



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

**“MANEJO DEL MATERIAL VEGETAL LECHUGUIN (*Eichhornia
crassipes*) Y LENTEJA DE AGUA (*Lemna sp*) GENERADOS EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA
PARROQUIA DE CHALTURA”**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORA: Daniela Paulina Donoso Vallejo

DIRECTOR: M. Sc. Galo Pabón Garcés

Ibarra, febrero 2015

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“MANEJO DEL MATERIAL VEGETAL LECHUGUÍN (*Eichhornia crassipes*) Y
LENTEJA DE AGUA (*Lemna sp*) GENERADOS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA DE
CHALTURA”**

Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito
parcial para obtener el Título de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:



M. Sc. GALO PABÓN GARCÉS

DIRECTOR



M. Sc. GALO PABÓN GARCÉS

BIOMETRISTA

Ibarra – Ecuador

2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003089537		
APELLIDOS Y NOMBRES	Donoso Vallejo Daniela Paulina		
DIRECCIÓN	Calle Juan de Velasco 8-46 entre Dos de Marzo y Rocafuerte		
E-MAIL	dani_dono88@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO	062907472	TELÉFONO MÓVIL	0998143533
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO	“MANEJO DEL MATERIAL VEGETAL LECHUGUIN (<i>Eichhornia crassipes</i>) Y LENTEJA DE AGUA (<i>Lenma sp</i>) GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA DE CHALTURA”		
AUTORA	Daniela Paulina Donoso Vallejo		
FECHA	2015-02-08		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA	Pregrado		
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables		
DIRECTOR	M. Sc. Galo Jacinto Pabón Garcés		

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

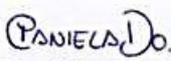
Yo, **DANIELA PAULINA DONOSO VALLEJO**, con cédula de ciudadanía Nro. 1003089537; en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o Trabajo de Grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con Ley Orgánica de Educación Superior, Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

La autora, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 9 de febrero 2015

LA AUTORA:


Daniela Paulina Donoso Vallejo
C.C. 100308953-7

ACEPTACIÓN:


x *Dr. Bethy Chávez*

Ing. Bethy Chávez

JEFA DE BIBLIOTECA

Facultada por Resolución del
Honorable Concejo Universitario



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **DANIELA PAULINA DONOSO VALLEJO**, con C.C Nro. 100308953-7; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra Trabajo de Grado denominado “**MANEJO DEL MATERIAL VEGETAL LECHUGUÍN (*Eichhornia crassipes*) Y LENTEJA DE AGUA (*Lemna sp*) GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA DE CHALTURA**”, que ha sido desarrollada para optar por el Título de Ingeniera en Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte

DANIELA D.O.

Daniela Paulina Donoso Vallejo

C.C: 100308953-7

Ibarra, febrero 2015.

FORMATO DEL REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 2015-01-30

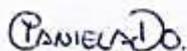
DONOSO VALLEJO DANIELA PAULINA.

“MANEJO DEL MATERIAL VEGETAL LECHUGUÍN (*Eichhornia crassipes*) Y LENTEJA DE AGUA (*Lemna sp*) GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA DE CHALTURA”/ TRABAJO DE GRADO. Ingeniera Recursos Naturales Renovables Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Recursos Naturales Renovables Ibarra. EC. Febrero 2015. 168 p. anex., diagr.

DIRECTOR: M. Sc. Galo Pabón Garcés.

El objetivo de la investigación fue realizar el manejo integral del material vegetal lechuguín (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna sp*) generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la parroquia de Chaltura, para dar un valor agregado a la biomasa resultante del proceso de tratamiento; estudio en el cual se encontró que tanto las diferentes proporciones de Lechuguín (*E. crassipes*) Lenteja (*Lemna sp*) tienen efecto sobre el pH, conductividad, nitrógeno total, nitrógeno mineral, fósforo, potasio y recuento de coliformes fecales.

Fecha: Febrero 2015



Daniela Paulina Donoso Vallejo

f) Autora



M.Sc. Galo Pabón Garcés

f) Director de Tesis

PRESENTACIÓN

La presente tesis de investigación se realizó con el apoyo del Gobierno Autónomo Municipal Descentralizado de Antonio Ante en el proyecto de Tratamiento de Agua Residuales de Chaltura ejecutado por la Unidad de Gestión Ambiental; estudio que contiene una guía informativa, para generar una alternativa de manejo del material vegetal que genera la planta de tratamiento a nueve familias de la parroquia de Chaltura, quienes integran la Asociación de Regantes.

La tesis se sustentó en el Plan de Ordenamiento Territorial dentro de la utilización de abonos orgánicos, enmarcado en un plano social, económico y ambiental lo que permite la sostenibilidad de recursos naturales en beneficio de la población del Cantón Antonio Ante.

Los criterios emitidos, así como conceptos, cuadros, tablas, mapas, resultados y más información que se presenta en la tesis, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Daniela Paulina Donoso Vallejo

DEDICATORIA

A Dios por todo lo creado, porque me ha dotado de la inteligencia, perseverancia, esfuerzo y capacidad de trabajo, que en el diario vivir me ha permitido alcanzar metas muy pequeñas y muy grandes, todas ellas muy significativas en mi vida.

A mis padres y abuelitos, mi inspiración y ejemplo, su constante apoyo amoroso, ha llenado mi vida de lindos recuerdos desde mi niñez, papitos queridos, este trabajo y título profesional, les dedico como recompensa a sus desvelos, Dios siempre les bendiga.

A mis hermanos, este trabajo les dedico, porque en el cumplimiento de mi investigación, debí restarles el tiempo de nuestras travesuras, inquietudes y confidencias; y además, porque los amo mucho.

Daniela Paulina Donoso Vallejo

AGRADECIMIENTO

La autora deja constancia de su agradecimiento al personal docente y académico de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte, por su apoyo permanente en el desarrollo personal integral y académico.

Especial reconocimiento merecen los profesores de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables que con su paciencia y ética profesional, contribuyeron a sembrar el amor por la ciencia, particularmente al biólogo Galo Pabón Garcés, Maestro en Ciencias, por su acertada y constante dirección del trabajo de investigación y a los lectores del informe de investigación principalmente a la ingeniera en Recursos Naturales Renovables, Magíster Mