectación en su calidad de vida, además del deterioro de las condiciones del suelo. Experiencias desarrolladas por Wu, et al., (2000)<sup>48</sup>, han demostrado que la germinación de semillas de tomate disminuyó en un 33 % a 55 % cuando la concentración del biosólido aumentó. La razón por la cual se elige a la vereda “El Espinal” son las expuestas anteriormente. Por todo lo anterior, este estudio se permite hacer la siguiente pregunta de investigación:

¿El desarrollo de eco-sanitarios para la recolección de residuos sólidos (excrementos) constituye una alternativa importante para reducir significativamente la disposición inadecuada de aguas residuales en El barrio Unidos (vereda “El espinal”), municipio de Malambo (Atlántico)?

¿Se logrará obtener un producto con potencial energético a partir de los residuos excrementales humanos obtenidos a través de eco-sanitarios?

---

<sup>48</sup> Wu, L.; Ma, L.; Martínez, G.. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. Journal of Environmental Quality 2000. 29: 424-429.

## 6. JUSTIFICACIÓN

Según el Programa conjunto de seguimiento para el abastecimiento de agua y saneamiento de la OMS/UNICEF (2013)<sup>49</sup>, el 37% de la población de los países en desarrollo – 2.500 millones de personas – carecen de instalaciones mejoradas de saneamiento, y más de 780 millones de personas todavía utilizan fuentes de agua no aptas para el consumo. El acceso insuficiente al agua potable y los servicios sanitarios, provoca la enfermedad y muerte de miles de niños y niñas todos los días y conduce al empobrecimiento y a la reducción de las oportunidades para miles de personas. se estima que en los próximos 20 años otros dos mil millones de personas que habitan en países en desarrollo, demandaran servicios sanitarios. Las personas que habitan en estas regiones viven atrapada en un círculo vicioso (un ciclo patógeno), donde los agentes dañinos y sus víctimas viven, trabajan y juegan en la proximidad de unos y otros (Esrey, et all., 2006)<sup>50</sup>.

En Colombia la falta de acceso al agua potable y el saneamiento tiene muchas repercusiones graves. Según la ONU (2013)<sup>51</sup>, Colombia tiene una población de 46.977.000 habitantes, de las cuales el 75% es urbano y el 25% es rural. En el área urbana el 82% ha mejorado el acceso a servicios sanitarios, mientras que el 2% aun defeca a cielo abierto; en el área rural: el 65% ha mejorado, mientras que el 18%

---

<sup>49</sup> WORLD HEALTH ORGANIZATION - UNICEF. (2013 Update). Progress in Sanitation and Drinking-Water. Consultado: mayo 25 de 2013.

<sup>50</sup> Esrey, Steven; Andersson, Ingvar; Hiller Astrid; Sawyer Ron. "Cerrando el Ciclo – Saneamiento ecológico para la seguridad Alimentaria. (2006). " Publicaciones sobre recursos hídricos No. 18. 2ª Ed.. México.

<sup>51</sup> WORLD HEALTH ORGANIZATION - UNICEF. (2013 Update). Progress in Sanitation and Drinking-Water. Consultado: mayo 25 de 2013.

aun defeca a cielo abierto; en general el 24% de la población ha ganado acceso al servicio sanitario.

Según el Plan de Desarrollo del Departamento del Atlántico (2012 -2015), la cobertura total del alcantarillado sanitario en las zonas urbanas es del 60.1%, agravado por el hecho de que en los municipios de Palmar de Varela y Ponedera, esta cobertura es del 45% y 30%. La infraestructura de redes para alcantarillado, tanto en área urbana y rural se presenta como un problema crítico. Las soluciones individuales de saneamiento básico alcanzan una cobertura del 53% y el alcantarillado rural es prácticamente nulo. De acuerdo con la Secretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico del Departamento del Atlántico (2012)<sup>52</sup>, se adelantaron y estructuraron proyectos de infraestructura para alcanzar una cobertura del 95% en acueducto y 60% en alcantarillado.

Este trabajo pretende evaluar el potencial agroindustrial y energético de los productos obtenidos de la implementación de eco-sanitarios en el municipio de Malambo, (Departamento del Atlántico), como alternativa para implementar en áreas rurales, para facilitar la reducción significativa de la disposición de residuos (excrementos humanos) y darle un valor agroindustrial a través del desarrollo de un sub-producto con potencial energético que además facilite la recuperación de suelos.

---

<sup>52</sup> Plan de Desarrollo del Departamento del Atlántico (2012 -2015): “Atlántico mas social” compromiso social sobre lo fundamental”.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 GENERAL**

Evaluar el potencial energético para darle valor agregado a los productos obtenidos de la implementación de eco-sanitarios en El barrio Unidos (vereda “El espinal”), municipio de Malambo (Atlántico),

### **7.2 ESPECIFICOS**

- 7.2.1.** Diseñar sanitarios secos, estableciendo los componentes de recolección, protección y almacenamiento de los influentes para posterior tratamiento.
- 7.2.2.** Determinar la variabilidad de patógenos en los biosólidos obtenidos mediante análisis microbiológicos y biológicos.
- 7.2.3.** Implementar técnicas de eliminación de patógenos para viabilizar el subproducto como compostaje agroindustrial
- 7.2.4.** Caracterizar los productos obtenidos del potencial energético
- 7.2.5.** Evaluar la competitividad y sustentabilidad ambiental en el medio local al implementar un sistema eco-sanitario.

## 8. METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolló experimentalmente en el laboratorio de química de la Universidad de la Costa (Ver Anexo D), y se implementó en una vereda del municipio de Malambo como lo indica la localización geográfica (Ver Anexo A). Según las variables esta es una investigación descriptiva, utilizando el método experimental como ciencia aplicada.

### 8.1 Localización Geográfica

Calle 2 # 34 – 2; Barrios Unidos, núcleo zonal 1. Vereda “El espinal” – Adyacente al arroyo el ají - (Malambo, Atlántico, Colombia 471 m N)

**Figura 2. Mapa de localización de la vereda “El espinal”.**



## 8.2 Toma de las muestras de heces.

Se invitó a realizar deposiciones fecales en un ecosanitario a 10 personas de la vereda el espinal (Ver Anexo B). Estas deposiciones se mezclaron y luego se sacó una porción de 100 g en promedio de excremento para cada envase y se depositaron en 12 recipientes plásticos distribuidos aleatoriamente. Los envases fueron acondicionados previamente para medir los diferentes gases emergidos de la materia orgánica y la temperatura. El tamaño de la muestra se determinó por la Ecuación 1, utilizando un error máximo del 20.0% ( $e=0.2$ ), un nivel de confianza del 95%, con un valor de la variable estándar  $Z_{\alpha}=1,28$  y una probabilidad  $P=0.5$ , obteniéndose un tamaño de muestra de 10 muestras, los cuales fueron seleccionados en forma aleatoria

$$n_{so} = \frac{\frac{(Z_{\alpha})^2 \times P \times Q}{e^2}}{\frac{N_{so} - 1}{N_{so}} + \frac{(Z_{\alpha})^2 \times P \times Q}{N_{so} \times e^2}} \quad \text{(Ecuación-1)}$$

## 8.3 Diseño del Experimento

El experimento tiene un diseño factorial de 3 x 3 de dos vías; con un duplicado para cada muestra (Ver Anexo C). Y los factores son:

- X1 = Concentración de Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) + Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ).
- X2 = Concentración de Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (s)+ Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ).

La variable de interés fue la población microbiana perjudicial (patógenos) para la salud humana y la producción de gases como indicador del potencial energético de la materia orgánica. Las probabilidades están definidas por:

- $H_0: \hat{E}_{\text{cal-1}} = \hat{E}_{\text{cal-2}}$  (No hay diferencias entre los tratamientos).
- $H_1: \hat{E}_{\text{cal-1}} \neq \hat{E}_{\text{cal-2}}$  (Al menos una es diferente).

Donde  $\hat{E}$  = las medias de los tratamientos

#### **8.4 Diseño e implementación del piloto de los sanitarios secos.**

Se diseñó un sanitario seco a escala piloto teniendo en cuenta la separación de la orina de las heces. El software utilizado fue Auto-CAD Civil 3D (2012).

#### **8.5 Implementación de técnicas de eliminación de patógenos**

Mediante ensayos preliminares con algunos compuestos químicos fueron seleccionados el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), la cal (Hidróxido de Calcio) y el

Cloruro de sodio (NaCl), como agentes bacteriostáticos y bactericidas para facilitar la reducción de patógenos y a la vez reductores de la Actividad acuosa en la materia orgánica para las diferentes mezclas.

Se prepararon tres mezclas con las siguientes concentraciones de NaHCO<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> y las heces fecales (25 g de NaHCO<sub>3</sub> + 25 g Ca(OH)<sub>2</sub> /100 g de heces; 75 g de NaHCO<sub>3</sub> + 75 g Ca(OH)<sub>2</sub> /100 g de heces; y 100 g de NaHCO<sub>3</sub> + 100 g Ca(OH)<sub>2</sub> /100 g de heces; y las otras tres muestras con otra concentración de Cloruro de sodio, hidróxido de Calcio y heces fecales (25 g de NaCl + 25 g Ca(OH)<sub>2</sub> /100 g de heces; 75 g de NaCl + 75 g Ca(OH)<sub>2</sub> /100 g de heces; y 100 g de NaCl + 100 g Ca(OH)<sub>2</sub> /100 g de heces; y un blanco con su duplicado, el cual solo contenía Cal (Hidróxido de Calcio) a una concentración 50 g de hidróxido de Calcio/100 g de heces. Este tratamiento se tuvo como referencia teniendo en cuenta que se ha realizado anteriormente en otros experimentos y se conoce su comportamiento.

Se tomaron 20 g de heces para realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Las variables se midieron cada 3 días, durante 6 semanas, estas fueron: la temperatura, diferentes tipos y concentraciones de gases tales como: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> y CO; perfil microbiológico y perfil fisicoquímico de las diferentes muestras.

## **8.6 Caracterización de los productos obtenidos del potencial energético**

El potencial energético fue determinado a través de la medición de los gases generados en los sistemas desarrollados a escala de laboratorio (Ver figura 3), donde el principal producto a tener en cuenta es el gas metano ( $\text{CH}_4$ ), la cual puede ser utilizado como biocombustible en aéreas rurales o en granjas integrales.

**Figura 3. Sistema de generación de gases del experimento**



**8.6.1 Determinación de los gases generados.** La medición de los gases generados por la materia orgánica se determinaron mediante el equipo EAGLE SDM-E2 (Ver Figura 4). Las pruebas se realizaron en el laboratorio de materiales de la Universidad de la Costa. Los gases más sobresalientes para el estudio son el  $\text{CH}_4$ , el  $\text{CO}_2$ , el  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{O}_2$ .

**Figura 4. Medidor de gases.**



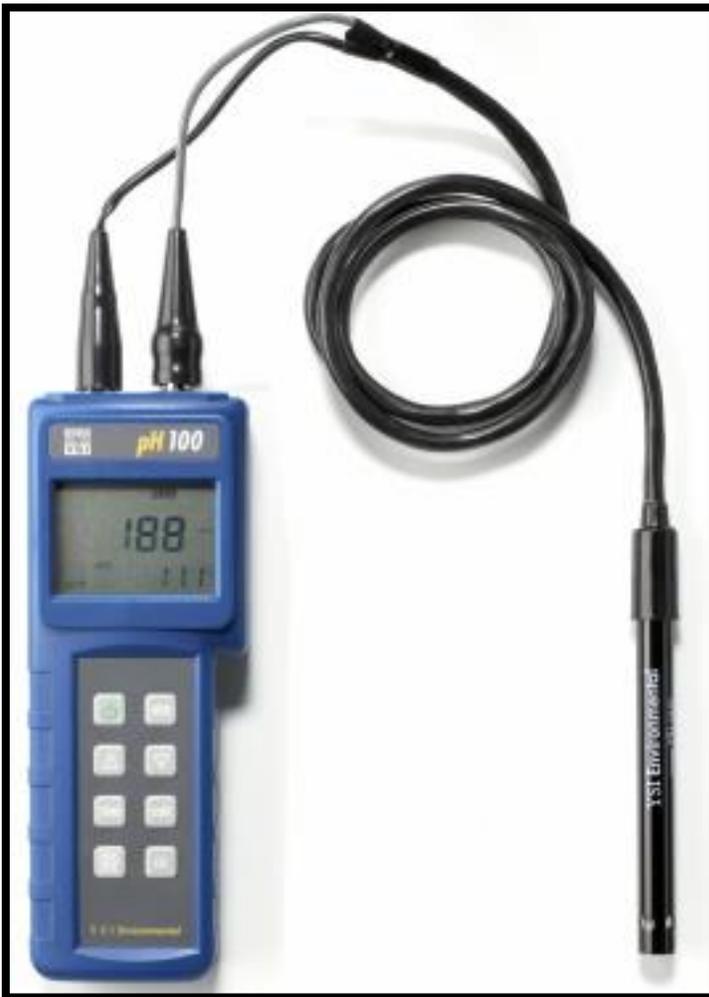
## **8.7 Determinación de Pruebas Físicoquímicas**

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de bromatología de la Universidad de la Costa, según metodología AOAC (2011). Se determinó al pH, la temperatura y análisis físicoquímicos.

**8.7.1 Determinación del pH y la Temperatura.** El pH y la temperatura se determinaron con el equipo YSI pH100 (Ver Figura 5).

El electrodo se introduce a través de una de las mangueras de cada tanque de muestra para medir simultáneamente la temperatura y el pH. En este procedimiento solo se miden los gases insolubles, puesto que los solubles se miden en solución, en el tanque alterno del sistema, el cual contenía 2000 mL de agua (Figura 5).

**Figura 5. Medidor de pH y Temperatura**



**8.7.2 Análisis fisicoquímicos de las muestras.** Se determinó mediante las pruebas el contenido de cenizas, humedad, proteína y grasas, según metodologías AOAC (2011)<sup>53</sup>.

**a. Determinación del contenido grasa.** Se realizó según el método de Soxhlet, AOAC, 922.06 (2011), (Ver Figura 6). Se pesó 5 g de muestra y se colocó en un papel filtro (Whatman # 4) y se secó en una horno a 100°C por 1 h. Luego la muestra se colocó dentro del sifón. El balón de fondo plano se pesó hasta peso constante y acopló al sifón, al cual se le adicionó Benzina de petróleo como solvente, el cual fue aforado hasta la altura de retorno del sifón. El montaje se instaló de tal manera que el balón se colocó sobre una plancha caliente a 60°C, donde se realizó el reflujo 16 veces. Luego se extrajo la muestra y se continuó con el reflujo para recuperar el solvente. Finalmente se colocó el balón dentro de una estufa a 60°C por 15 minutos y se enfrió en un desecador, para luego ser pesado hasta peso constante. El porcentaje de grasa se obtuvo por diferencia de peso con el matraz de fondo plano.

---

<sup>53</sup> Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.) Official methods of analysis. 18th Ed. The Association: Washington, D.C. Revised 2011.

**Figura 6. Determinación de grasa según el método de Soxhlet**



**b. Determinación de humedad.** La humedad se determinó según la metodología AOAC, 32.1.03 (2011). Se expuso las cápsulas vacías con su tapa a 130 °C x 1 hora o hasta peso constante. Luego se pesó 2 g de muestra previamente molida, tamizada por Tayler 60 y homogenizada. Se colocó la muestra en la estufa (Ver figura 7), destapándola la cápsula a 100°C por 24 horas. Se tapó la cápsula estando dentro de la estufa y se enfrió en el desecador por una hora hasta alcanzar peso constante, y se pesó dos veces hasta la variación de un solo decimal. El cálculo del porcentaje de humedad en el producto se hizo con la fórmula 2.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W \text{ muestra húmeda} - W \text{ muestra seca}}{W \text{ muestra húmeda}} \times 100$$

***Ecuación 2***

**Figura 7. Horno de secado.**



**c. Determinación de Cenizas.** Se determinó según metodología de la AOAC, 923.03 (2011). Se pesaron los platos petri de aluminio en una balanza analítica y se sometieron un horno a 130°C x una hora (Ver Figura 8). Luego se enfría en un desecador hasta temperatura ambiente. Se pesaron 5 g de muestra y se depositaron en el crisol y se introdujeron en la mufla a 550°C por 4 horas hasta obtener cenizas blanca y/o gris. Se reposó en un desecador. Luego se pesaron los platos petri con el material inorgánico hasta peso constante y por diferencia de peso se determinó el peso de la muestra, según la Ecuación 3.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(W \text{ crisol con cenizas} - W \text{ crisol vacío})}{W \text{ crisol con la muestra} - W \text{ Crisol vacío}} \times 100$$

*Ecuación 3*

**Figura 8. Mufla.**



**d. Contenido de proteína.** Se determinó por el método de Kjeldahl, según metodología de la AOAC, 984.13 (2011). En los laboratorios Continental (Barranquilla).

- **Digestión.** Se pesó 0.2g de muestra e introducir en un tubo de Kjeldahl, y se agregó 0.15g de sulfato de cobre pentahidratado, 2.5g de sulfato de potasio y 10 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Se encendió el aparato y se precalentó a 360°C. Se colocó los tubos en el porta-tubos del equipo Kjeldahl y se colocó en el bloque de calentamiento. Se ajustó la unidad de evacuación de gases con las juntas colocadas sobre los tubos de digestión. Se accionó la trampa de succión de gases antes de su producción. Se calentó hasta total destrucción de la materia orgánica, con coloración azul verdosa. Una vez finalizada la digestión, luego se colgó el porta-tubos para enfriar, y se desconectó la trampa, después del enfriamiento.
- **Destilación.** En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se le adicionó 50 mL de HCl 0.1N y unas gotas de indicador rojo de metilo 0.1%. Se conectó el equipo de destilación hasta la generación vapor. Luego se colocó el tubo de digestión con la muestra diluida y las sales disueltas en 10 mL de agua destilada, en el destilador hasta el fondo de la solución. Luego se le adicionó NaOH al 36% aforado hasta 40 mL. Se encendió el equipo de destilación hasta alcanzar un volumen de destilado en el matraz Erlenmeyer de 120mL, Se lavó la alargadera con agua destilada y se recogió el agua de lavado sobre el destilado. Luego se tituló el exceso de ácido HCl 0.1N con una solución de NaOH 0.1 N. Finalmente se calculó el % de proteína considerando las reacciones que se llevan a cabo. Se Valoró el destilado con HCl

hasta el cambio de color. (Punto final: pH 4.65). La cantidad de ácido neutralizado por el amoníaco disuelto, indica la cantidad de Nitrógeno presente en la muestra inicial.

Moles de HCl = Moles de NH<sub>3</sub> = Moles de N en la muestra

Moles de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 2Moles de NH<sub>3</sub> = 2Moles de N en la muestra

Se realizó el cálculo de Nitrógeno teniendo en cuenta la ecuación 3.

$$\text{mg N} = \text{N} \times \text{V} \times 14 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

**N** = Normalidad del ácido de valoración

**V** = Volumen de ácido consumido

**14** = Peso atómico del nitrógeno.

Luego, se determinó el porcentaje de proteína de acuerdo a la Ecuación 4, haciendo una conversión con el factor de corrección 6.25 por defecto.

$$\% \text{ Proteínas} = \text{P2/PO} \times 100 \times \text{F} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

P2: Nitrógeno (mg).

PO: Peso de la muestra (mg).

F: Factor proteínico (6.25 por defecto)

## **8.8 Determinar la variabilidad de microorganismos patógenos en los biosólidos.**

Se realizó el perfil microbiológico de las heces en el laboratorio de microbiología de Colsanitas. Las muestras se analizaron cada tres días por seis (6) veces. Cada muestra tenía un duplicado. Las pruebas realizadas fueron el recuento total de microorganismos y microorganismos patógenos, expresados como Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

**8.8.1 Técnicas de Inoculación.** La muestra que ha sido fue recibida en el laboratorio de Colsanitas (Barranquilla) y se sembró sobre una serie de medios de aislamiento (Estos cultivos iniciales son llamados cultivos primarios), como se observa en la Tabla 3.

**Tabla 3. Medios de aislamientos de microorganismos utilizados.**

<b>MUESTRA</b>	<b>SORBITOL</b>	<b>MC CONCKEY</b>	<b>XLD SORBITOL Y SELENITO</b>
<b>MATERIA FECAL</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>

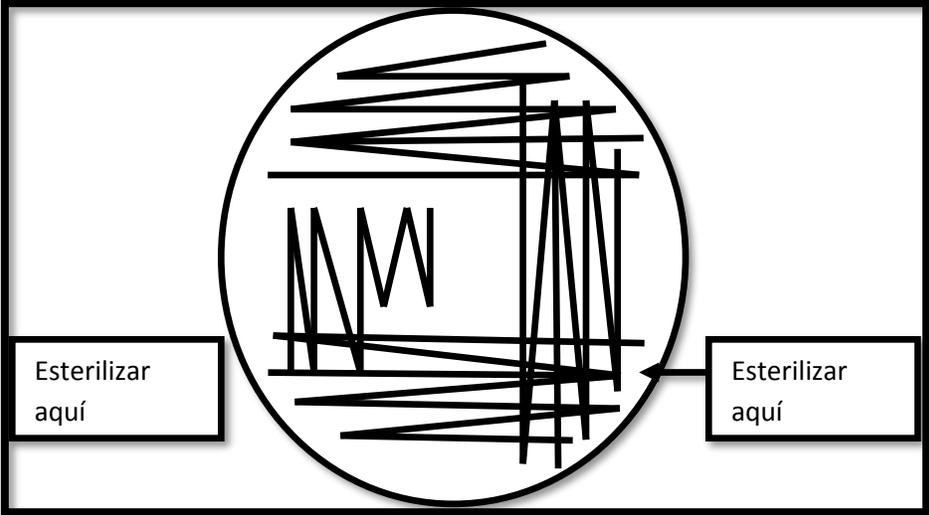
### **8.8.2 Procesamientos especiales de siembra.**

a. **Cultivo de materia fecal.** Una vez identificada la muestra, se procede a la siembra en los siguientes medios sólidos: Agar Mac Conkey, Agar XLD, Agar

Sorbitol. Además, se realizó un enriquecimiento en medio líquido de Selenito. Los medios fueron marcados con el día y el número de la orden, el nombre de la muestra (COPRO). Para la siembra: con un asa estéril se tomó muestra de materia fecal teniendo en cuenta tomar de varias partes, después se colocó el inóculo en la parte superior del medio en el siguiente orden: Agar Mac Conkey, XLD y sorbitol. Con otra asa estéril se tomó nuevamente muestra y se sumergió en el medio líquido, se movió un poco con el fin de soltar la muestra, se retiró y se botó en el recipiente de desechos. Luego con una asa estéril se hizo el aislamiento en los tres medios sólidos, como se puede observar en la Figura 9. Una vez terminada la siembra de la muestra se colocó para ser descartada al día siguiente.

**b. Interpretación de Cultivos.** Resultado positivo: cuando se visualiza sobre la superficie del agar el crecimiento de microorganismos enteropatógenos como: *Salmonella spp*, *Shigella spp*, *Providencia reigelli*, *E. coli enteropatógena*, microorganismos lactosa negativos, Microorganismos sorbitol negativo, levaduras. La cantidad de microorganismo recuperado en el cultivo se da como escaso, moderado o abundante, teniendo en cuenta hasta que cuadrante se siembra fue evidenciado dicho crecimiento (Un recuento mayor a 10.000 UFC /ml sugiere infección.). Los resultados son negativos cuando no se visualiza el crecimiento de los microorganismos entero patógeno.

Figura 9. Método de aislamiento en las cajas petri con agar



## 9. RESULTADOS Y DISCUSION

### 9.1 Diseño del piloto de los sanitarios secos.

Este diseño a escala piloto se implementó con materiales de la región en la vereda “El Espinal”, en el municipio de Malambo (Atlántico), con desviación de orina, como se puede observar en la Figura 10, 11 y 12. El diseño se realizó con el software Minitab 15.1.20.0.

**Figura 10. Vista en Planta del Ecosanitario**

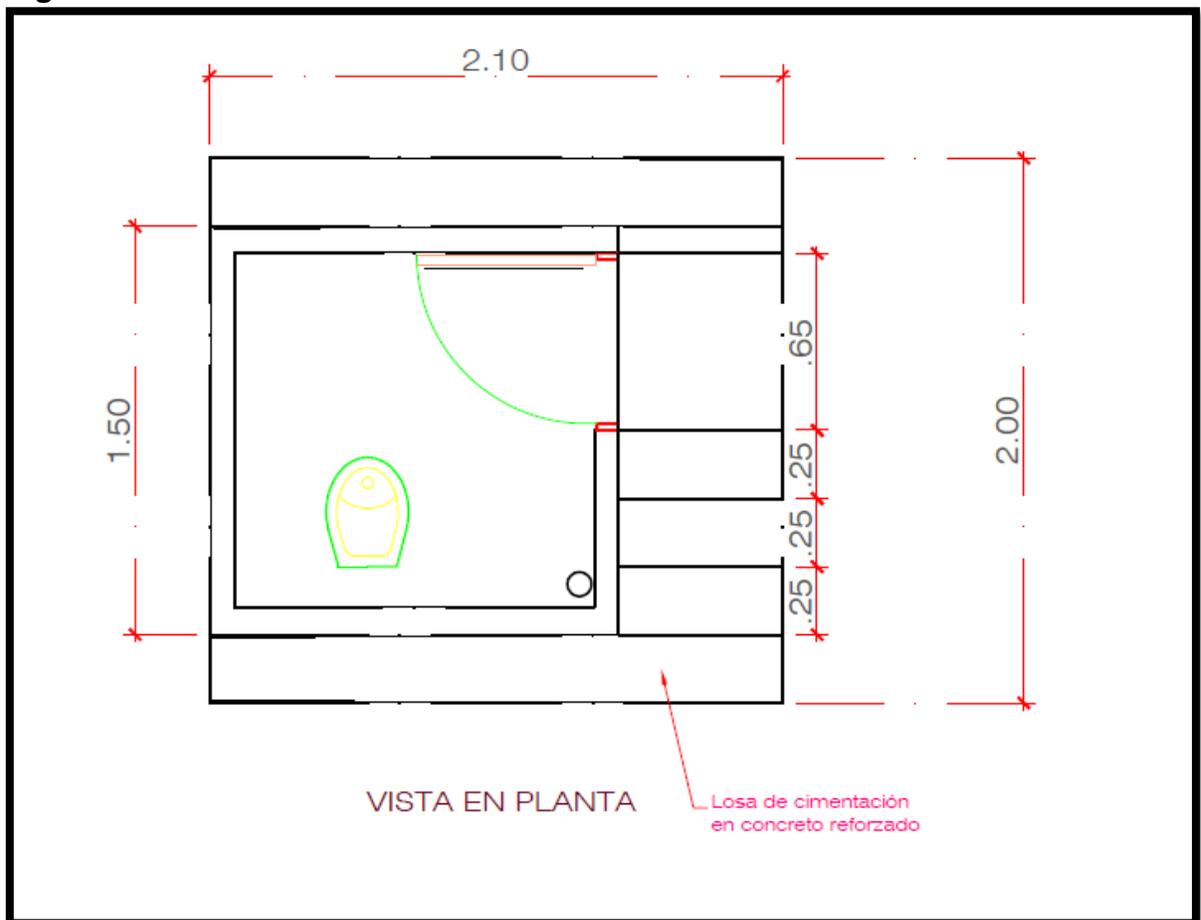
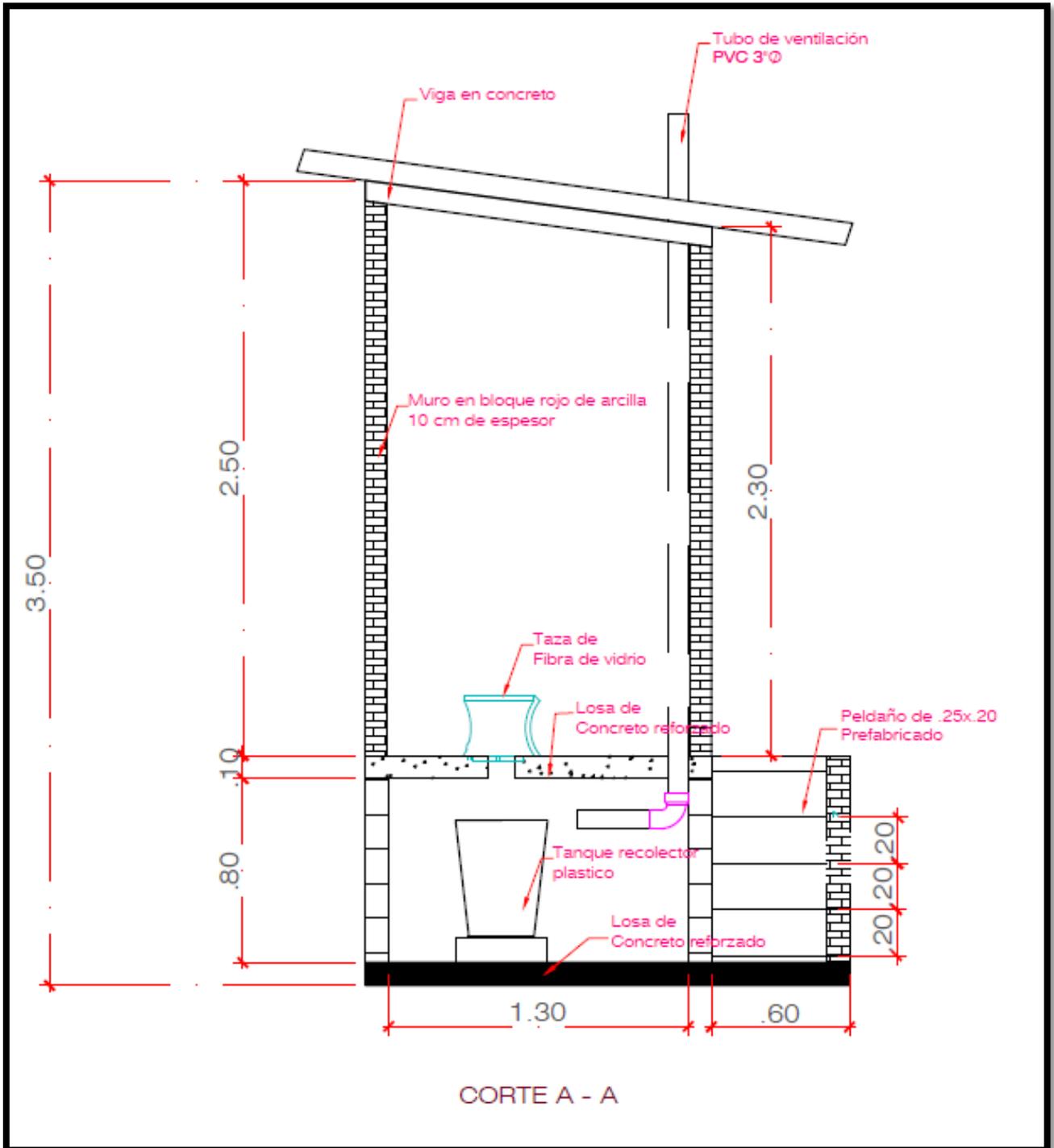
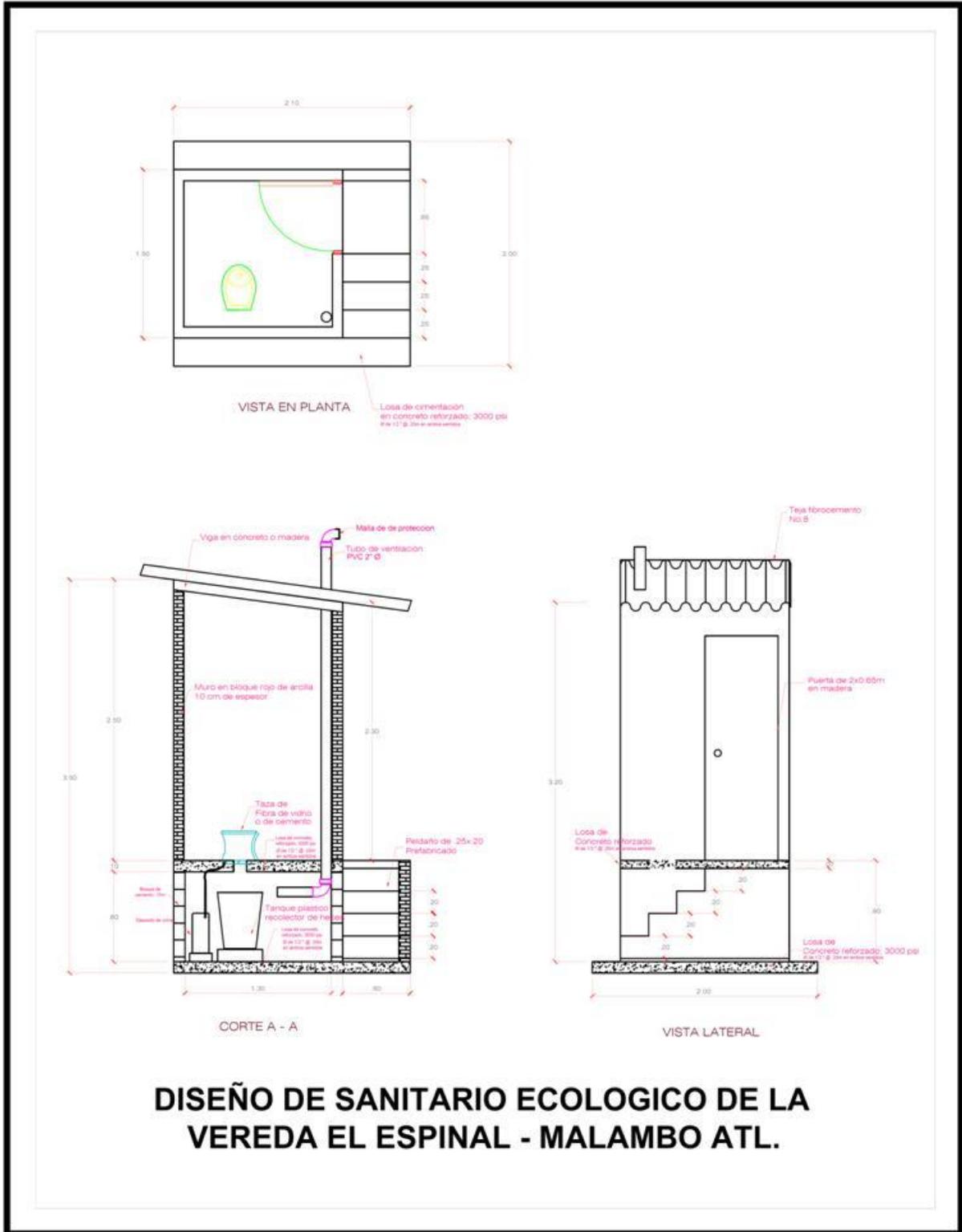


Figura 11. Vista frontal del Ecosanitario



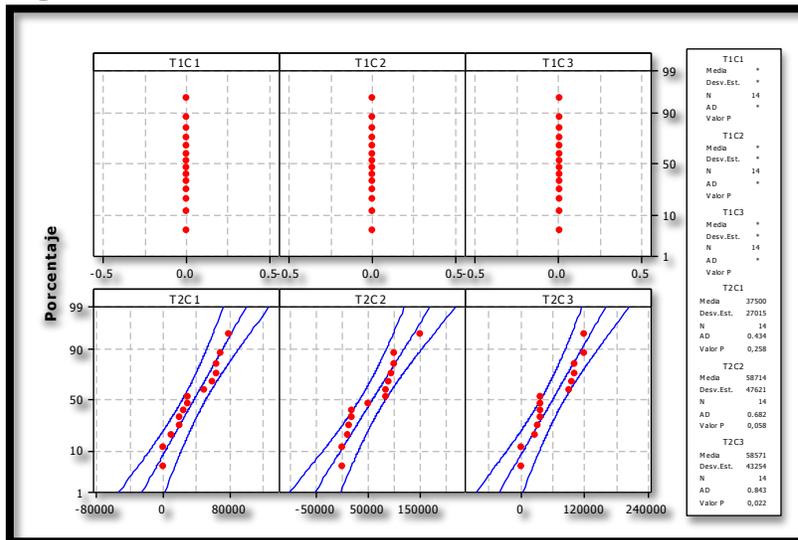
**Figura 12. Vistas del Ecosanitario**



## 9.2 Implementación de técnicas de eliminación de patógenos

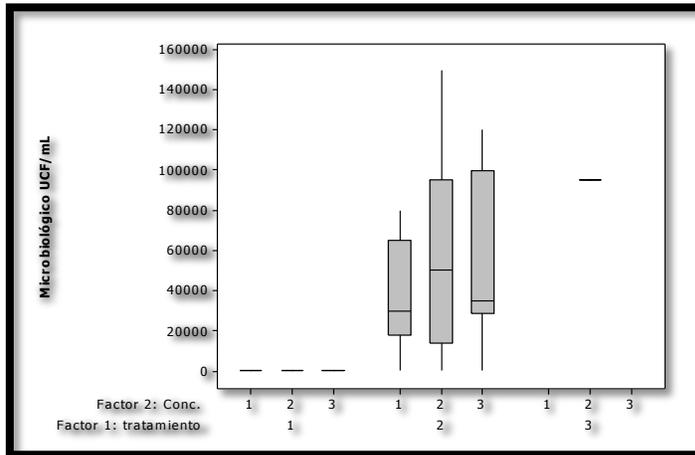
Los resultados del análisis microbiológico se realizaron a través de curva de probabilidad normal (Figura 13), para establecer si existían tendencias diferentes a la distribución normal, además se estudió la variabilidad de los datos de análisis mediante un diagrama de caja, como se ilustra en la Figura 14.

**Figura 13. Curvas de Distribución normal de los resultados microbiológicos**



En la Figura 14, se puede observar una gran variabilidad de los resultados microbiológicos, debido principalmente a que el tratamiento 1 (NaCl) tuvo un efecto letal sobre la supervivencia de los microorganismos en forma abrupta (Ver Anexo F).

**Figura 14. Variabilidad de los resultados microbiológicos**



Y en el tratamiento 2  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , aunque hubo crecimiento, la diferencia entre los valores de unidades formadoras de colonia (UFC) iniciales y los finales es muy grande y eso se refleja en la gran variabilidad de sus datos.

Con la asistencia del paquete estadístico Minitab® 15.1.20.0. Se realizó el análisis de varianza ANOVA (Ver Tabla 4) para establecer la significancia estadística de los tratamientos.

**Tabla 4. Análisis de varianza (Anova) para el análisis microbiológico**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Factor 1: tratamiento	fijo	2	1. 2.
Factor 2: Conc.	fijo	3	1. 2. 3

Análisis de varianza para A. Microbiológico, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Factor 1: tratamiento	2	57833364402	57570465625	28785232813	35,69	0,000
Factor 2: Conc.	2	1823267890	1823267890	911633945	1,13	0,328
Error	79	63708927232	63708927232	806442117		
Total	83	1,23366E+11				

S = 28397,9    R-cuad. = 48,36%    R-cuad. (ajustado) = 45,74%

A través del análisis ANOVA de los análisis microbiológicos (Tabla 5), se concluyó con un nivel de confianza del 95%, que la característica del tratamiento 1 aplicado ejerce una influencia significativa en la muerte de los microorganismos.

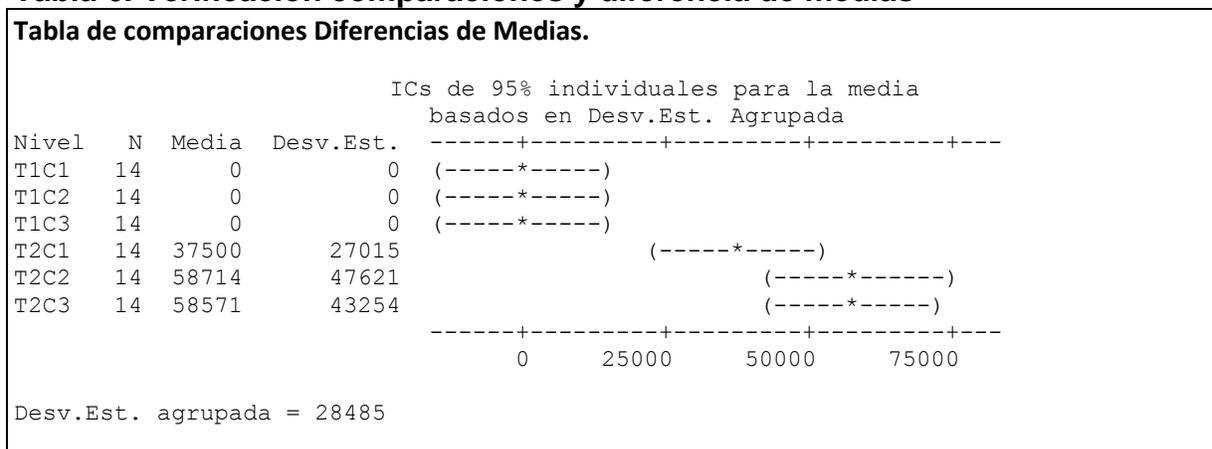
**Tabla 5. Anova de los resultados de análisis microbiológico**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	5	60075773810	12015154762	14,81	0,000
Error	78	63289785714	811407509		
Total	83	1,23366E+11			

S = 28485    R-cuad. = 48,70%    R-cuad. (ajustado) = 45,41%

No obstante, se observó que no hay evidencia suficiente para concluir que la concentración es un factor estadísticamente significativo para la supervivencia de los microorganismos, con un nivel de confianza del 95%. Además, existe suficiente evidencia estadísticamente significativa para establecer que al menos, una de las medias de los valores relacionados con los tratamientos aplicados es diferente (Tabla 6). Lo cual sugiere que al menos, uno de los tratamientos influyó una variabilidad diferente en los resultados microbiológicos (Anexo G).

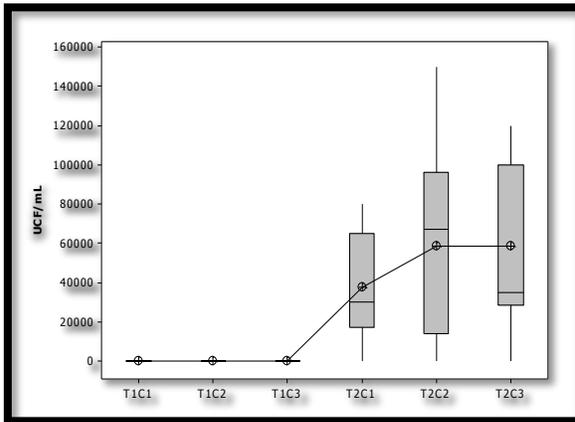
**Tabla 6. Verificación comparaciones y diferencia de medias**





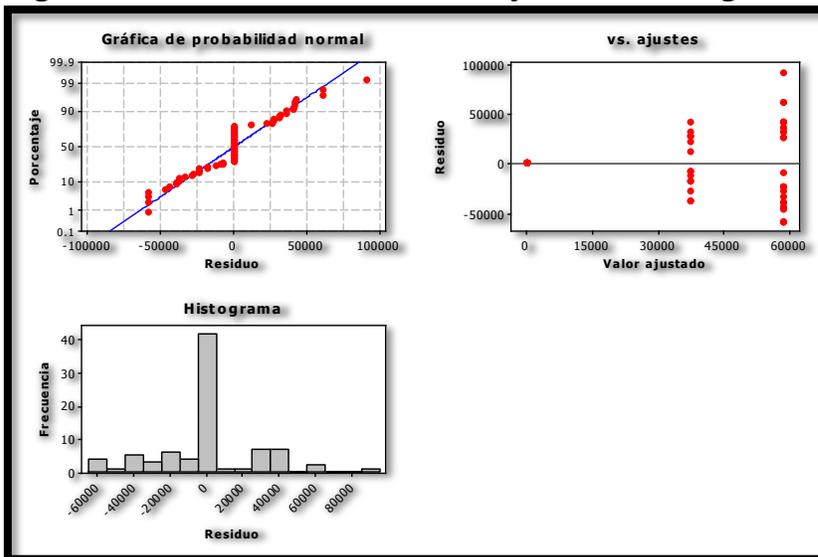


**Figura 16. Variabilidad de los resultados microbiológicos de los tratamientos**



La información descrita en la Figura 17, en el consolidado de los resultados del análisis estadístico para la producción de análisis microbiológico (Anexo G y H), confirma la evidencia establecida por los estadísticos de prueba empleados para el análisis y el tratamiento de los datos. Por otro lado, la curva de residuos para los resultados de la producción de análisis microbiológico indica el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homocedasticidad y aleatoriedad de los datos analizados.

**Figura 17. Probabilidad normal, Ajustes e Histograma**

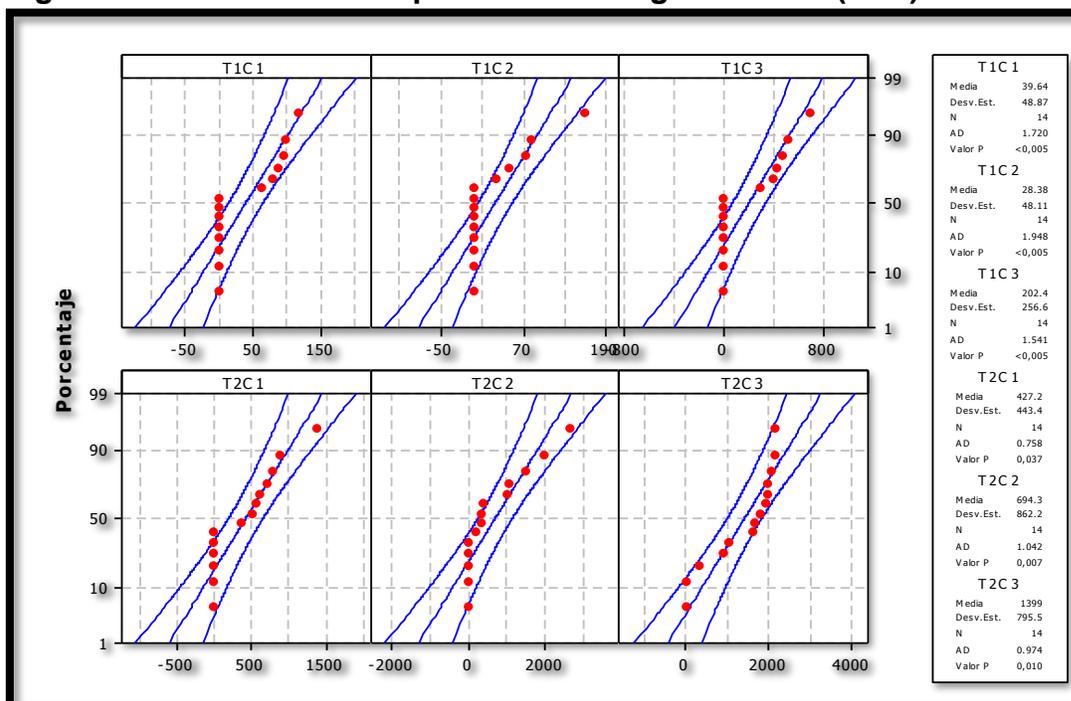


### 9.3 Caracterización de los productos obtenidos con potencial energético

En el potencial energético se tomó como referencia el gas metano como indicador, aunque se midieron también CO, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, sin embargo, estos se encontraban en solución en un recipiente alterno.

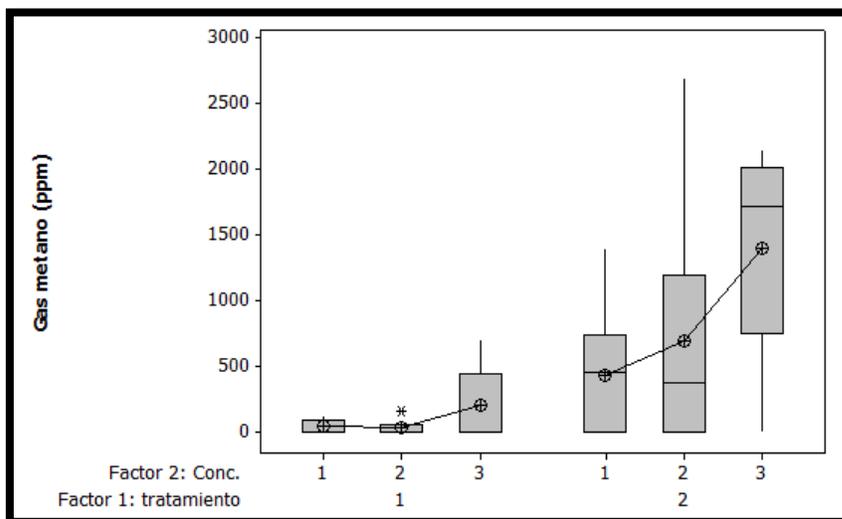
**9.3.1 Producción de Metano (CH<sub>4</sub>).** Se observó la tendencia o distribución de los datos a la normalidad, como se puede observar en la Figura 18 y Anexo I.

**Figura 18. Probabilidad de producción del gas metano (CH<sub>4</sub>).**



El comportamiento de la producción de gas metano según la figura de caja (Ver Figura 19), mostró para el caso del primer tratamiento (T1C1, T1C2, T1C3) y la variabilidad para T1C1 y T2C2 es cercana, a su vez se observa indicio de que pueden ser estadísticamente diferentes, sin embargo no es posible deducir fácilmente las diferencias entre subgrupos. Para el segundo tratamiento (T2C1, T2C2 y T2C3) se percibe mayor diferencia en la variabilidad del comportamiento de los datos, este agrupamiento pueda dar mejores resultados mediante un análisis pormenorizado mediante una prueba de comparaciones múltiples.

**Figura 19. Variabilidad de producción del gas metano (CH<sub>4</sub>) en los diferentes tratamientos.**

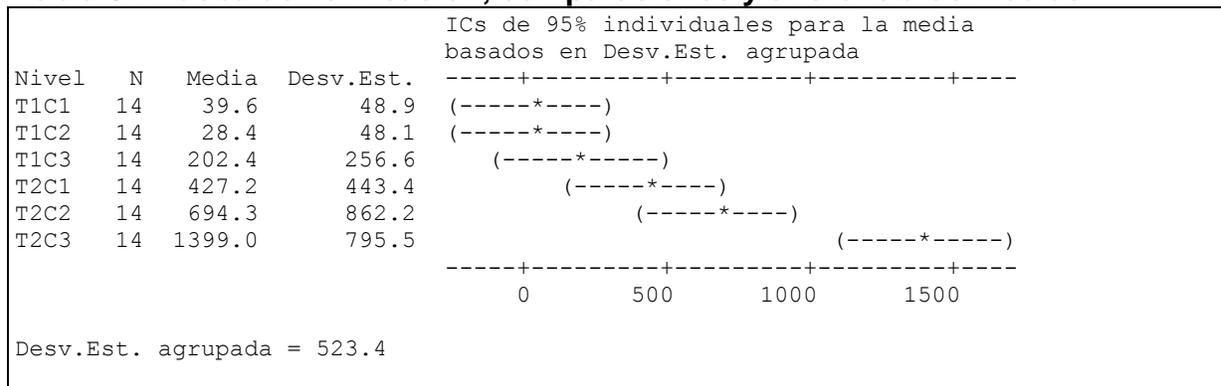


Mediante un análisis de varianza ANOVA (Anexo J) (software Minitab® 15.1.20.0.), se determinó que si existía significancia estadística en los tratamientos y concentraciones empleadas en la producción de gas metano, además se realizó la

prueba de diferencia de medias y varianza entre los tratamientos y se empleó una prueba de comparaciones entre medias de los tratamientos para establecer cual o cuales de estos presentaba mejor comportamiento en la variable de análisis. Los resultados sugieren los factores de tratamiento y de la concentración ejercen una influencia estadísticamente significativa en producción de gas metano.

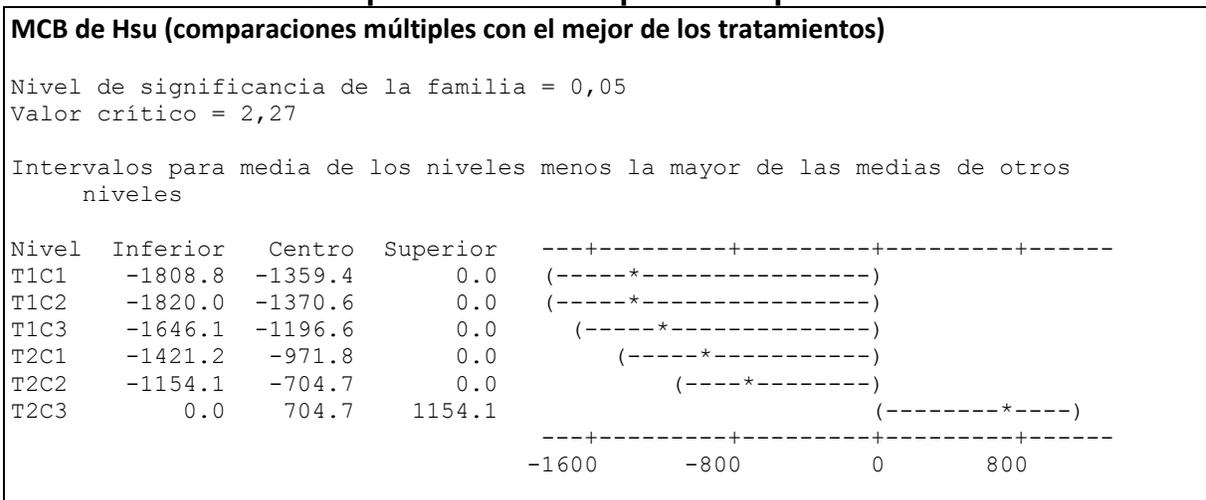
Se observó con un nivel de confianza del 95%, que existe suficiente evidencia significativa para establecer que al menos, una de las medias de los valores relacionados con las pruebas aplicadas es diferente (Ver Tabla 8 y Anexo K).

**Tabla 8. Prueba de verificación, comparaciones y diferencia de medias**



Se examinaron los datos mediante la técnica de las comparaciones múltiples (Tukey), y comparaciones MCB de Hsu. En este caso, la comparación contra el mejor tratamiento aplicado, era aquel que causara con mayor grado, una producción de gas metano (Ver Tabla 9).

**Tabla 9. Prueba de comparaciones múltiples en la producción de metano**



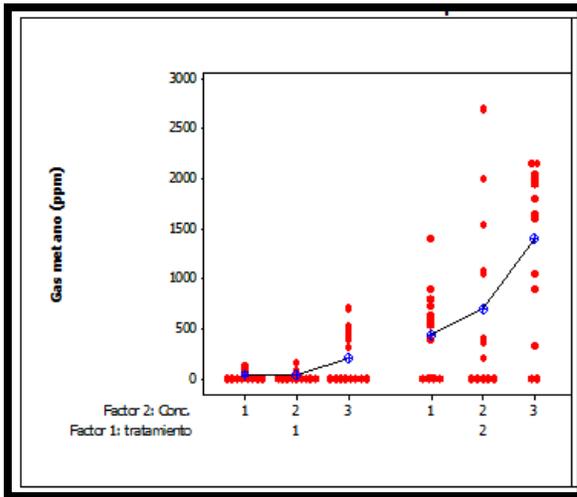
En esta prueba, se comparó los tratamientos (NaCl (1:1); NaCl (0.75:1); NaCl (0.25); NaHCO<sub>3</sub> (1:1); NaHCO<sub>3</sub> (0.75:1) con la media del tratamiento Ca(OH)<sub>2</sub> (0.25:1); la del mejor tratamiento según el criterio de la media más grande, equivalente a la mayor producción de metano (Ver Figuras 20, 21, 22) . La evidencia mostró que NaHCO<sub>3</sub> (0.25:1) es el mejor tratamiento según el criterio de media más grande para la producción de metano, debido a que los intervalos de confianza correspondientes se encuentran dentro de la significancia estadística y aceptación para esta prueba. Pero a su vez, este tratamiento no es ventajoso desde el punto de vista microbiológico para la inocuidad del producto. Este resultado sugiere que a menor concentración del reactivo químico mayor producción de gas metano.

La producción de metano en promedio fue de 441.3 mg/L (ppm), lo que equivale a:

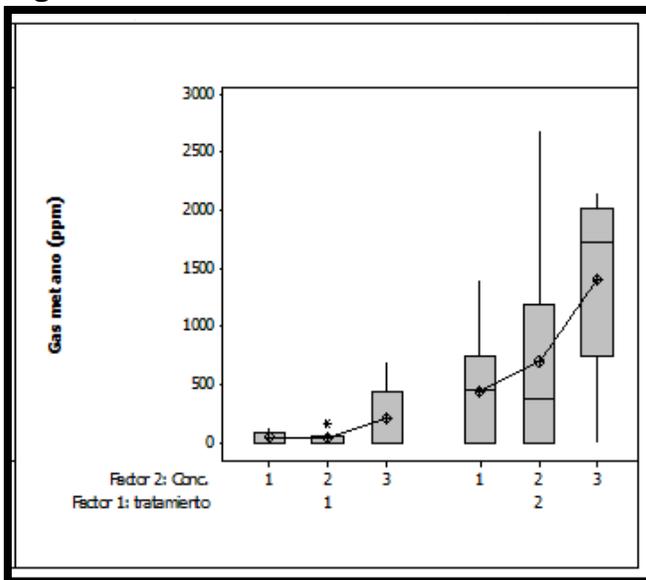
- 4.413x10<sup>-4</sup> g/mL presente en 100 g de muestra.
- 200 g de muestra de heces produjo 0.4532 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>.

- La producción percapita de heces de la población es entre 150 - 250 g en promedio.
- El consumo de una casa estrato 5 es de 48 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/mes.
- Si se multiplica la producción promedio percapita de heces por 350 personas (población de la Vereda “El Espinal” en Malambo – Atlántico.
- Se tiene una producción de 4758.6 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> / mes.
- Si se divide por el consumo de energía de gas / casa, se obtiene energía equivalente al suministro para 99.1 casas de gas propano (CH<sub>4</sub>) al mes:
  - **4758.6 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> / 48 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> = 99.1 casas**
- Estos resultados sugieren que la producción de biomasa a partir de las heces, en la vereda “El Espinal”, alcanza para auto-abastecerse energéticamente a partir de la producción de gas metano con los residuos sólidos, con costos significativamente muy bajos en relación al sistema convencional de gas propano. Además, con una tecnología fácilmente adaptable a los sectores rurales y urbanos de nuestro país.
- La implementación de un sistema similar a los resultados obtenidos, influiría significativamente en la reducción de los vectores de contaminación generada por la disposición inadecuada de residuos sólidos, los cuales se encuentran a cielo abierto, en la mayoría de los casos, y por ende, también tendría un impacto sobre las causas de morbi mortalidad de la población más vulnerable.

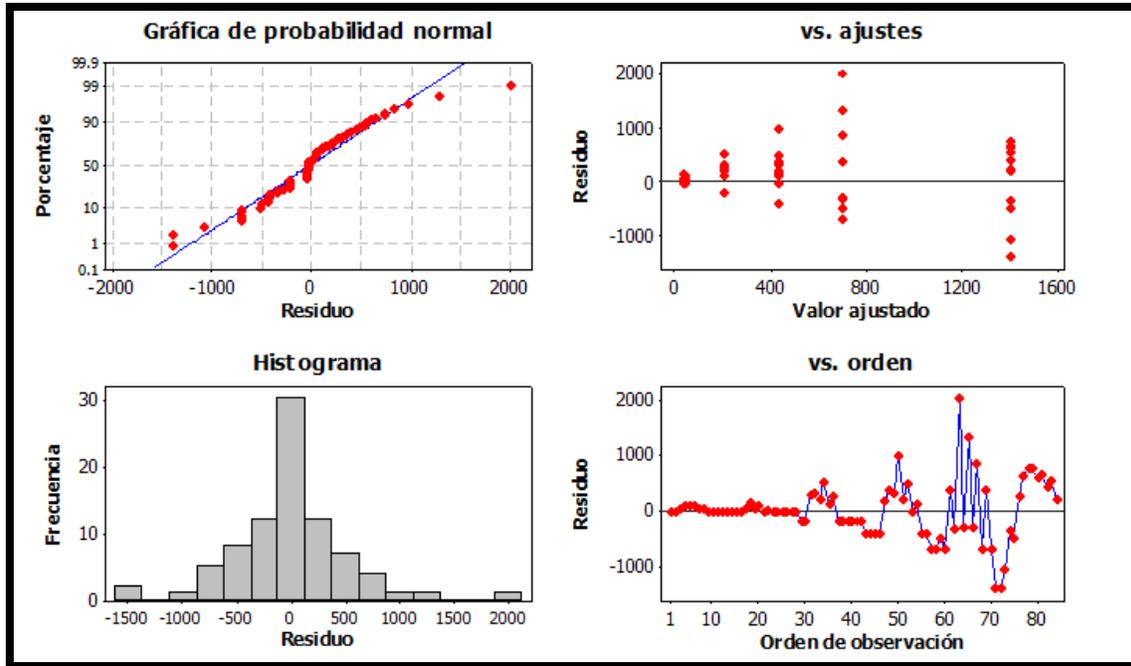
**Figura 20. Efecto de los tratamientos en la producción de gas metano**



**Figura 21. Variabilidad de los resultados de la producción de gas metano**



**Figura 22. Residuos para gas metano (Probabilidad normal, Ajustes, Histograma y Orden).**



La Figura 23, de valores individuales de producción de gas metano en (ppm) para cada tratamiento, describe el resultado del ANOVA en cuanto a la diferencia de medias encontrada en cuanto a tratamientos, concentraciones y su significancia estadística. Por otro lado, la figura de residuos para los resultados de la producción de gas metano indica el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homocedasticidad y aleatoriedad de los datos analizados.

**9.3.2 Determinación de otros gases generados.** Se determinaron gases como CO, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Aunque estos gases convencionalmente no tienen valor energético. Los resultados obtenidos a través de la

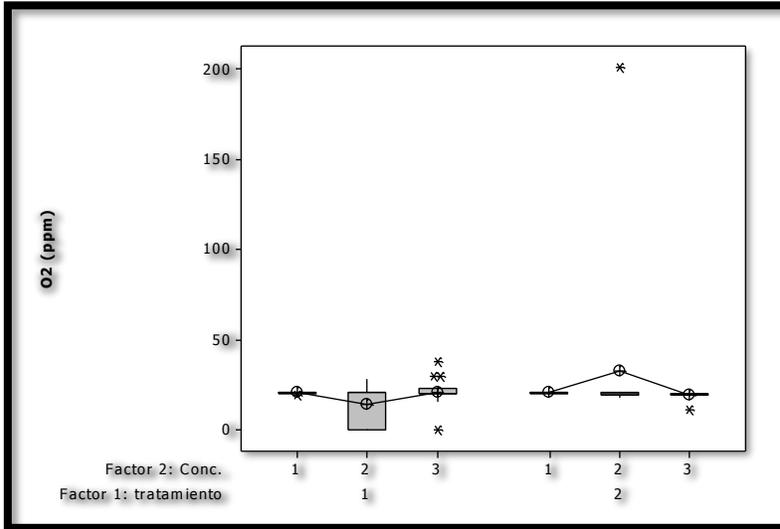
metodología utilizada, no fueron los mejores por que estos se encontraban en solución diluida y en muy pocas cantidades en la atmosfera de las muestras (Espacio de cabeza).

**a. Determinación del Contenido de oxígeno.** El contenido de oxigeno disuelto en la atmosfera fue de 7.5 mg/L en promedio. No hubo diferencia significativa entre los días estudiados para este parámetro, como se puede observar en la Tabla 10 y Anexo M). Los resultados de temperaturas están correlacionados con el contenido de oxigeno disuelto en la atmósfera, es decir, que en promedio este oxigeno corresponde a 34.3°C, según Bain y Stevenson (1999).

**Tabla 10. Variables aplicadas con estadística descriptiva.**

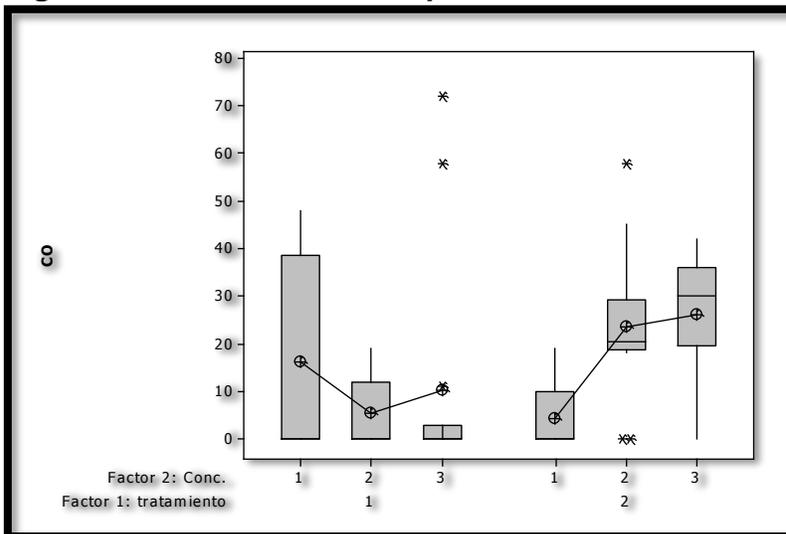
Variable	N	N*	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1
O2	84	0	21.28	2.26	20.75	430.55	0.00	19.65
Mediana			20.20					
Variable	Q3	Máximo	Rango	IQR	Sesgo			
O2	20.88	201.00	201.00	1.22	7.95			

**Figura 23. Resultados de la medición de O<sub>2</sub>**



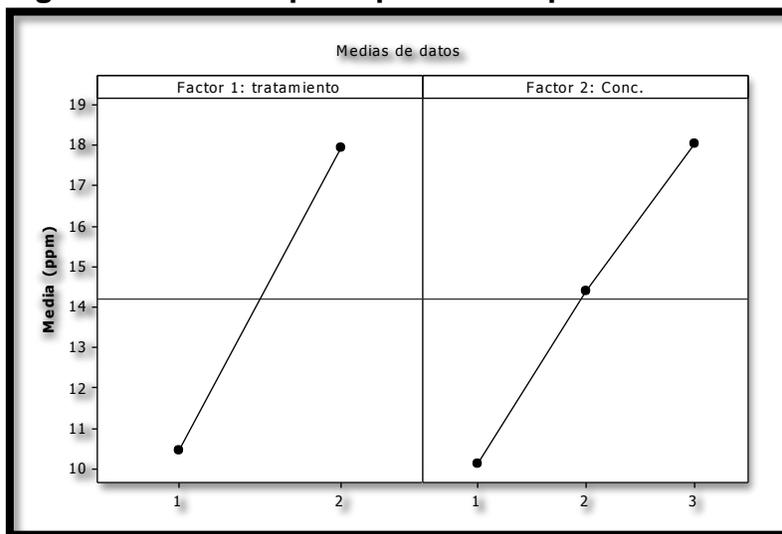
b. **Contenido de CO (Monóxido de carbono).** El contenido de CO en la atmósfera de la muestra fue de 14.2 mg/L en promedio. Hubo diferencia significativa entre los días estudiados para este parámetro, como se observa en el Anexo L.

**Figura 24. Resultados de la producción de CO**

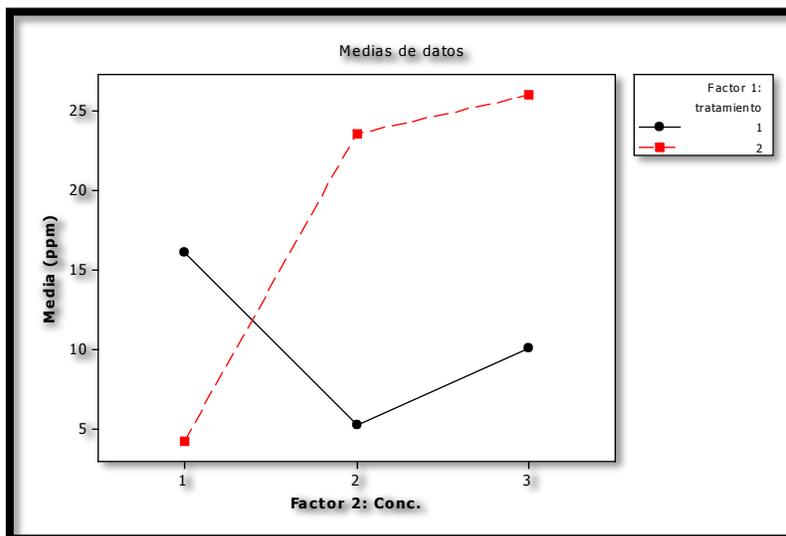


El monóxido de carbono es soluble en agua y se debió haber medido en solución a través de la técnica instrumental de yodometría, en la trampa de gases del experimento, por eso hay diferencias significativas entre los resultados de las muestras (Ver Figura 24 y Anexo L).

**Figura 25. Efectos principales en la producción de CO**



**Figura 26. Interacción y/o efectos en la producción de CO**



c. **Contenido de CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono).** El contenido de CO<sub>2</sub> del experimento fue cero (0), debido a que este es un gas muy soluble en agua, donde estaba la trampa de gases del experimento, y por lo tanto, no logró ser detectado por el medidor de gases como se puede observar en la Tabla 11.

**Tabla 11. Contenido de CO<sub>2</sub> en la muestra**

Tratamientos	CO <sub>2</sub>	DIAS						
		0	3	6	9	12	15	18
T1C1	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T1C1	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T1C2	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T1C2	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T1C3	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T1C3	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T2C1	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T2C1	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T2C2	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T2C2	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T2C3	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T2C3	ppm	0	0	0	0	0	0	0
<b>Promedio</b>		<b>0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

d. **Contenido de H<sub>2</sub>S (ácido Sulphídrico).** El contenido de H<sub>2</sub>S del experimento fue muy bajo, debido a que este es un gas soluble en agua, donde estaba la trampa de gases del experimento, y por lo tanto, no logró ser detectado con exactitud por el medidor de gases como se puede observar en la Tabla 12. Lo que no permite hacer inferencias estadísticas con los resultados.

**Tabla 12. Contenido de H<sub>2</sub>S en las muestras**

Tratamientos	Muestras	DIAS						
		0	3	6	9	12	15	18
T1C1	H2S	0	0	0	0	0	0	0
T1C1	H2S	0	0	0	0	0	0	3
T1C2	H2S	0	0	0	0	0	0	0
T1C2	H2S	0	0	0	0	0	0	0
T1C3	H2S	0	0	0	0	0	0	0
T1C3	H2S	0	0	0	0	0	0	0
T2C1	H2S	0	0	0	0	0	0	0
T2C1	H2S	0	0	0	2	0	0	0
T2C2	H2S	0	0	0	0	0	0	0
T2C2	H2S	0	0	0	2	2	2	2
T2C3	H2S	0	4,5	3,2	3	3	2	2
T2C3	H2S	0,00	4,00	3	2	2	2	2
Promedios		0,0	0,7	0,5	0,8	0,6	0,5	0,8

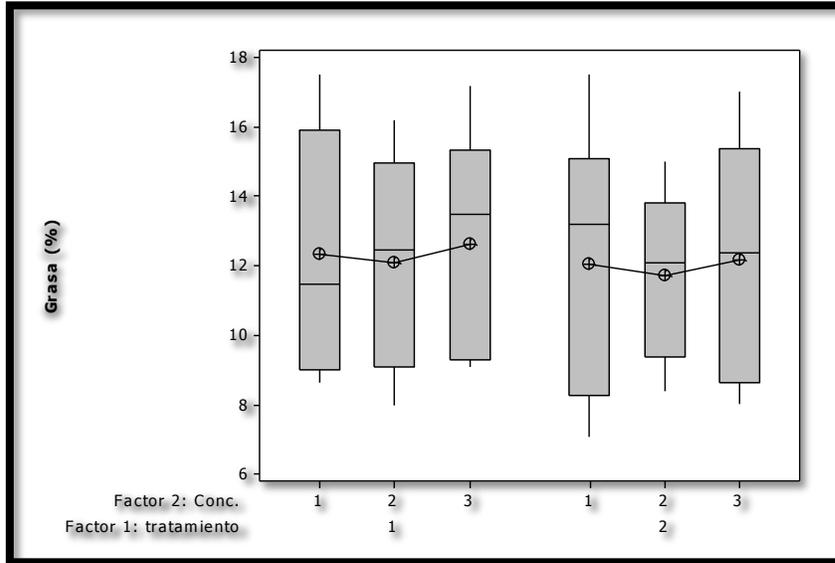
## 9.4 Pruebas Fisicoquímicas

**9.4.1 Determinación del contenido de grasa.** El contenido de grasas en el experimento en promedio fue de 12.2. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos, como se puede observar en la Figura 27. Este parámetro se mantiene una evolución sin diferencias significativas a lo largo del experimento (Ver Tabla 13; Anexo N).

**Tabla 13. Datos descriptivos: grasa.**

				Media del				
				Error				
Variable	N	N*	Media	estándar	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1
Grasa	84	0	12.152	0.339	3.109	9.668	7.060	9.102
Variable	Mediana	Q3	Máximo	Rango	IQR	Sesgo		
Grasa	12.600	14.975	17.500	10.440	5.873	0.09		

**Figura 27. Resultados de grasa presente en las muestras**



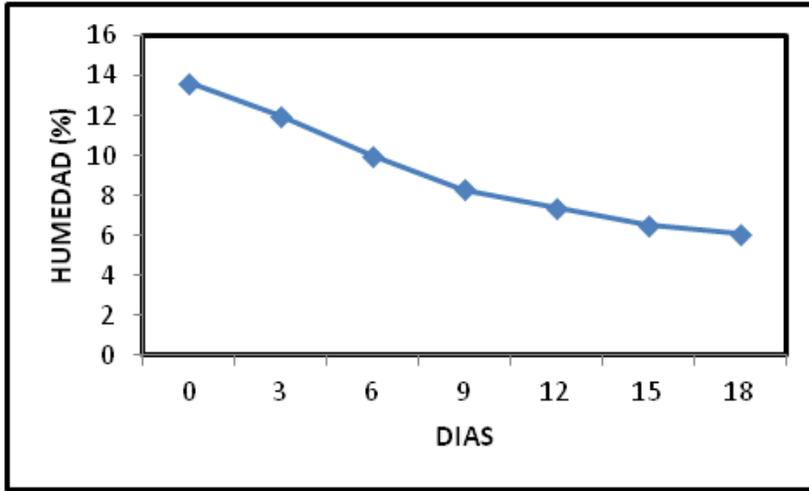
**Tabla 14. Anova de los resultados de grasa.**

ANOVA de dos factores: Grasa					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor 1: tratamiento	1	2.998	2.9983	0.29	0.589
Factor 2: Conc.	2	3.628	1.8141	0.18	0.837
Interacción	2	0.063	0.0313	0.00	0.997
Error	78	795.732	10.2017		
Total	83	802.422			

S = 3.194    R-cuad. = 0.83%    R-cuad.(ajustado) = 0.00%

**9.4.2. Determinación del contenido de la humedad en la muestras.** El contenido de humedad en el experimento en promedio fue de 9.1. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos, como se puede observar en la Figura 28 y 29, Ver Tabla 15 y Anexo O.

**Figura 28. Evolución de la humedad en el experimento**



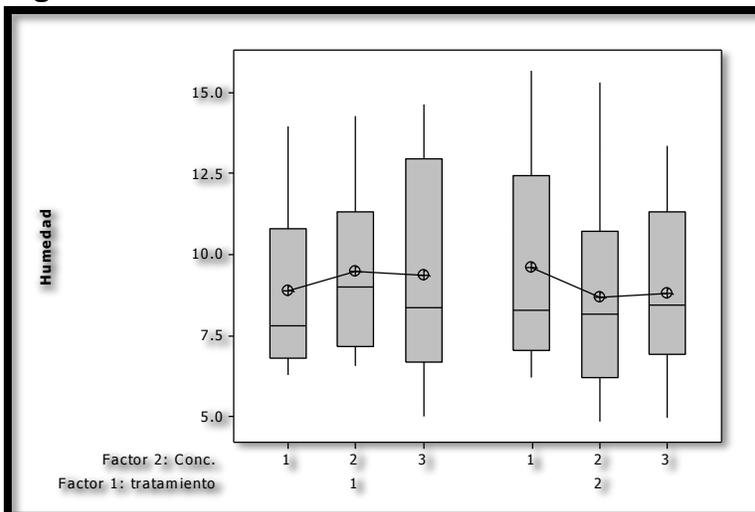
**Tabla 15. Datos descriptivos: humedad**

Variable	N	N*	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Humedad	84	0	9.138	0.304	2.791	7.787	4.850	6.940	8.300

Variable	Q3	Máximo	Rango	IQR	Sesgo
Humedad	11.275	15.670	10.820	4.335	0.63

**Figura 29. Resultados de humedad en las muestras.**



**Tabla 16. Anova de dos Factores: Humedad**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor 1: tratamiento	1	0.883	0.88253	0.11	0.743
Factor 2: Conc.	2	0.489	0.24431	0.03	0.970
Interacción	2	9.253	4.62639	0.57	0.569
Error	78	635.704	8.15005		
Total	83	646.328			

S = 2.855    R-cuad. = 1.64%    R-cuad. (ajustado) = 0.00%

**9.4.3 Determinación del contenido de proteína en las muestras.** El contenido de proteína en el experimento en promedio fue de 2.6. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos, como se puede observar en la Figura 30 y Anexo P, (Ver Tabla 17 y 18).

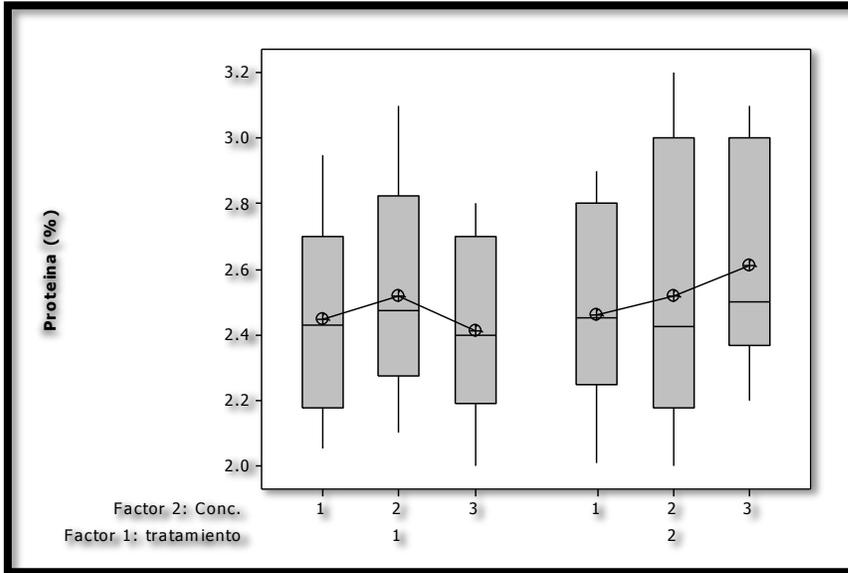
**Tabla 17. Estadística Descriptiva: Proteína**

Variable	N	N*	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1
Proteína	84	0	2.4940	0.0340	0.3117	0.0971	2.0000	2.2625

Variable	Mediana	Q3	Máximo	Rango	IQR	Sesgo
Proteína	2.4500	2.7000	3.2000	1.2000	0.4375	0.39

**Figura 30. Variabilidad del contenido de proteína en el experimento**



**Tabla 18. Anova de dos factores: proteína.**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor 1: tratamiento	1	0.10430	0.104305	1.05	0.308
Factor 2: Conc.	2	0.07329	0.036644	0.37	0.692
Interacción	2	0.17077	0.085387	0.86	0.426
Error	78	7.71426	0.098901		
Total	83	8.06262			

S = 0.3145    R-cuad. = 4.32%    R-cuad. (ajustado) = 0.00%

**9.4.4 Contenido de Cenizas en las muestras.** El contenido de cenizas en el experimento en promedio fue de 6.0. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos, como se puede observar en la Tabla 23 y el Anexo Q.

**Tabla 19. Contenido de cenizas en las muestras**

Tratamientos	Parámetro	DIAS						
		0	3	6	9	12	15	18
T1C1	CENIZAS	2,5	2,9	3,5	4,1	4,75	4,8	4,9
T1C1	CENIZAS	2,6	3,1	3,4	4,5	4,8	5,2	5,3
T1C2	CENIZAS	2,8	3,2	3,5	4,2	4,75	4,8	4,8
T1C2	CENIZAS	2,7	3,3	3,7	4,7	4,8	5,2	5
T1C3	CENIZAS	2,7	2,8	3,9	3,9	4,75	4,8	4,9
T1C3	CENIZAS	2,4	2,9	3,2	3,9	4,8	5,2	4,5
T2C1	CENIZAS	2,1	2,7	3,5	4	4,75	4,8	4,7
T2C1	CENIZAS	2,6	2,7	3,6	4,5	4,8	5,2	4,9
T2C2	CENIZAS	2,5	3,1	3,8	4,1	4,75	4,8	5,1
T2C2	CENIZAS	2,9	3,5	3,9	4,5	4,8	5,2	4,8
T2C3	CENIZAS	2,8	3,4	3,9	4,9	4,75	4,8	5,1
T2C3	CENIZAS	2,8	3	3,5	4,8	4,8	5,2	5,2
Promedio		4,8	5,0	4,9	4,3	4,8	5,0	4,9

### 9.5 Determinación de la temperatura.

La temperatura fue de 34.3°C en promedio. No hubo diferencia significativa entre los días estudiados para este parámetro, como se puede observar en la Tabla 19 y Figura 31. Los resultados de temperaturas están correlacionados con el contenido de oxígeno disuelto en la atmósfera (Bain y Stevenson 1999), (ver Tabla 20 y Anexo T).

**Tabla 19. Resultados de la temperatura en el experimento**

Relacion O2 y °T	Valores promedios						
mg O2 Disuelto	7,42	7,55	7,26	7,5	7,5	7,8	7,82521
Temperatura promedios	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8

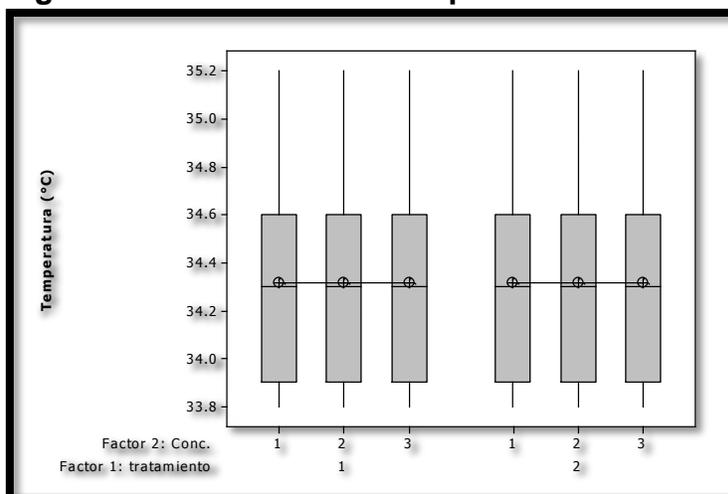
**Tabla 20. Análisis descriptivo: Temperatura.**

Variable	N	N*	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1
Temperatura	84	0	34.314	0.0492	0.451	0.204	33.800	33.900

Variable	Mediana	Q3	Máximo	Rango	IQR	Sesgo
Temperatura	34.300	34.600	35.200	1.400	0.700	0.77

**Figura 31. Resultados de temperatura**

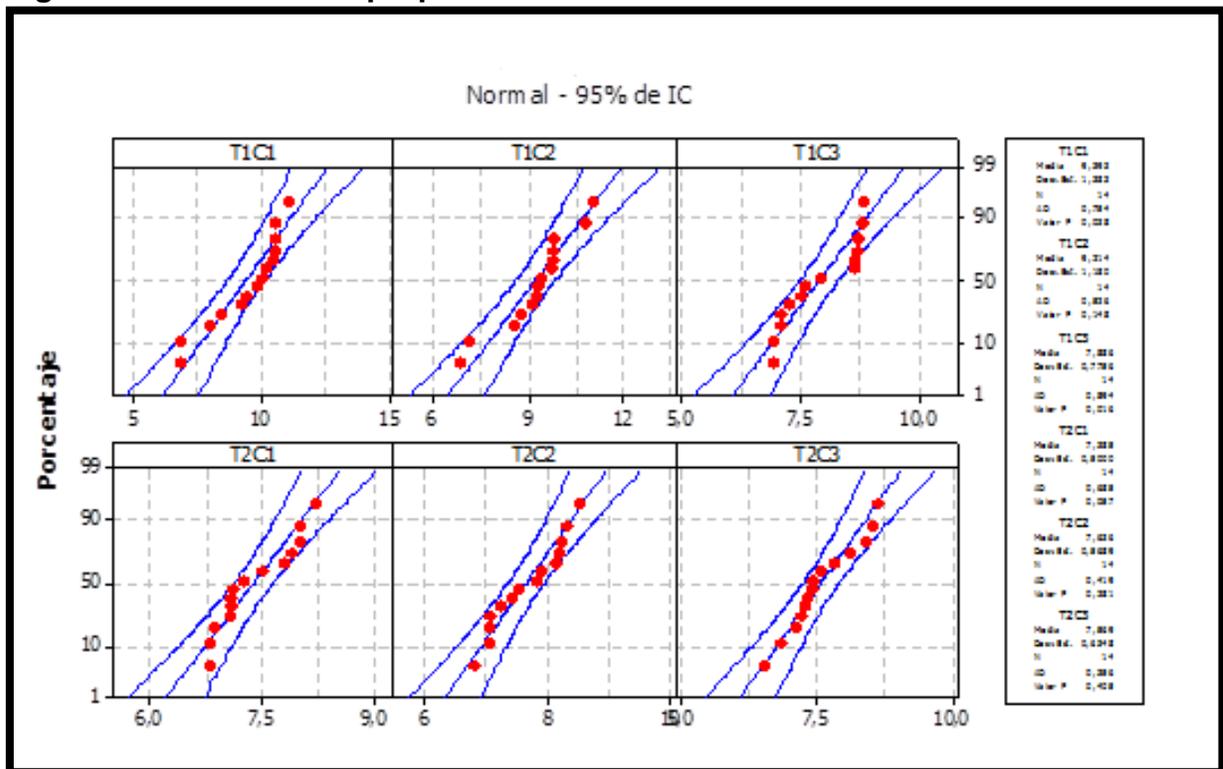


## 9.6 Comportamiento del pH.

Se analizaron los datos a través de una gráfica de probabilidad normal para establecer si existen tendencias diferentes a la distribución normal de los resultados, además se estudió de manera descriptiva la variabilidad del pH mediante un

diagrama de caja, como se puede ver en la Figura 32, que muestra el comportamiento de los datos de pH para la mayoría de los casos, tienden a tener una distribución normal (Ver Tabla 21 y Anexo R y S).

**Figura 32. Probabilidad pH para los tratamientos**

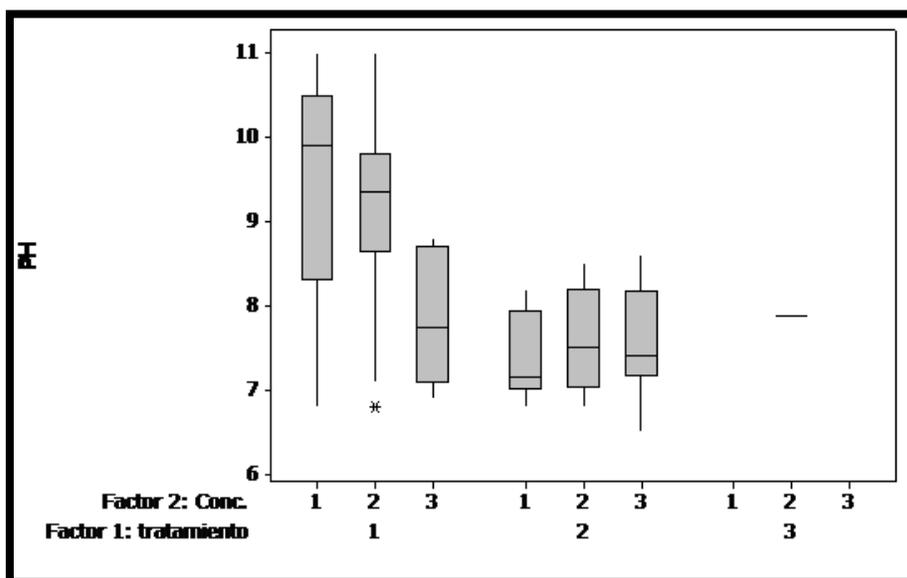


La Figura 33, presenta el diagrama de caja, el cual permite dar una descripción del comportamiento de los datos. Se puede observar la variabilidad y las diferencias entre tratamientos aplicados, existe una diferencia entre tratamiento: (NaCl, concentración (1:1) y NaCl, concentración 0.75/1); donde, NaCl Concentración 0.25/1; se comportó diferente al subgrupo del tratamiento NaCl aplicado. Por otro lado, observamos que la variabilidad en el subgrupo del segundo tratamiento es

menor debido a que los rangos de la variable se encuentran cercanos entre sí. Un análisis de varianza ANOVA, determinó la significancia estadística de los tratamientos y concentraciones empleadas.

Con la asistencia del paquete estadístico Minitab® 15.1.20.0. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), para la prueba de diferencia de medias y varianza entre los tratamientos. Además, se empleó una prueba de comparaciones múltiples (Ver Anexo S), para establecer cuál de estos presentaba mejor comportamiento en la variable de análisis. con un nivel de confianza del 95% del análisis ANOVA para pH, se encontró que los tratamientos aplicados y las concentraciones empleadas son estadísticamente significativos, además la evidencia mostró que para el análisis de medias, al menos uno de los tratamientos de los valores del pH son diferentes (Ver Tabla 22).

**Figura 33. Variabilidad de los resultados de los tratamientos con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{NaCl}$ .**

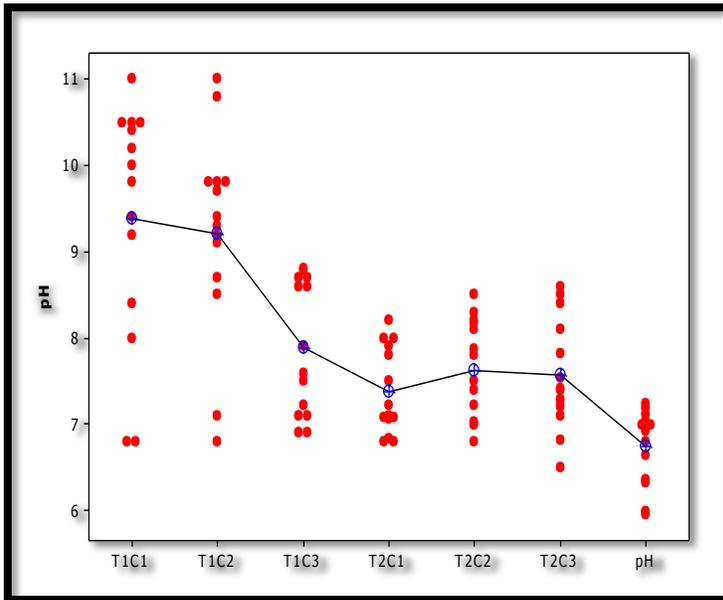




colocará por encima de los demás tratamientos en 0,926 y 0,569; para el caso del T1C1 y T1C2, respectivamente.

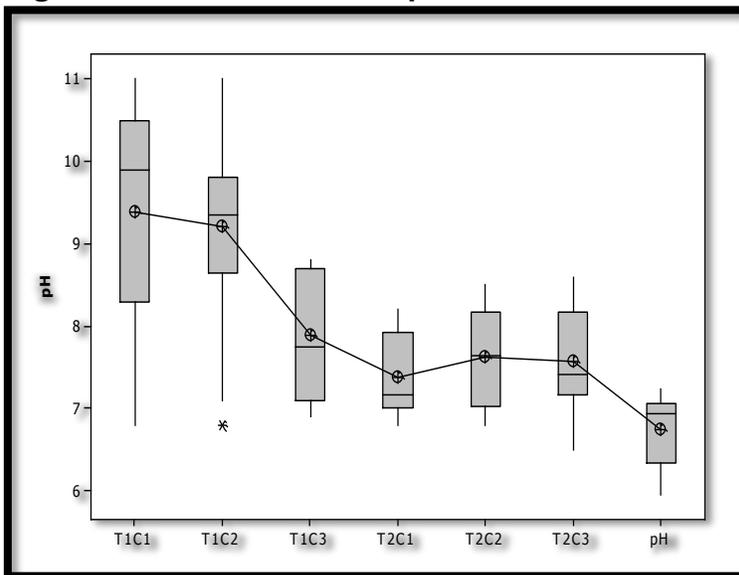
Para corroborar asociaciones entre los tratamientos en cuanto a los valores de medias y desviación estándar en un intervalo del 95% de confianza para los valores del pH, se realizó la prueba de comparaciones múltiples (Tukey) (Ver Apéndice 19). El resultado arrojó las siguientes observaciones: los tratamientos son iguales con respecto al tratamiento con NaCl, concentración (1:1) (T1C1); exceptuando el tratamiento NaCl, concentración 0.75/1) (T1C2); de igual forma, no existe suficiente evidencia estadística para concluir que no existe diferencia entre las otras medias de los tratamientos. Analizando el tratamiento  $\text{Ca(OH)}_2$ , concentración 1/0.75 (T2C2) respecto a las medias de los tratamientos T2C3 y la de los valores de pH sin tratamiento, la evidencia indicó que T2C2 y T2C3 no son estadísticamente diferentes (son iguales). Finalmente, la prueba de Tukey arrojó que para T2C3 y el pH (sin tratamiento) no existe diferencia significativa en las medias de estos tratamientos, como se puede observar en la Figura 34.

**Figura 34. Comportamiento del pH en los diferentes tratamientos**



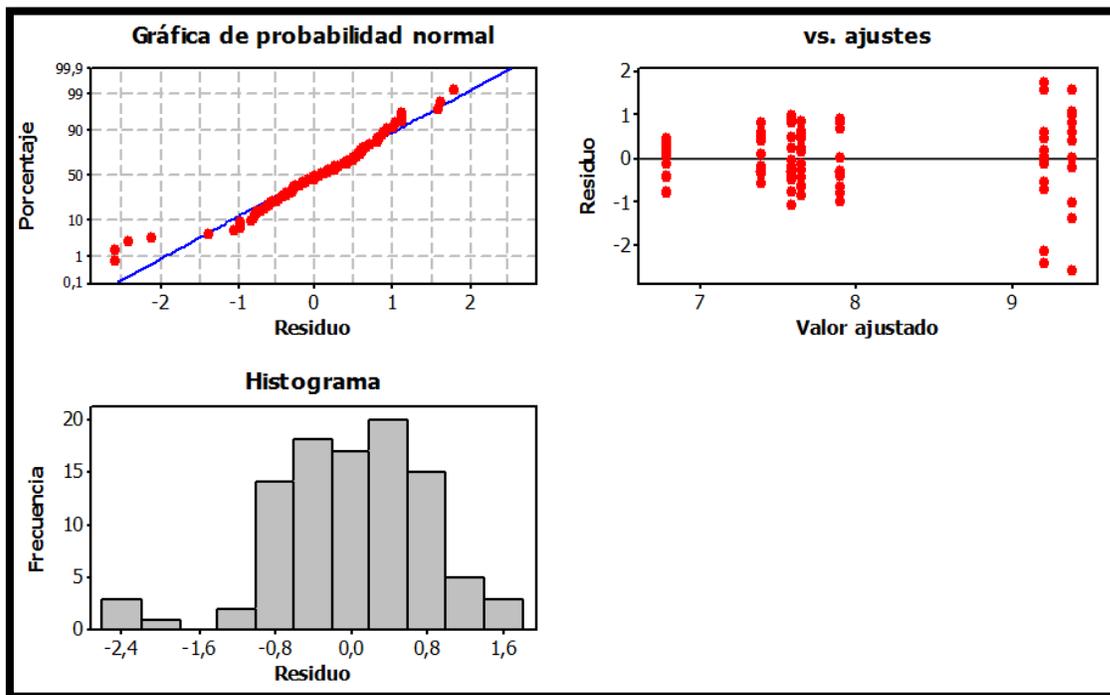
Los datos reportados de pH presentaron una gran variabilidad, probablemente debido a la diferencia entre los pH iniciales y finales son amplios, como se puede ver en la Figura 35.

**Figura 35. Variabilidad del pH en los diferentes tratamientos.**



La Figura 36, confirma la evidencia establecida por los estadísticos de las diferentes pruebas empleadas para el análisis y el tratamiento de los datos. Tanto la gráfica de valores individuales de pH para cada tratamiento, como la gráfica de caja de éstos, describe gráficamente el resultado del ANOVA en cuanto a la diferencia de medias encontrada. La gráfica de residuos para pH indica el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homocedasticidad y aleatoriedad de los datos analizados (Apéndice 20).

**Figura 36. Comportamiento de curva normal de los resultados de pH obtenidos.**



## 9.7 Análisis de correlación entre variables para el primer tratamiento

Mediante la prueba de correlaciones momento producto de Pearson, se verificó la existencia o no, de relaciones de interés para el tratamiento seleccionado como el de mejor rendimiento para NaCl (0.25/1) (tratamiento I), las variables analizadas fueron las siguientes: Concentración del tratamiento, pH, análisis microbiológico y producción de gas metano. A través de estadísticos probatorios y mediante el uso de criterios estadísticos (e.g., coeficientes de correlación de Pearson de relación lineal entre las variables de análisis, valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas), se encontraron correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. La evidencia arrojó resultados referentes a las correlaciones entre las variables estadísticamente significativas (Ver Tabla 24 y Figura 37):

- Se encontró suficiente evidencia para concluir estadísticamente que la concentración del primer tratamiento y la variable asociada al pH están correlacionadas.
- Se encontró suficiente evidencia para concluir estadísticamente que la concentración del primer tratamiento y la producción de gas metano están correlacionadas.

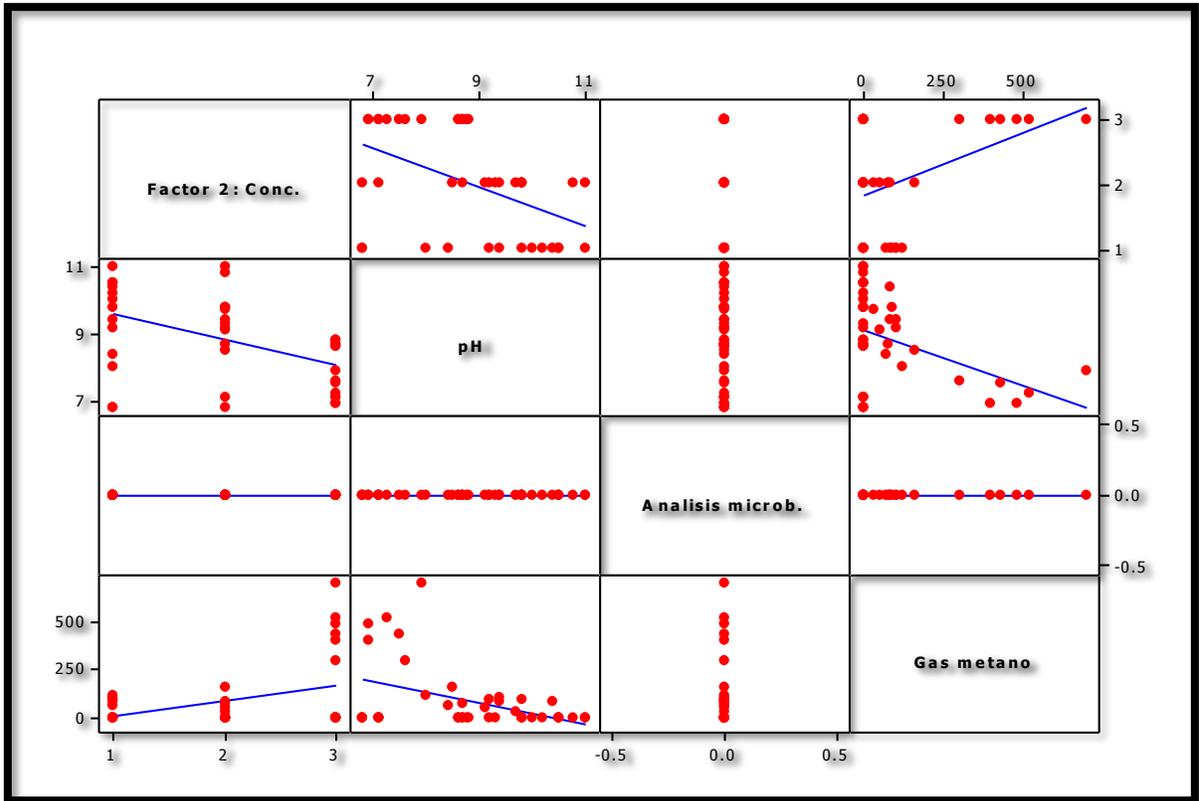
- Se encontró suficiente evidencia para concluir estadísticamente que existe correlación entre el pH y análisis microbiológico.
- Finalmente, la evidencia estadística arrojó un resultado concluyente con respecto a que la variable pH y la producción de Gas metano están correlacionadas.

En el procedimiento también se incluyó una gráfica multivariada, que proporcionó la descripción visual de las relaciones existentes y vistas interesantes entre variables de análisis.

**Tabla 23. Prueba de correlación de Pearson**

	Concentración	pH	Gas metano
pH	-0.477 0.001		
Gas metano	0.396 0.009	-0.432 0.004	
Análisis microb.	-0.274 0.079	-0.352 0.022	-0.120 0.449
Contenido de la celda: Correlación de Pearson Valor P			

**Figura 37. Matriz de correlación entre variables de interés para el primer tratamiento**



### 9.8 Evaluación de la competitividad y sustentabilidad ambiental de un sistema eco-sanitario.

Las alternativas que permiten técnica y económicamente dar solución a algunos problemas de carácter inmediato, por ejemplo soluciones de primera necesidad, en el entendido de la importancia de salud pública, saneamiento básico, y manejo del recurso natural (agua), son realmente necesarias y tienen justificación en cuanto a la responsabilidad social con fundamento en los principios básicos del mejoramiento de la calidad de vida de la población, deficiencia de la infraestructura de servicios

públicos por tocar unos de los aspectos fundamentales de la problemática en el contexto actual.

**9.8.1. Evaluación de la competitividad.** La competitividad está determinada por los costos de instalación del sistema y de funcionamiento que garantice la sostenibilidad (ver Tablas 24, 25 y 26). Los costos de instalación de un sanitario convencional son mayores en un 23.5%, respecto de un sanitario seco. Además los materiales son de fácil acceso comercial.

**Tabla 24. Costo de Construcción de un sanitario seco:**

<b>Materiales</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo</b>
Bacinete	1	\$ 180.000,00
Paredes	4	\$ 656.250,00
Techo de eternit	3	\$ 75.000,00
Puertas	2	\$ 140.000,00
Tanque plástico de Almacenaje	1	\$ 120.000,00
Tubo de ventilación de PVC 2"	1	\$ 18.000,00
Lavamanos	1	\$ 30.000,00
Sistema urinario fijado a la pared	1	\$ 95.000,00
Mano de obra	1	\$ 80.000,00
Tubería de 1,5" para evacuar la orina	1	\$ 15.000,00
Losa de entrepiso de concreto	1	\$ 126.000,00
Porta papel higiénico	1	\$ 15.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 1.550.250,00</b>

**Tabla 25. Costos de Construcción de un sanitario convencional:**

<b>Materiales</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo Aprox.</b>
Bacinete	1	\$ 180.000,00
Paredes	4	\$ -
Techo de eternit	3	\$ 75.000,00
Puertas	2	\$ 140.000,00
Tanque plástico de Almacenaje	1	\$ 120.000,00
Tubo de ventilación de PVC 2"	1	\$ 18.000,00
Lavamanos	1	\$ 30.000,00
Enchape	1	\$ 787.500,00
Agua	10500 L/DIA	\$ 38.182,00
Tuberías de desagües 4"	1	\$ 60.000,00
Mano de obra	1	\$ 80.000,00
Tubería de 1,5" para evacuar la orina	1	\$ 15.000,00
Accesorios	4	\$ 467.604,00
Porta papel higiénico	1	\$ 15.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 2.026.286,00</b>

**Tabla 26. Costos de mantenimiento trimestral de un sanitario seco:**

<b>Materiales</b>	<b>costos (aprox.)</b>
50 kg Cal	\$ 12.000
30 kg Sal	\$ 15.000
<b>Total</b>	<b>\$ 27.000</b>

**Tabla27. Costos de mantenimiento trimestral de un sanitario convencional**

<b>Materiales</b>	<b>costos (aprox.)</b>
Agua (31,500 L * 3 meses = )	\$ 94.500
<b>Total</b>	<b>\$ 94.500</b>

La comparación entre los costos del sanitario seco y el sanitario convencional permite establecer que es más costoso en un 72% el sostenimiento de un sanitario

convencional, que un sanitario seco, lo cual sugiere que se trata de una tecnología auto-sostenible.

### **9.8.2. Evaluación de la sustentabilidad ambiental**

- La sustentabilidad ambiental esta soportada en el impacto que tendría la implementación de los sanitarios secos en la población de la vereda “El Espinal” lo cual mejora a corto plazo la calidad de vida de sus habitantes. Manteniendo la conservación del entorno con todos sus recursos naturales libre de contaminación.
- La implementación de estas tecnologías sencillas en toda la población constituye alternativas con gran impacto social, económico y de salud pública; que permiten armonizar el crecimiento poblacional alrededor de las grandes ciudades y en el sector rural, con el entorno ambiental.
- Los resultados obtenidos constituyen una solución a la problemática mediante estrategias de diversificación energética y la rentabilidad ambiental, con un matiz muy marcado en la gestión de alcantarillado, manejo de residuos peligrosos, usos energéticos del aprovechamiento de residuos, mediante el empleo de biomasa como factor clave en el ámbito de la gestión integral en las soluciones ambientales.

- En este sentido la investigación aporta soluciones viables desde la perspectiva económica, baja complejidad de instalación, minimizando costos de instalación y mantenimiento, acceso a reparaciones y materiales puesto que se encuentran y son de fácil disponibilidad en el entorno de la vereda “El Espinal” (municipio de Malambo, departamento del Atlántico) ubicada adyacente al arroyo “el ají”; quien funciona actualmente como receptor de los desechos orgánicos de la vereda. La matriz de análisis de datos nos muestra los indicadores para determinar la sustentabilidad.(Ver Tabla 28)

**Tabla 28. Matriz de análisis de datos cualitativos**

<b>Criterios</b>	<b>Nombre del indicador</b>
Indicadores de referencia	Aspectos económicos
Indicadores Holísticos	Percepcion de sistema sanitario
Indicadores de causa y efectos	Aceptabilidad cultural
Indicadores proyectivos	Manejo de sanitarios secos
Indicadores de riesgos e incertifumbre	Percepcion de manejo de pozo
Indicadores de control	Percepcion de problemas socio-ambientales de la zona

**a. Percepción de problemas socio-ambientales de la zona**

- Falta de cubrimiento en sistema de acueducto y alcantarillado
- Contaminación del aire por malos olores
- Contaminación de agua freática por excretas
- Problemas de salud como enfermedades diarreicas, dermatitis y problemas respiratorios en la población infantil
- Falta de liderazgo en la comunidad por resolver los problemas

- Habitantes sin definición en su proyecto de vida
- Habitantes sin capacidad para resolver conflictos
- Grado de escolaridad de adulto es baja
- Mucha pobreza
- Contaminación del agua superficial por residuos sólidos, vertimientos domésticos con conexiones herradas hacia el arroyo el ají.
- Contaminación de aguas superficiales por presencia de pozos sépticos sin construcciones técnicas en el manejo
- Quemadas a cielo abierto

#### **b. Percepción del manejo de pozos sépticos**

- Solución rápida al problema de acueducto.
- Mantenimiento costoso para la familia
- No se aprovecha los residuos sólidos (Excretas)
- Presenta emisiones de olores
- Presenta de vectores y transmisión de enfermedades
- Alto aporte de materia orgánica

- **Ventajas:**

- No se requiere conocimientos técnicos para su construcción.

- Económicos, requiere bajo mantenimiento

- Fácil utilización

- **Desventajas:**

- Contaminación de aguas superficial

- Requiere espacios para su construcción y traslado cuando se satura el pozo séptico

- Malos olores constantes

- Vida útil de acuerdo a su capacidad o ausencia de mantenimiento

- Ausencia de una cultura de mantenimiento del sistema

- Alto costo para mantenimiento para una familia pobre

### **c. Percepción de sanitarios secos**

- Evita la contaminación directa a las cuencas , a los suelos y a campo abierto.

- Evita la proliferación de vectores

- Solución a la falta de alcantarillado

- La familia cuenta con un lugar digno para su uso

- Genera abono orgánico

- **Desventajas:**

- Desconocimiento para su uso en el mantenimiento
- El costo inicial es moderado
- La construcción requiere mayor conocimiento técnico
- Resistencia al cambio de las personas
- Requiere mayor estudio el manejo del bio-sólido
- Requiere espacio para el manejo de la excreta deshidratada
- Variabilidad en costos de construcción

- **Ventajas:**

- Ahorro de guas, no contamina fuentes de agua subterráneas.
- Su utilización es fácil
- Su adaptabilidad es progresiva
- Materiales económicos
- Soluciones individuales
- No hay necesidad d conexiones a redes o sistemas de manejo
- Se aprovecha la materia orgánica y promueve la unidad familiar
- Es una solución hacia el desarrollo sostenible
- No causa impacto ambiental y económica mente es viable

- **En lo social:** A partir de un sanitario seco se puede implementar cambios de hábitos en las personas, tales como:

- Motivación para el mejoramiento d vivienda
- Pueden regular los olores
- Impulsa nuevo conocimiento para la comunidad
- Fomenta la responsabilidad de nuestras acciones
  - **Ambiental:** Disminuye fuente s de contaminación de aguas superficiales del arroyo El Ají.

#### **d. Aceptabilidad cultural**

- Dignifica la familia
- Componente social es el de mayor impacto en la población, ya que a través de charlas, talleres y la implementación de un sanitario seco se pudo mejorar la conducta de los pobladores de la vereda y cumplieron con actividades con el mantenimiento del sanitario seco. Además lo recibieron como una oportunidad de mejoramiento. Esta implementación se hizo en un periodo de 6 meses.
- Uso de abono y el de orina como fertilizante

#### **e. Manejo de sanitarios secos**

- El manejo consiste es adicionarle material secante (Cal, Sal, etc.)

- Los habitantes preparan las mezclas.
- El éxito implica que la familia le haga mantenimiento adecuado periódica.

**f. Aspecto económico**

- Oportunidad de emprendimiento empresarial
- Funcionamiento y manejo de sanitarios secos ante la masificación
- Disminución en la facturación del consumo de agua por familia
- Creación de incentivos económicos por parte del estado

**9.8.3. Manual de diseño, construcción, uso, manejo de un sanitario seco**

El manual se presenta en el Anexo VI. Los componentes de instalación de un sanitario seco ecológico son los siguientes: taza, diseño construcción, uso – mantenimiento. composición, productos obtenidos , variedades

## 10. CONCLUSIONES

El tratamiento I (NaCl con  $\text{Ca(OH)}_2$ ), resultó ser el tratamiento más eficaz para la destrucción de los microorganismos patógenos y protozoos (*Giardia*, los *Áscaris* y otros parásitos); inclusive, la menor concentración de (0.25/1), se observó que es suficiente para alcanzar la destrucción microbiana. Sin embargo, este tratamiento no es el más eficiente para la producción de metano, es decir que su potencial energético se vería afectado significativamente.

El incremento del pH tiene una incidencia significativa en la reducción del crecimiento de los patógenos y protozoos, debido probablemente a la alcalinización del medio, producida por la reacción química que genera NaOH (base fuerte) y  $\text{CaCl}_2$ . Sin embargo, este incremento de pH constituye una limitante para el uso de la biomasa como abono agroindustrial, teniendo en cuenta el valor de pH elevado, podría tener una incidencia sobre la alcalinización del suelo. No obstante, se debe anotar que se podría utilizar en suelos ácidos, que faciliten la neutralización de ese suelo.

Existe una correlación entre el pH, el crecimiento microbiano y la producción de metano, pues, las dos primeras son inversamente proporcionales, de igual manera ocurre con el pH y la producción de metano. Sin embargo es directamente proporcional el crecimiento microbiano y la producción de metano. Esto constituye

un obstáculo en la obtención del biofertilizante, debido a que presentan factores limitantes como la alcalinización para el suelo.

La producción percapita diaria de metano en promedio fue de 441.3 mg/L (ppm), lo que equivale a  $4.413 \times 10^{-4}$  g/mL presente en 100 g de muestra. Y Teniendo en cuenta que las heces pueden ser una fuente de energía alternativa debido a los niveles de producción de metano en el sitio, que fueron de 4.763 m<sup>3</sup>, se puede establecer que la biomasa a partir de los biosólidos es suficiente para los requerimientos energéticos de los habitantes de la vereda “El Espinal” (Malambo – Atlántico).

Este estudio concluye que la unión de la sal (NaCl) mezclada con Cal (Ca(OH)<sub>2</sub>), son una mezcla efectiva para la destrucción de microorganismos en las heces fecales, lo cual representa una alternativa para tratar los residuos sólidos y procesarlos con otras materias primas para lograr un fertilizante de uso agroindustrial seguro, contribuyendo de manera significativa en la reducción del impacto ambiental causado por esos residuos. Además es de fácil acceso y de bajo costo para el uso por las comunidades vulnerables.

El estudio pudo establecer que esta tecnología se puede aplicar a muchas regiones, teniendo en cuenta que no contamina, es accesible, no requiere mucho espacio, es económicamente factible y ambientalmente sustentable al medio ambiente.

## 11. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones donde se hagan diluciones del tratamiento ideal (NaCl 0.25/1) para lograr determinar la concentración mínima de uso con efectos letales sobre los microorganismos.

Sensibilizar a la comunidad de la vereda “El Espinal” acerca del uso apropiados de los sanitarios secos.

Realizar un estudio piloto o de escalamiento para implementar los sanitarios secos y sus beneficios como aprovechamiento de energía alternativa en las veredas del departamento del Atlántico.

Sensibilizar a las autoridades de salud pública, distritales, departamentales, nacionales y a la comunidad en general, para lograr una política de intervención que permita reducir los índices de morbi mortalidad por manejo inadecuado de residuos sólidos y líquidos, en el habitat de la población más vulnerable.

Continuar realizando investigaciones, que permitan la utilización de materias primas de bajo valor, para complementarlos con los residuos sólidos, y que puedan ser utilizados de manera segura como biofertilizantes.

-

## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Restrepo J, Echeverri E, Vásquez J, Rodríguez S. El seguro subsidiado y el acceso a los servicios de salud. Teoría, contexto colombiano y experiencia en Antioquia. Medellín: Centro de Investigaciones Económicas, Universidad de Antioquia; 2006.
2. Fernández A. Energía a partir de aguas residuales. 2008. Fundación Erosky contigo. Tomado: Junio 8 de 2013.  
[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2008/09/25/180099.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2008/09/25/180099.php)
3. Shober, A.; Stehouwer, R.; Macneal, K. 2003. On-farm assessment of biosolids effects on soil and crop tissue quality. *Journal of Environmental Quality* 32: 1873-1880.
4. Cuevas, J., Seguel, O., Ellies, A., Dörner, J. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 6 . 2006. (2): 1-12.
5. Page, A.L.; Chang, A.C.. Overview of the past 25 years: Technical perspective. p. 3-6. In C.E. Clapp *et al.* (ed.) *Sewage sludge: Land Utilization and the Environment*. ASA, CSSA & SSSA, Madison, WI, 1994 .
6. Montes A.. Análisis de la Contribución de los Sanitarios Secos al Saneamiento Básico Rural. Caso Vereda Chorrillos. Pontificia Universidad Javeriana. Tesis MSc. (2009).
7. Bofill-Mals S; Casares P; Albiñana, N; Maluquer de Motes C; Hundesagofa A; Girnes R. Efectos sobre la salud de la contaminación del agua y alimentos por virus emergentes humanos. Universidad de Barcelona. (2005).
8. Jonson H.; Richert A.; Vienràs B.; Salomon E. Guidelines on the use of urine and faeces in crop production. Stockholm Environment Institutue. Report, 2004-2.

9. Forster T. Digestión anaerobia termofílica seca de residuos sólidos urbanos: Estudio de las variables del proceso en el arranque y estabilización del bio-reactor. Tesis doctoral. Dpto. de Ing. Química, Tecn. de Alimentos y Tecn. del Medio Ambiente. Universidad de Cádiz-España. Pg 3.
10. Zaror C. Introducción a la Ingeniería Ambiental Para La Industria De Procesos” 2008. Universidad de Concepción de Chile. Pg.165.
11. Mejía R. Tecnologías de bajo costo para sistemas de alcantarillado, Hojas de investigación técnica CEPIS.; Universidad de Antioquia, Colombia. (1993).
12. Montesinos V.; Unidades sanitarias secas: Una solución económica y ambientalmente sustentable para el saneamiento básico, Corporación CETAL 2009.
13. Gallopin G. Sostenibilidad y Desarrollo sostenible: Un enfoque sistémico. ONU-CEPAL. 2003. Chile. ISBN 92-1-322181-9. Pg 36
14. Edwin Cartlidge. "Saving for a rainy day". *Science (Vol 334)*. 2011. pp. 922–924.
15. REN 21. "Renewables 2011: Global Status Report". (2011). pp. 17, 18.
16. Estevan, Antonio. «Biocombustibles: la agricultura al servicio del automóvil». *El ecologista* (56). (2008). ISSN 1575-2712.
17. Esrey, A. y Andersson, I. Saneamiento Ambiental desde una Perspectiva de Ecosistema. En: *Ecological Sanitation: Closing the Loop for Food Security*. (1999). Ahuatepec, México.
18. Wu, L.; Ma, L.; Martínez, G.. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality* 2000. 29: 424-429.
19. Zucconi, F.; Peram, A.; Forte, M.; De Bertolidi, M. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*. 1981. 22: 54-56.
20. Shober, A.L.; Sims, J.T. Phosphorus restrictions for land application of biosólidos: current status and future trends. *Journal of Environmental Quality*. 2003. 32: 1955-1964.

21. Sobrero, M.C., Ronco, A. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). p: 71-79. En: Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas, G. Castillo, Ed., Ottawa, Canadá. 2004.
22. Schmidt, J.P.. Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land-applied sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*. 1997. 26: 4-10.
23. De Baere, L., Van Meenen, P., Deboosere, S., Verstraete, W. Anaerobic fermentation of refuse. *Resources and Conservation*, (1987). 14, 295-308.
24. Thor-Axel S. Conference: "Health security in the reuse of human excreta from on-site sanitation", Cuernavaca, México, 1999.
25. Jonson H.; Richert A.; Vienràs B.; Salomon E. Guidelines on the use of urine and faeces in crop production. Stockholm Environment Institute. Report, 2004-2.
26. FAO/OMS (Food Agriculture Organization/Organización Mundial de la Salud). Alimentación y Nutrición – La evaluación de la inocuidad de los alimentos derivados de animales modificados genéticamente, incluidos los peces. Roma. 2004. ISBN 92-5- 305110-8.
27. Fraústo da Silva, J.J.R. y Williams, R.J.P. *The Biological Chemistry of the Elements -The Inorganic Chemistry of Life*. 1997. Oxford, UK.
28. Vinnerås, B. *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion*. PhD-thesis, Agraria 353, Swedish University of Agricultural Sciences+. 2002. Uppsala, Sweden
29. Vinnerås B., Holmqvist A., Bagge E., Albiñ A. and Jönsson H. 'The potential for disinfection of separated faecal matter by urea and by peracetic acid for hygienic nutrient recycling.' *Bioresource Technology*. 2003. 89: 155161.
30. Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D. *Sanitation and Disease -Health aspects of excreta and wastewater management*. 1983. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
31. WORLD HEALTH ORGANIZATION - UNICEF. (2013 Update). Progress n Sanitation and Drinking-Water. Consultado: mayo 25 de 2013. [http://www.wssinfo.org/fileadmin/user\\_upload/resources/JMPReport2013.pdf](http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMPReport2013.pdf)

32. Schönning, C., Westrell, T., Stenström, T.A., Arnbjerg-Nielsen, K., Hasling, A.B., Hansen, L. and Carlsen, A. *Microbial risk assessment of local handling and reuse of human faeces*. Manuscript. 2003.
33. Schönning, C., Leeming, R. and Stenström, T.A. 'Faecal contamination of source-separated human urine based on the content of faecal sterols.' *Water Research* 2002. 36 (8): 1965-1972.
34. Höglund, C. *Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated human urine*. PhD thesis, Department of Biotechnology, Royal Institute of Technology, 2001. Stockholm, Sweden. ISBN 91-7283-039-5. Disponible: <http://www.lib.kth.se/Sammanfattningar/hoglund010223.pdf>
35. WHO. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. World Health Organization, 1989. Geneva, Switzerland.
36. Bellido Juan. Epidemiología de las Gastro Enteritis Agudas Víricas: Aspectos Actuales. Sociedad Española de Epidemiología. Edit. EMISA. 2007. PG 105-108.
37. Tauxe, R.V. and Cohen, M.L. 'Epidemiology of diarrheal diseases in developed countries.' In: Blaser, M.J., Smith, P.D., Ravdin, J.I. and Greenberg, H.B. (eds) *Infections of the gastrointestinal tract*. 1995. Raven Press, Ltd., New York, NY, USA: 37-51.
38. Chien, B.T., Phi, D.T., Chung, B.C., Stenström, T.A., Carlander, A., Westrell, T. and Winblad, U. 'Biological study on retention time of microorganisms in faecal material in urine-diverting eco-san latrines in Vietnam.' 2001. Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation. 5<sup>th</sup>-8<sup>th</sup> November, Nanning, China: 120-124.
39. Höglund, C. *Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated human urine*. PhD thesis, 2001. Department of Biotechnology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. ISBN 91-7283-039-5.
40. Letter Health Consultation. Pohatcong Valley Groundwater contamination Superfund Site. EPA Facility ID: NJD981179047. 2013. N.J. - E.U.

41. Chin J. El control de las enfermedades transmisibles. Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2001. Pg. 11-13
42. Schönning, C., Westrell, T., Stenström, T.A., Arnbjerg-Nielsen, K., Hasling, A.B., Hansen, L. and Carlsen, A. *Microbial risk assessment of local handling and reuse of human faeces*. Manuscript. 2003.
43. Wang, J.Q. 'Reduction of microorganisms in dry sanitation due to different adsorbents under low temperature 43 Caroline Schönning and Thor Axel Stenström conditions.' 1999. *Abstracts from the 9<sup>th</sup> Stockholm Water Symposium, 9<sup>th</sup>-12<sup>th</sup> August*. Stockholm, Sweden: 396-398.
44. Schönning, C., Westrell, T., Stenström, T.A., Arnbjerg-Nielsen, K., Hasling, A.B., Hansen, L. and Carlsen, A. *Microbial risk assessment of local handling and reuse of human faeces*. Manuscript. 2003.
45. Bronw, V. Biogas: A Bright idea for Africa. *Environmental Health Perspective*; 2006; 114,5; ProQuest. Pg. A 300.
46. Aitken M.; sobsey M.; Marck D.; Shehee M.; Blauth K.; Vicent H.; Farrell J.; Nappier S.; Walters G.; Crunk P. y Van Abel N. Laboratory evaluation of thermophilic-anaerobic digestion to produce Class A Biosolids. *Water environment research*. 2005. 77.7. ProQuest pg. 3028.
47. Esrey, S.A., "Food security – its implications on health", en *International Perspectives on Environmental Development and Health: Toward a Sustainable World*, ed. G.S. Shahi, B.S. Levy, A. Binger, et al., Nueva York, Springer Publishing Company, (1997), pp. 91-113.
48. Watcharasurkarn M; Kaparaju P; Steyer J; Krogfelt K, Angelidaki I. Screening *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* and *Clostridium perfringens* as indicator organisms in evaluating Pathogen-reducing capacity in biogas plants. *J. Microb. Ecol.* 2009. 58:221-230.
49. Montes A.. Análisis de la Contribución de los Sanitarios Secos al Saneamiento Básico Rural. Caso Vereda Chorrillos. Pontificia Universidad Javeriana. Tesis MSc. (2009).

50. Shober, A.L.; Sims, J.T. Phosphorus restrictions for land application of biosólidos: current status and future trends. *Journal of Environmental Quality*. 2003. 32: 1955-1964.
51. Mazzarino, M.; Walter, I.; Costa, G.; Laos, F.; Roselli, L.; Satti, P. Plant response to fish farming wastes in volcanic soils. 1997. *Journal of Environmental Quality* 26: 522-528.
52. Page, A.L.; Chang, A.C. Overview of the past 25 years: Technical perspective. p. 3-6. In C.E. Clapp *et al.* (ed.) *Sewage sludge: Land Utilization and the Environment*. 1994. ASA, CSSA & SSSA, Madison, WI.
53. Wu, L.; Ma, L.; Martínez, G.. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality*. 2000. 29: 424-429.
54. WORLD HEALTH ORGANIZATION - UNICEF. (2013 Update). *Progress in Sanitation and Drinking-Water*. Consultado: mayo 25 de 2013. [http://www.wssinfo.org/fileadmin/user\\_upload/resources/JMPReport2013.pdf](http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMPReport2013.pdf)
55. Esrey, Steven; Andersson, Ingvar; Hiller Astrid; Sawyer Ron. "Cerrando el Ciclo – Saneamiento ecológico para la seguridad Alimentaria." 2006. *Publicaciones sobre recursos hídricos No. 18. 2ª Ed..México*.
56. WORLD HEALTH ORGANIZATION - UNICEF. (2013 Update). *Progress in Sanitation and Drinking-Water*. Consultado: mayo 25 de 2013. [http://www.wssinfo.org/fileadmin/user\\_upload/resources/JMPReport2013.pdf](http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMPReport2013.pdf)
57. Plan de Desarrollo del Departamento del Atlántico (2012 -2015): "Atlántico mas social" compromiso social sobre lo fundamental". Consultado: mayo 25 de 2013.
58. Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.) *Official methods of analysis*. 18th Ed. The Association: Washington, D.C. Revised 2011.

### 13. ANEXOS

**ANEXO A. Vertedero de los residuos sólidos de la comunidad en la vereda “El Espinal” (Malambo).**



**ANEXO B. Trabajo de campo con la comunidad**







### ANEXO C. Diseño experimental

Aleatorio	Muestras	replicas	NaCl	NaHCO <sub>3</sub>	Muestreo	
	n	Xo	X1	X2	Y1	Y2
0,00613395	2	1	2	2	Pot2rplc.1-conc.2Y1	Pot2rplc.1-conc.2-X2
0,36513263	4	2	3	3	Pot4rplc.2-conc.3-X1	pot4.replc.2-conc.3-X2
0,69365683	12	1	1	1	Pot2rplc.1conc.1- X1	pot12rplc,1-conc.1-X2
0,70960132	10	2	3	3	pot10rplc2-conc3.X1	pot10rplc2-conc3.X2
0,07078641	1	2	1	1	pot1rplc.2-conc.1-X1	pot1rplc.2-conc.1-X2
0,10704717	6	2	1	1	Pot6rplc.2- conc.1-X1	Pot6rplc.2- conc.1-X2
0,47050954	5	1	1	1	Pot5.rplc.1-conc.1-X1	Pot5.rplc.1-conc.1-X2
0,61902027	3	2	2	2	Pot3.rplc2-conc.2-X1	Pot3.rplc2-conc.2-X2
0,99640526	9	1	3	3	pot9.rplc.1conc.3-X1	pot9.rplc.1conc.3-X2
0,53729617	11	1	2	2	pot11.rplc1-conc.2-X1	pot11.rplc1-conc.2-X2
0,21111368	7	1	3	3	pot7.rplc.1-conc.3-X1	pot7.rplc.1-conc.3-X2
0,75701451	8	1	3	3	pot8.rplc.1-conc.3-X1	pot8.rplc.1-conc.3-X2

Las tres concentraciones con código: -1; 0 y 1; corresponde a 1/1; 1/0.75; y 1/0.25 partes de Ca(OH)<sub>2</sub> y NaCl /unidad de heces.

**ANEXO D. Trabajo en el laboratorio**



## ANEXO E. Medición de gases en el laboratorio



## ANEXO F. Resultados de los análisis microbiológicos (tratamiento con NaCl).

Pruebas Microbiológicas					
Concentración	mezclas de la muestra	Muestras	Composicion	Fecha	Recuento (UFC/mL)
01:01	100 g sal+100 g cal+100 g hecces	1	Na Cl+Ca(OH)2	02-ago-13	0
0,75:1	75 g sal+75 g cal+100 g hecces	3	Na Cl+Ca(OH)3	02-ago-13	0
0,25:1	25 g sal+25 g cal+100 g hecces	4	Na Cl+Ca(OH)4	02-ago-13	0
01:01	100 g sal+100 g cal+100 g hecces	1	Na Cl+Ca(OH)2	20-ago-13	0
0,75:1	25 g sal+25 g cal+100 g hecces	3	Na Cl+Ca(OH)4	20-ago-13	0
0,25:1	75 g sal+75 g cal+100 g hecces	4	Na Cl+Ca(OH)3	20-ago-13	0
01:01	100 g sal+100 g cal+100 g hecces	1	Na Cl+Ca(OH)2	08-ago-13	0
0,75:1	75 g sal+75 g cal+100 g hecces	3	Na Cl+Ca(OH)3	08-ago-13	0
0,25:1	25 g sal+25 g cal+100 g hecces	4	Na Cl+Ca(OH)4	08-ago-13	0

## ANEXO G. Resultados de los análisis microbiológicos (tratamiento con NaHCO<sub>3</sub>).

Concentracion	Cantidad muestra	Muestras	Composicion	Fecha	Recuento (UFC/mL)	Micororganismo
01:01	100 g bicarbonato+100 g cal+100 g hecces	1	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	02-ago-13	90000	<i>Proteus mirabilis</i> - <i>E. coli</i> .
0,25:1	25 g bicarbonato+25 g cal+100 g hecces	2	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	02-ago-13	200000	<i>Proteus mirabilis</i> - <i>E. coli</i> .
0,75:1	75 g bicarbonato+75 g cal+100 g hecces	3	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	02-ago-13	>100,000	<i>E. coli</i> .
01:01	100 g bicarbonato+100 g cal+100 g hecces	1	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	20-ago-13	>10,000	<i>E. coli</i>
0,75:1	75 g bicarbonato+75 g cal+100 g hecces	2	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	20-ago-13	>25,000	<i>E. coli</i>
0,75:1	75 g bicarbonato+75 g cal+100 g hecces	3	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	20-ago-13	>30,000	<i>E. coli</i>
0,25:1	25 g bicarbonato+25 g cal+100 g hecces	4	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	20-ago-13	30000,0	<i>E. coli</i>
0,25:1	25 g bicarbonato+25 g cal+100 g hecces	5	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	20-ago-13	25000,00	<i>E. coli</i>
01:01	100 g bicarbonato+100 g cal+100 g hecces	1	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	08-ago-13	50.000	<i>E. coli</i> .
0,75:1	75 g bicarbonato+75 g cal+100 g hecces	2	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	08-ago-13	80000	<i>E. coli</i> .
0,25:1	25 g bicarbonato+25 g cal+100 g hecces	3	NaHCO <sub>3</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub>	08-ago-13	>100,000	<i>E. coli</i> .

## ANEXO H. Producción de Metano del experimento

Resultados de	DIAS						
	0,00	3	6	9	12	15	18
CH4	0	65	98	82	0	0	0
CH4	0	120	100	90	0	0	0
CH4	0	75	50	0	0	0	0
CH4	0	160	82	30,3	0	0	0
CH4	0	485	398	300	0	0	0
CH4	0	520	700	430	0	0	0
CH4	0	10	586	725	635	385	10
CH4	0	0	800	1400	900	530	0
CH4	0	200,8	1080	2700	2000	1540	1050
CH4	0	0	360	410	380	0	0
CH4	0	330	896	2000	2150	2050	1950
CH4	0	1050	1650	2150	1960	1800	1600
<b>Promedio</b>	<b>0</b>	<b>251,3</b>	<b>566,7</b>	<b>859,8</b>	<b>668,8</b>	<b>525,4</b>	<b>384,2</b>

## ANEXO I. ANOVA para los tratamientos de gas metano

ANOVA					
Factor	Tipo	Niveles	Valores		
Factor 1: tratamiento	fijo	2	1. 2.		
Factor 2: Conc.	fijo	3	1. 2. 3		

Análisis de varianza para producción de gas metano,

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor 1: tratamiento	1	11814375	11814375	43.13	0.000
Factor 2: Conc.	2	4957301	2478650	9.05	0.000
Interacción	2	2365344	1182672	4.32	0.017
Error	78	21364052	273898		
Total	83	40501072			

S = 523.4    R-cuad. = 47.25%    R-cuad.(ajustado) = 43.87%

## ANEXO J. ANOVA para resultados de producción de gas metano - diferencia de medias

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	5	19137020	3827404	13.97	0.000
Error	78	21364052	273898		
Total	83	40501072			

S = 523.4    R-cuad. = 47.25%    R-cuad.(ajustado) = 43.87%

## ANEXO K. Valores reportados para contenido de Metano

Tabla 7. Producción de Metano (CH <sub>4</sub> ) -								
Tratamiento		Tiempo (días)						
		0*	3	6	9	12	15	18
NaCl	T1C1	0	65	98	82	0	0	0
	T1C1	0	120	100	90	0	0	0
	T1C2	0	75	50	0	0	0	0
	T1C2	0	160	82	30,3	0	0	0
	T1C3	0	485	398	300	0	0	0
	T1C3	0	520	700	430	0	0	0
NaHCO <sub>3</sub>	T2C1	0	10	586	725	635	385	10
	T2C1	0	0	800	1400	900	530	0
	T2C2	0	200,8	1080	2700	2000	1540	1050
	T2C2	0	0	360	410	380	0	0
	T2C3	0	330	896	2000	2150	2050	1950
	T2C3	0	1050	1650	2150	1960	1800	1600

## ANEXO L. Contenido del monóxido de carbono en el experimento

Tratamientos	CO	DIAS						
		0	3	6	9	12	15	18
T1C1	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T1C1	ppm	0	43	38	23	33	40	48
T1C2	ppm	0	0	10	19	0	0	0
T1C2	ppm	0	18	15	11	0	0	0
T1C3	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T1C3	ppm	0	58	0	72	0	0	11
T2C1	ppm	0	0	0	0	0	0	0
T2C1	ppm	0	0	15	19	10	10	5
T2C2	ppm	0	28	45	58	30	29	23
T2C2	ppm	0	18	19	21	20	20	19
T2C3	ppm	0	15	22	38	42	36	28
T2C3	ppm	0	31	35	36	30	30	21
<b>Promedio</b>		<b>0</b>	<b>17,6</b>	<b>16,6</b>	<b>24,8</b>	<b>13,8</b>	<b>13,8</b>	<b>12,9</b>

## ANEXO M. Contenido de O<sub>2</sub> en las muestras

Tratamientos	Parámetro	DIAS						
		0	3	6	9	12	15	18
T1C1	O <sub>2</sub>	20,9	20,1	20,6	20,5	20,1	20,6	20,2
T1C1	O <sub>2</sub>	20,9	19,1	20,1	20,4	20,5	20,4	20,1
T1C2	O <sub>2</sub>	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	0	0
T1C2	O <sub>2</sub>	20,9	19,8	20,1	28,3	0	0	0
T1C3	O <sub>2</sub>	20,6	20	19,8	20,6	19	20,1	0
T1C3	O <sub>2</sub>	20,9	15,5	20	20,6	20,1	20,1	20,2
T2C1	O <sub>2</sub>	20,9	20,6	20,1	20,3	20,4	20,2	20,2
T2C1	O <sub>2</sub>	20,9	20,9	20,6	20,6	20,3	20,1	20,6
T2C2	O <sub>2</sub>	20,9	18	19,3	18,8	19	19,3	20,1
T2C2	O <sub>2</sub>	20,9	20,8	20,6	20,8	20,1	20,1	20,3
T2C3	O <sub>2</sub>	20,9	18,5	19,1	19,6	19,2	19,6	20
T2C3	O <sub>2</sub>	20,9	11	19,3	20,6	20,1	20,1	20,1
<b>Promedios</b>		<b>18,3</b>	<b>16,7</b>	<b>20,0</b>	<b>21,0</b>	<b>18,3</b>	<b>16,7</b>	<b>15,2</b>

## ANEXO N. Valores reportados para contenido de Grasa -

Tabla 3. Valores reportados para contenido de Grasa -								
Tratamiento		Tiempo (días)						
		0*	3	6	9	12	15	18
NaCl	T1C1	8,61	9	9,05	10,8	15,4	16,8	17,5
	T1C1	8,82	9	9,39	12,1	14,3	15,8	16,3
	T1C2	8,65	9,2	9,81	12,5	14,1	15,5	16,2
	T1C2	7,95	8,8	9,38	12,4	13,8	14,8	15,8
	T1C3	9,07	9,2	9,32	13	14	14,9	15,3
	T1C3	9,25	9,5	9,81	14	15,5	16,5	17,2
NaHCO3	T2C1	7,06	7,6	7,83	12,7	14,2	15,4	17,5
	T2C1	8,4	8,8	9,33	13,7	14,1	15	16,8
	T2C2	8,4	8,9	9,89	12,7	13,8	15	14,9
	T2C2	8,87	9,5	9,81	11,5	12,8	13,8	13,9
	T2C3	8,47	9,2	10,2	11,9	13,4	14,5	15,9
	T2C3	8,01	8,5	8,67	12,8	15,2	16,5	17

## ANEXO O. Valores reportados para contenido de Humedad

Tabla 4. Medición de Humedad -								
Tratamiento		Tiempo (días)						
		0*	3	6	9	12	15	18
NaCl	T1C1	11,71	10,5	9,6	7,8	7,3	6,5	6,82
	T1C1	13,96	12,3	9,5	7,8	7,5	6,8	6,29
	T1C2	14,29	14	11,3	9,6	8,5	7,2	6,57
	T1C2	11,4	10,8	9,5	8,2	7,5	7	6,85
	T1C3	13,86	12,8	10,2	8,4	7,6	6	4,99
	T1C3	14,65	13,5	10,5	8,3	7,1	6,8	6,32
NaHCO3	T2C1	15,67	12,4	10,3	8,1	7,6	7,1	6,92
	T2C1	15	12,5	9,8	8,5	7,6	6,8	6,22
	T2C2	15,32	11,4	9,9	8,3	6,2	5,5	4,85
	T2C2	12,66	10,5	9,3	8	7,1	6,5	6,14
	T2C3	11,71	11,2	9,1	8,1	7	7	6,7
	T2C3	13,34	12,5	10,5	8,8	7,2	5,2	4,97

### ANEXO P. Contenido de proteína en el experimento

Tratamientos	Muestras	DIAS						
		0	3	6	9	12	15	18
T1C1	Proteina	2,05	2,2	2,4	2,55	2,56	2,7	2,95
T1C1	Proteina	2,08	2,1	2,3	2,41	2,45	2,7	2,8
T1C2	Proteina	2,1	2,3	2,5	2,4	2,5	2,8	3,1
T1C2	Proteina	2,2	2,2	2,3	2,45	2,5	2,9	3
T1C3	Proteina	2	2,15	2,2	2,3	2,4	2,7	2,8
T1C3	Proteina	2,03	2,33	2,4	2,5	2,56	2,7	2,7
T2C1	Proteina	2,01	2,25	2,3	2,4	2,5	2,8	2,9
T2C1	Proteina	2,02	2,24	2,3	2,5	2,6	2,8	2,8
T2C2	Proteina	2	2,16	2,35	2,45	2,6	3	3
T2C2	Proteina	2,03	2,18	2,2	2,4	2,6	3,1	3,2
T2C3	Proteina	2,3	2,39	2,45	2,6	2,8	3	3,1
T2C3	Proteina	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	3	3
Promedio		2,5	2,9	2,3	2,5	2,5	2,9	2,9

### ANEXO Q. Valores reportados para contenido de Ceniza

Tratamiento		Tiempo (días)						
		0*	3	6	9	12	15	18
NaCl	T1C1	2,5	2,9	3,5	4,1	4,75	4,80	4,9
	T1C1	2,6	3,1	3,4	4,5	4,80	5,20	5,3
	T1C2	2,8	3,2	3,5	4,2	4,30	4,40	4,8
	T1C2	2,7	3,3	3,7	4,7	4,90	5,00	5
	T1C3	2,7	2,8	3,9	3,9	3,90	4,10	4,9
	T1C3	2,4	2,9	3,2	3,9	3,80	3,50	4,5
NaHCO3	T2C1	2,1	2,7	3,5	4	4,10	3,20	4,7
	T2C1	2,6	2,7	3,6	4,5	4,90	3,80	4,9
	T2C2	2,5	3,1	3,8	4,1	4,25	4,50	5,1
	T2C2	2,9	3,5	3,9	4,5	4,57	3,90	4,8
	T2C3	2,8	3,4	3,9	4,9	5,26	4,80	5,1
	T2C3	2,8	3	3,5	4,8	5,40	4,90	5,2

## ANEXO R. Anova para los tratamientos de pH

ANOVA							
Factor	Tipo	Niveles	Valores				
Factor 1: tratamiento	fijo	2	1. 2.				
Factor 2: Conc.	fijo	3	1. 2. 3				
Análisis de varianza para PH, utilizando SC ajustada para pruebas							
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P	
Factor 1: tratamiento	2	35,681	35,567	17,783	18,91	0,000	
Factor 2: Conc.	2	8,513	8,513	4,257	4,53	0,014	
Error	79	74,283	74,283	0,940			
Total	83	118,477					
S = 0,969685 R-cuad. = 37,30% R-cuad.(ajustado) = 34,13%							
Fuente	GL	SC	MC	F	P		
Factor	6	79,334	13,222	18,26	0,000		
Error	91	65,885	0,724				
Total	97	145,219					
S = 0,8509 R-cuad. = 54,63% R-cuad. (Ajustado) = 51,64%							

## ANEXO S. PRUEBA DE COMPARACIONES DE TUKEY- VALORES PH

PRUEBA DE COMPARACIONES DE TUKEY- VALORES PH	PRUEBA DE COMPARACIONES DE TUKEY- ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO																																																																																																														
<p><b>Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%</b></p> <p>Todas las comparaciones en parejas Nivel de confianza individual = 99,66%</p> <p>Se restó T1C1 a:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inferior</th> <th>Centro</th> <th>Superior</th> <th>-----+-----</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1C2</td> <td>-1,1473</td> <td>-0,1786</td> <td>0,7902</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T1C3</td> <td>-2,4752</td> <td>-1,5064</td> <td>-0,5377</td> <td>(---*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C1</td> <td>-2,9766</td> <td>-2,0079</td> <td>-1,0391</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C2</td> <td>-2,7259</td> <td>-1,7571</td> <td>-0,7884</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C3</td> <td>-2,7923</td> <td>-1,8236</td> <td>-0,8548</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>-3,6052</td> <td>-2,6364</td> <td>-1,6677</td> <td>(----*-----)</td> </tr> </tbody> </table> <p>-----+----- -2,0</p> <p>0,0      2,0      4,0</p> <p>Se restó T1C2 a:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inferior</th> <th>Centro</th> <th>Superior</th> <th>-----+-----</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1C3</td> <td>-2,2966</td> <td>-1,3279</td> <td>-0,3591</td> <td>(---*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C1</td> <td>-2,7980</td> <td>-1,8293</td> <td>-0,8605</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C2</td> <td>-2,5473</td> <td>-1,5786</td> <td>-0,6098</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C3</td> <td>-2,6138</td> <td>-1,6450</td> <td>-0,6762</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>-3,4266</td> <td>-2,4579</td> <td>-1,4891</td> <td>(----*-----)</td> </tr> </tbody> </table> <p>-----+----- -2,0</p>		Inferior	Centro	Superior	-----+-----	T1C2	-1,1473	-0,1786	0,7902	(----*-----)	T1C3	-2,4752	-1,5064	-0,5377	(---*-----)	T2C1	-2,9766	-2,0079	-1,0391	(----*-----)	T2C2	-2,7259	-1,7571	-0,7884	(----*-----)	T2C3	-2,7923	-1,8236	-0,8548	(----*-----)	pH	-3,6052	-2,6364	-1,6677	(----*-----)		Inferior	Centro	Superior	-----+-----	T1C3	-2,2966	-1,3279	-0,3591	(---*-----)	T2C1	-2,7980	-1,8293	-0,8605	(----*-----)	T2C2	-2,5473	-1,5786	-0,6098	(----*-----)	T2C3	-2,6138	-1,6450	-0,6762	(----*-----)	pH	-3,4266	-2,4579	-1,4891	(----*-----)	<p><b>Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%</b></p> <p>Todas las comparaciones en parejas Nivel de confianza individual = 99,54%</p> <p>Se restó T1C1 a:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inferior</th> <th>Centro</th> <th>Superior</th> <th>-----+-----</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1C2</td> <td>-31442</td> <td>0</td> <td>31442</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T1C3</td> <td>-31442</td> <td>0</td> <td>31442</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C1</td> <td>6058</td> <td>37500</td> <td>68942</td> <td>(-----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C2</td> <td>27273</td> <td>58714</td> <td>90156</td> <td>(-----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C3</td> <td>27130</td> <td>58571</td> <td>90013</td> <td>(-----*-----)</td> </tr> </tbody> </table> <p>-----+----- -50000</p> <p>0      50000      100000</p> <p>Se restó T1C2 a:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inferior</th> <th>Centro</th> <th>Superior</th> <th>-----+-----</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1C3</td> <td>-31442</td> <td>0</td> <td>31442</td> <td>(----*-----)</td> </tr> <tr> <td>T2C1</td> <td>6058</td> <td>37500</td> <td>68942</td> <td>(-----*-----)</td> </tr> </tbody> </table> <p>-----+----- (-----*-----)</p>		Inferior	Centro	Superior	-----+-----	T1C2	-31442	0	31442	(----*-----)	T1C3	-31442	0	31442	(----*-----)	T2C1	6058	37500	68942	(-----*-----)	T2C2	27273	58714	90156	(-----*-----)	T2C3	27130	58571	90013	(-----*-----)		Inferior	Centro	Superior	-----+-----	T1C3	-31442	0	31442	(----*-----)	T2C1	6058	37500	68942	(-----*-----)
	Inferior	Centro	Superior	-----+-----																																																																																																											
T1C2	-1,1473	-0,1786	0,7902	(----*-----)																																																																																																											
T1C3	-2,4752	-1,5064	-0,5377	(---*-----)																																																																																																											
T2C1	-2,9766	-2,0079	-1,0391	(----*-----)																																																																																																											
T2C2	-2,7259	-1,7571	-0,7884	(----*-----)																																																																																																											
T2C3	-2,7923	-1,8236	-0,8548	(----*-----)																																																																																																											
pH	-3,6052	-2,6364	-1,6677	(----*-----)																																																																																																											
	Inferior	Centro	Superior	-----+-----																																																																																																											
T1C3	-2,2966	-1,3279	-0,3591	(---*-----)																																																																																																											
T2C1	-2,7980	-1,8293	-0,8605	(----*-----)																																																																																																											
T2C2	-2,5473	-1,5786	-0,6098	(----*-----)																																																																																																											
T2C3	-2,6138	-1,6450	-0,6762	(----*-----)																																																																																																											
pH	-3,4266	-2,4579	-1,4891	(----*-----)																																																																																																											
	Inferior	Centro	Superior	-----+-----																																																																																																											
T1C2	-31442	0	31442	(----*-----)																																																																																																											
T1C3	-31442	0	31442	(----*-----)																																																																																																											
T2C1	6058	37500	68942	(-----*-----)																																																																																																											
T2C2	27273	58714	90156	(-----*-----)																																																																																																											
T2C3	27130	58571	90013	(-----*-----)																																																																																																											
	Inferior	Centro	Superior	-----+-----																																																																																																											
T1C3	-31442	0	31442	(----*-----)																																																																																																											
T2C1	6058	37500	68942	(-----*-----)																																																																																																											



## ANEXO T. Resultados de la temperatura en el experimento

Tratamientos		0	3	6	9	12	15	18
<b>T1C1</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T1C1</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T1C2</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T1C2</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T1C3</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T1C3</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T2C1</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T2C1</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T2C2</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T2C2</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T2C3</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
<b>T2C3</b>	TEMP	34	34,6	35,2	34,4	34,3	33,9	33,8
Promedios		<b>34,0</b>	<b>34,6</b>	<b>35,2</b>	<b>34,4</b>	<b>34,3</b>	<b>33,9</b>	<b>33,8</b>

## ANEXO U. Análisis Procesamiento de datos obtenidos en laboratorio

Tabla 1. Seguimiento y medición datos de pH -

Tratamiento		Tiempo (días)						
		0*	3	6	9	12	15	18
<b>NaCl</b>	T1C1	6,8	8,4	9,2	10,4	10,5	10,5	11
	T1C1	6,8	8	9,4	9,8	10	10,2	10,5
	T1C2	7,1	8,7	9,1	9,8	9,8	9,2	10,8
	T1C2	6,8	8,5	9,4	9,7	9,8	9,3	11
	T1C3	7,1	6,9	6,9	7,6	8,6	8,6	8,7
	T1C3	7,1	7,23	7,9	7,5	8,78	8,8	8,7
<b>NaHCO3</b>	T2C1	6,8	7,06	7,08	7,9	7,1	8	8,2
	T2C1	6,8	7,23	7,08	6,84	7,5	7,8	8
	T2C2	6,8	7,39	7,5	7,88	8,17	8,3	8,5
	T2C2	7	7,22	7,03	7,01	7,8	8,1	8,2
	T2C3	7,2	7,28	7,29	7,82	7,42	7,54	8,1
	T2C3	7,1	6,82	7,4	6,5	8,4	8,5	8,6

## ANEXO V. Datos consolidados del experimento

Factor 1: tratamiento	Factor 2: Conc.	Fec has	P H	Gr asa	Hume dad	Temper atura	Cen iza	Gas metan o	Análisis microb.	C O	O 2	C O 2	Prot eina	H 2S
1	1	1	6,8	8,61	11,71	34	2,5	0	1.000.000.000,00	0	20,9	0	2,05	0
1	1	1	6,8	8,82	13,96	34	2,6	0	1.000.000.000,00	0	20,9	0	2,08	0
1	1	2	8,4	9	10,5	34,6	2,9	65	0	0	20,1	0	2,2	0
1	1	2	8	9	12,3	34,6	3,1	120	0	43	19,1	0	2,1	0
1	1	3	9,2	9,05	9,6	35,2	3,5	98	0	0	20,6	0	2,4	0
1	1	3	9,4	9,39	9,5	35,2	3,4	100	0	38	20,1	0	2,3	0
1	1	4	10,4	10,8	7,8	34,4	4,1	82	0	0	20,5	0	2,55	0
1	1	4	9,8	12,1	7,8	34,4	4,5	90	0	23	20,4	0	2,41	0
1	1	5	10,5	15,4	7,3	34,3	4,75	0	0	0	20,1	0	2,56	0
1	1	5	10	14,3	7,5	34,3	4,80	0	0	33	20,5	0	2,45	0
1	1	6	10,5	16,8	6,5	33,9	4,80	0	0	0	20,6	0	2,7	0
1	1	6	10,2	15,8	6,8	33,9	5,20	0	0	40	20,4	0	2,7	0
1	1	7	11	17,5	6,82	33,8	4,9	0	0	0	20,2	0	2,95	0
1	1	7	10,5	16,3	6,29	33,8	5,3	0	0	48	20,1	0	2,8	0
1	2	1	7,1	8,65	14,29	34	2,8	0	0	0	20,9	0	2,1	0
1	2	1	6,8	7,95	11,4	34	2,7	0	0	0	20,9	0	2,2	0
1	2	2	8,7	9,2	14	34,6	3,2	75	0	0	20,9	0	2,3	0
1	2	2	8,5	8,8	10,8	34,6	3,3	160	0	18	19,8	0	2,2	0
1	2	3	9,1	9,81	11,3	35,2	3,5	50	0	10	20,9	0	2,5	0
1	2	3	9,4	9,38	9,5	35,2	3,7	82	0	15	20,1	0	2,3	0
1	2	4	9,8	12,5	9,6	34,4	4,2	0	0	19	20,9	0	2,4	0
1	2	4	9,7	12,4	8,2	34,4	4,7	30,3	0	11	28,3	0	2,45	0

1	2	5	9,8	14,1	8,5	34,3	4,30	0	0	0	20,9	0	2,5	0	
1	2	5	9,8	13,8	7,5	34,3	4,90	0	0	0	0	0	2,5	0	
1	2	6	9,2	15,5	7,2	33,9	4,40	0	0	0	0	0	2,8	0	
1	2	6	9,3	14,8	7	33,9	5,00	0	0	0	0	0	2,9	0	
1	2	7	10,8	16,2	6,57	33,8	4,8	0	0	0	0	0	3,1	0	
1	2	7	11	15,8	6,85	33,8	5	0	0	0	0	0	3	0	
1	3	1	7,1	9,07	13,86	34	2,7	0	0	0	20,6	0	2	0	
1	3	1	7,1	9,25	14,65	34	2,4	0	0	0	20,9	0	2,03	0	
1	3	2	6,9	9,2	12,8	34,6	2,8	485	0	0	20	0	2,15	0	
1	3	2	7,23	9,5	13,5	34,6	2,9	520	0	0	58	15,5	0	2,33	0
1	3	3	6,9	9,32	10,2	35,2	3,9	398	0	0	0	19,8	0	2,2	0
1	3	3	7,9	9,81	10,5	35,2	3,2	700	0	0	0	38	0	2,4	0
1	3	4	7,6	13	8,4	34,4	3,9	300	0	0	0	29,6	0	2,3	0
1	3	4	7,5	14	8,3	34,4	3,9	430	0	0	72	29,6	0	2,5	0
1	3	5	8,6	14	7,6	34,3	3,90	0	0	0	0	19	0	2,4	0
1	3	5	8,78	15,5	7,1	34,3	3,80	0	0	0	0	20,1	0	2,56	0
1	3	6	8,6	14,9	6	33,9	4,10	0	0	0	0	20,1	0	2,7	0
1	3	6	8,8	16,5	6,8	33,9	3,50	0	0	0	0	20,1	0	2,7	0
1	3	7	8,7	15,3	4,99	33,8	4,9	0	0	0	0	0	0	2,8	0
1	3	7	8,7	17,2	6,32	33,8	4,5	0	0	0	11	20,2	0	2,7	0
2	1	1	6,8	7,06	15,67	34	2,1	0	1.000.000,00	0	0	20,9	0	2,01	0
2	1	1	6,8	8,4	15	34	2,6	0	1.000.000,00	0	0	20,9	0	2,02	0
2	1	2	7,06	7,6	12,4	34,6	2,7	10	70.000,0	0	0	20,6	0	2,25	0
2	1	2	7,23	8,8	12,5	34,6	2,7	0	80.000,0	0	0	20,9	0	2,24	0

2	1	3	7,08	7,83	10,3	35,2	3,5	586	65.000,0	0	20,1	0	2,3	0
2	1	3	7,08	9,33	9,8	35,2	3,6	800	65.000,0	15	20,6	0	2,3	0
2	1	4	7,9	12,7	8,1	34,4	4	725	50.000,0	0	20,3	0	2,4	0
2	1	4	6,84	13,7	8,5	34,4	4,5	1400	60.000,0	19	20,6	0	2,5	0
2	1	5	7,1	14,2	7,6	34,3	4,10	635	20.000,0	0	20,4	0	2,5	0
2	1	5	7,5	14,1	7,6	34,3	4,90	900	30.000,0	10	20,3	0	2,6	0
2	1	6	8	15,4	7,1	33,9	3,20	385	20.000,0	0	20,2	0	2,8	0
2	1	6	7,8	15	6,8	33,9	3,80	530	30.000,0	10	20,1	0	2,8	0
2	1	7	8,2	17,5	6,92	33,8	4,7	10	10.000,0	0	20,2	0	2,9	0
2	1	7	8	16,8	6,22	33,8	4,9	0	25.000,0	5	20,6	0	2,8	0
2	2	1	6,8	8,4	15,32	34	2,5	0	1.000.000,0	0	20,9	0	2	0
2	2	1	7	8,87	12,66	34	2,9	0	1.000.000,0	0	20,9	0	2,03	0
2	2	2	7,39	8,9	11,4	34,6	3,1	200,8	150.000,0	28	18	0	2,16	0
2	2	2	7,22	9,5	10,5	34,6	3,5	0	12.000,0	18	20,8	0	2,18	0
2	2	3	7,5	9,89	9,9	35,2	3,8	1080	100.000,0	45	19,3	0	2,35	0
2	2	3	7,03	9,81	9,3	35,2	3,9	360	100.000,0	19	20,6	0	2,2	0
3	2	4	7,88	12,7	8,3	34,4	4,1	2700	95.000,0	58	18,8	0	2,45	0
2	2	4	7,01	11,5	8	34,4	4,5	410	90.000,0	21	20,8	0	2,4	2
2	2	5	8,17	13,8	6,2	34,3	4,25	2000	85.000,0	30	19	0	2,6	0
2	2	5	7,8	12,8	7,1	34,3	4,57	380	50.000,0	20	20,1	0	2,6	2
2	2	6	8,3	15	5,5	33,9	4,50	1540	85.000,0	29	19,3	0	3	0
2	2	6	8,1	13,8	6,5	33,9	3,90	0	20.000,0	20	20,1	0	3,1	2
2	2	7	8,5	14,9	4,85	33,8	5,1	1050	20.000,0	23	20,1	0	3	0
2	2	7	8,2	13,9	6,14	33,8	4,8	0	15.000,0	19	20,3	0	3,2	2

2	3	1	7,2	8,47	11,71	34	2,8	0	1.000.000,00	0	20,9	0	2,3	0
2	3	1	7,1	8,01	13,34	34	2,8	0	1.000.000,00	0	20,9	0	2,2	0,00
2	3	2	7,28	9,2	11,2	34,6	3,4	330	100.000,0	15	18,5	0	2,39	4,5
2	3	2	6,82	8,5	12,5	34,6	3	1050	120.000,0	31	11	0	2,3	4,00
2	3	3	7,29	10,2	9,1	35,2	3,9	896	95.000,0	22	19,1	0	2,45	3,2
2	3	3	7,4	8,67	10,5	35,2	3,5	1650	100.000,0	35	19,3	0	2,4	3
2	3	4	7,82	11,9	8,1	34,4	4,9	2000	90.000,0	38	19,6	0	2,6	3
2	3	4	6,5	12,8	8,8	34,4	4,8	2150	120.000,0	36	20,6	0	2,5	2
2	3	5	7,42	13,4	7	34,3	5,26	2150	35.000,0	42	19,2	0	2,8	3
2	3	5	8,4	15,2	7,2	34,3	5,40	1960	35.000,0	30	20,1	0	2,5	2
2	3	6	7,54	14,5	7	33,9	4,80	2050	35.000,0	36	19,6	0	3	2
2	3	6	8,5	16,5	5,2	33,9	4,90	1800	35.000,0	30	20,1	0	3	2
2	3	7	8,1	15,9	6,7	33,8	5,1	1950	30.000,0	28	20	0	3,1	2
2	3	7	8,6	17	4,97	33,8	5,2	1600	25.000,0	21	20,1	0	3	2
3	1	1	7	8,63	14,93	34	2,5	0	1.000.000,00	0	20,9	0	2,1	0
3	1	1	7	9,5	15,08	34	3,5	0	1.000.000,00	0	20,9	0	2	0
3	1	2	7,24	7,9	10,5	34,6	2,5	15	5.000.000,0	0	20,4	0	2,2	2
3	1	2	7,19	15,5	12,1	34,6	2,8	25	650.000,0	0	20,1	0	2,3	2
3	1	3	7,12	14,8	9,7	35,2	3	550	300.000,0	0	20	0	2,4	3
3	1	3	6,8	11,9	9,7	35,2	3	115	350.000,0	0	20,6	0	2,4	2
3	1	4	7,05	10,2	8,20	34,4	4,1	1550	200.000,0	0	20,6	0	2,6	1
3	1	4	6,65	15,4	8,00	34,4	4,2	195	250.000,0	0	20,6	0	2,6	0
3	1	5	6,98	15	6,5	34,3	4,1	960	150.000,0	0	20,6	0	2,7	3

3	1	5	6, 32	15	7	34,3	3,5	95	140.000,0	0	20 ,6	0	2,7	3
3	1	6	6, 92	13, 8	6	33,9	3,2	630	100.000,0	0	20 ,6	0	2,8	2
3	1	6	6	14, 5	3,2	33,9	2,8	36	90.000,0	0	20 ,6	0	2,7	2
3	1	7	6, 36	15, 2	5,47	33,8	2,7	0	90.000,0	0	20 ,6	0	3,0	3
3	1	7	5, 96	14, 8	6,74	33,8	2,7	0	80.000,0	0	20 ,6	0	3,1	3

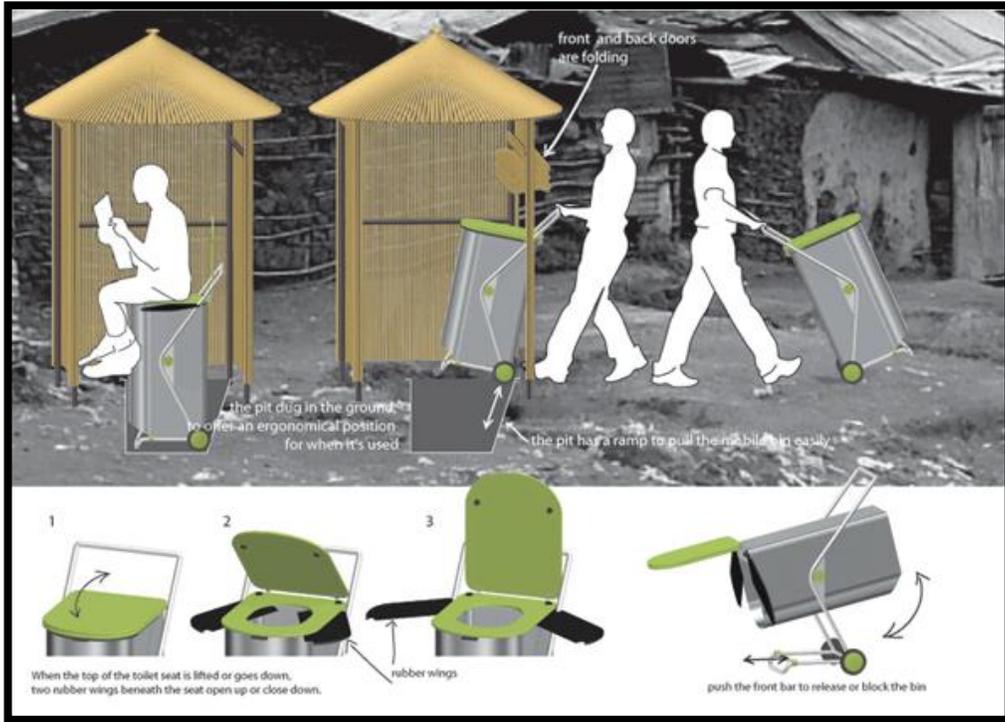
## ANEXO X. MANUAL DE UN SANITARIO SECO

### 1. Ventajas del sanitario seco ecológico

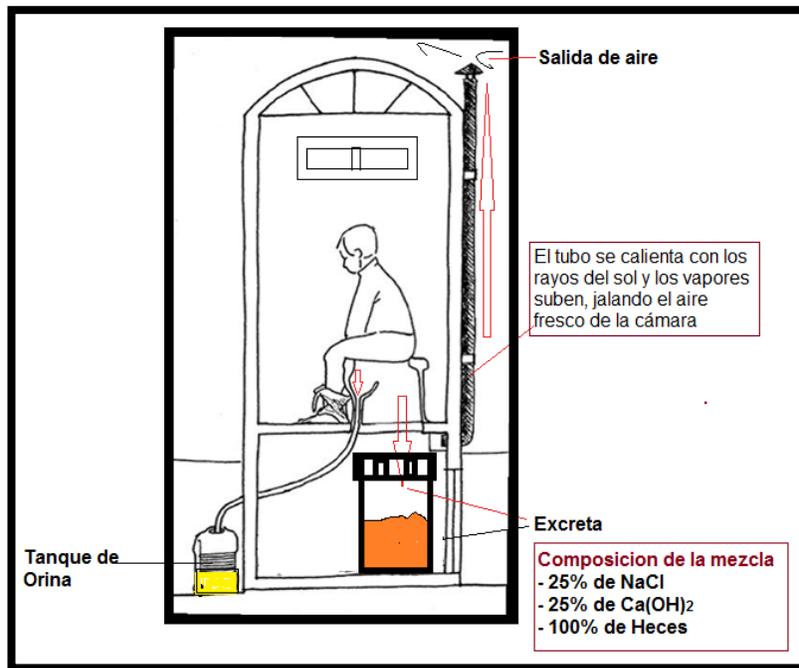
- Ahorra agua
- Cuida el medio ambiente
- Produce abono
- Produce fertilizante
- Es barato
- Se construye fácilmente con mano de obra y materiales
- Sanitario limpio y sin olores

**El Sanitario ecológico seco (SES) es una alternativa para el tratamiento de las excretas humanas y convirtiéndolas en inofensivas para el medio ambiente**

Figura 1. Manejo de la excreta humana

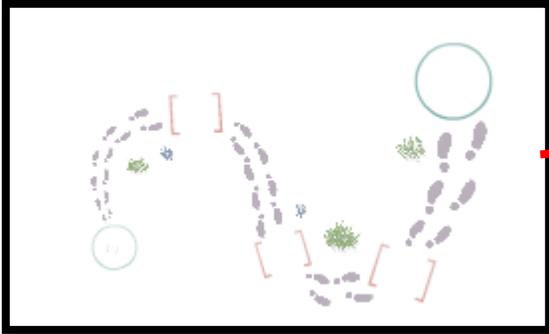


## 2. Cómo Funciona el SES?



### 3. Qué tipo de tratamiento utiliza el SES?

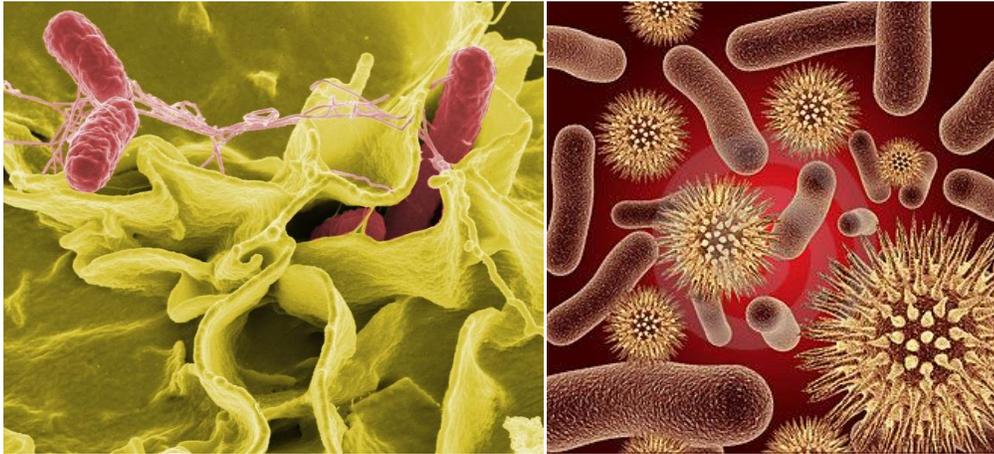
- Flujo de oxígeno constante



Debe haber buen flujo de aire sobre la materia orgánica

- Temperatura cálida (ambiente)

Debe haber calor (Mayor de 20°C)



- Humedad media

Entre 45 – 70%

No debe haber olores desagradables

- Alcalinidad (pH mayor de 9)



- Evaporación

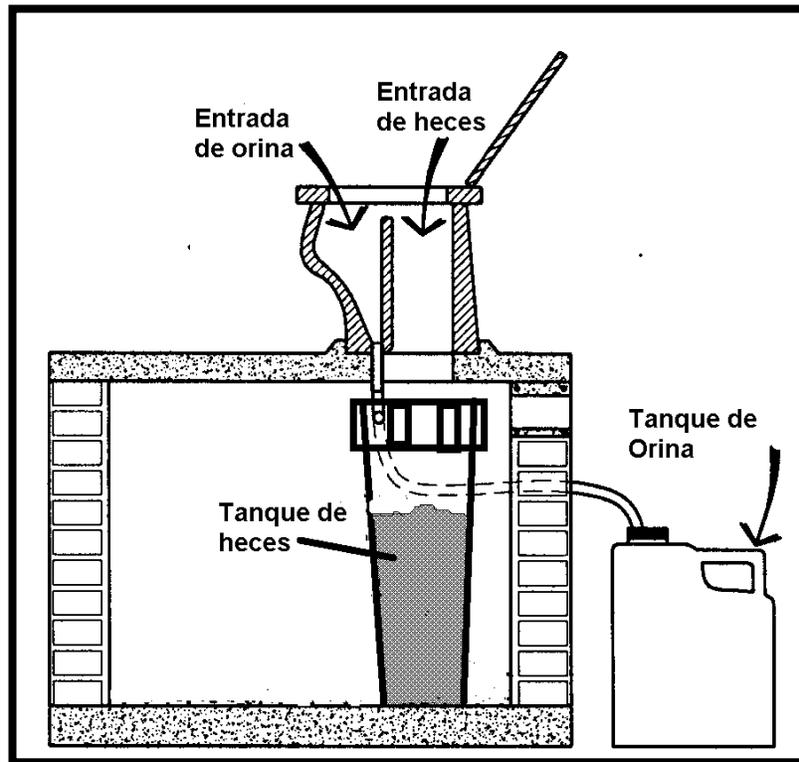


- **Tiempo de destrucción microbiana y deshidratación**



#### **4. TAZA O BACINETE**



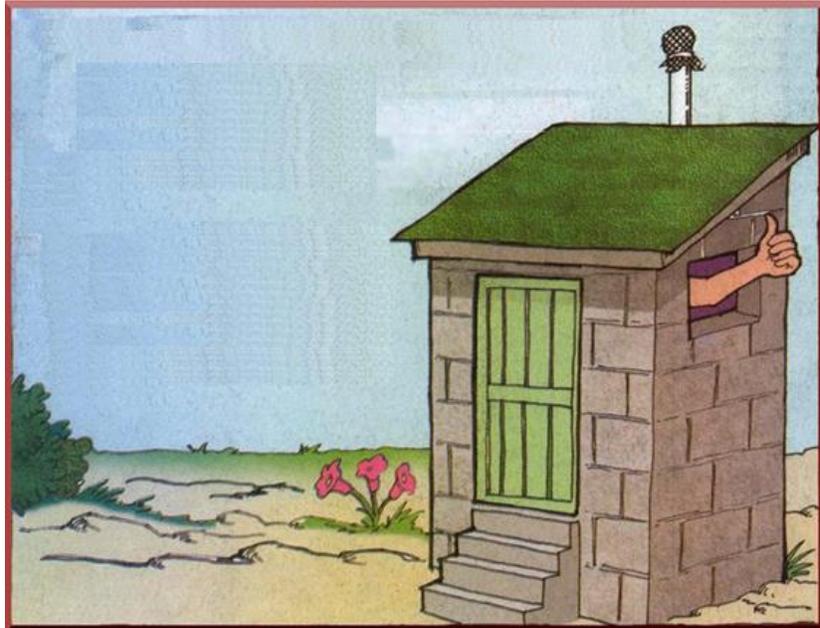


Las tazas son de cemento, fibra de vidrio o cerámica. Las tazas pueden llevar tapas, pero a su vez deben hacerse huecos con malla mosquitera para facilitar la evaporación.

Las tazas deben de separar la orina de las heces, como se ilustra en la figura

## 5. DISEÑO

La localización es uno de los principales parámetros a definir en la localización del ecosanitario, teniendo en cuenta la facilidad en las vías de acceso



Otras consideraciones a tener en cuenta son: Compuertas, aperturas, ventilación, ducto de ventilación, diseño del sanitario, alturas del sanitario, cámaras, interior de caseta, lista de materiales, entre otras.

## 6. CONSTRUCCIÓN

Se debe tener en cuenta:

**Como hacemos la ventilación**

**Como hacemos la cámara**

**Como instalamos una taza separadora**

**Como preparamos las aperturas necesarias**

**Como hacemos la compactación**

**Como preparamos el terreno**

**Como hacemos la losa**

**Como preparamos para construir la caseta**

**Conocer cómo funciona el proceso de transformación nos ayuda a mantener correctamente el SES**

## 7. USO Y MANTENIMIENTO

Depende de 4 factores:

Humedad

Oxigeno

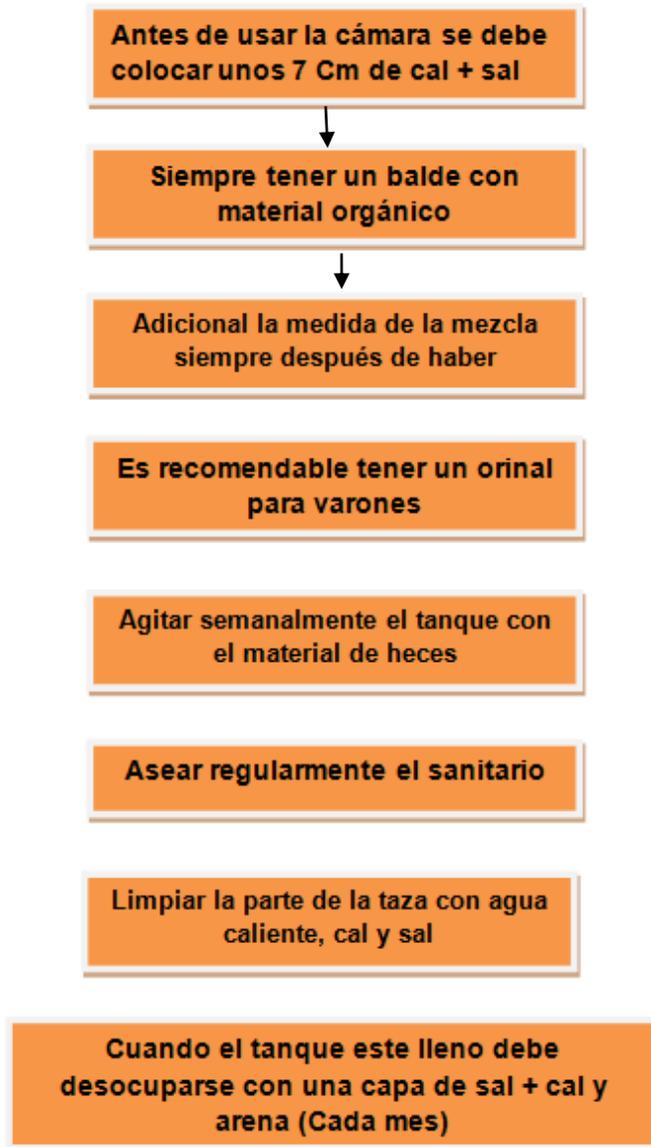
Temperatura

Balance

### 7.1. Qué hacer y qué no hacer

Que hacer	Que no hacer
Separar la orina de las heces	No adicionar químicos tóxicos
Mezclar en el exterior de las cámaras los materiales Dentro del sanitario debemos un balde con mezcla para cubrir las excretas	Si adicionamos material con mucho carbono, no necesitamos echar cal siempre que agregamos material con olor fuerte debemos cubrirlo
Podemos agregar otros materiales al sanitario.	
Si sospecha que su producto no es adecuado para aplicarlo a plantas lo puede adicionar a arboles no comestibles	No debemos preocuparnos por la presencia de escarabajo, parásitos dentro de las cámaras. Proteger las cámaras de animales domésticos

## 7.2. Limpieza y cuidados



## 8. Lista de chequeo (Evaluación)

Si estamos usando el SES correctamente vamos a decir si a todas las preguntas			
Solamente estamos usando una cámara a la vez	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Es agradable usar el sanitario por que no huele mal	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Todos en casa usamos el sanitario, los niños también	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Siempre hay un balde con mezcla dentro de la cámara	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Cuando usamos el SES cubrimos las excretas con la mezcla	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Desbaratamos la montañita formada dentro del balde	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
El sanitario está limpio por que lo aseptamos	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Las cámaras están protegidas para que no entren insectos	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
El tubo ventilador se calienta con el sol y está destapado	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Siempre evitamos tirar basura dentro de las cámaras	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Las cámaras están selladas y repelladas	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Todos los usuarios estamos cómodos al usar la taza	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
¿Lavamos las manos con agua y jabón después de ir al baño?	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
En caso de tener un SES separador:	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
¿La orina fluye por la tubería por que no está tapada?	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
¿Limpiamos los ductos de la orina con cl y agua caliente?	si	<input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>

## 9. Mezclas

Las mezclas dadas en el estudio son:  $\text{NaCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$  + heces, definida en las proporciones: 1/1; 0.75/1 y 0.25/1, donde el numerador es la concentración de los

analitos y el denominador son las heces. Las mezclas por si solas no se transforman en un producto seguro. Dentro de las materias primas mas usadas tenemos:

• Algas
• Amaranto
• Aserrín
• Camarón
• Carbón
• Cáscara de arroz
• Cáscara de avena
• Corteza de árboles
• Directorios telefónicos
• Frijol de soya
• Frutas
• Granos de café
• Heces
• Helecho
• Hierba
• legumbres

## 10. PRODUCTOS

### 10.1. Abono

**Compuesto por material orgánico tales como:**

- Madera, residuos agroindustriales
- Heces de animales

- Raíces
- Tallos
- Material vegetal
- Frutas de desechos



### **Razones para producir abonos**

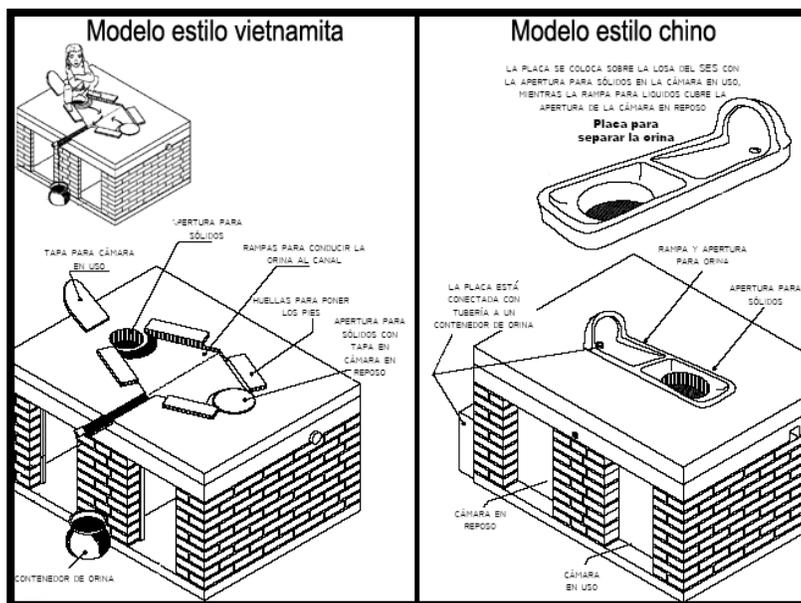
Enriquece el suelo  
Previene la contaminación  
Alivia la Contaminación  
Restaura a la tierra  
destruye los patógenos  
Apoya el nivel económico

## Tipos de SES

- **Abonero:**
  - Cámara en el exterior
  - Cámara de tratamiento o de compostaje
  - Con una sola Cámara
- **En el interior de la casa**



- **Sanitario Ecológico Seco Sin taza (estilo Vietnamita)**



## ANEXO Y. ACTIVIDADES DEL TRABAJO INVESTIGATIVO







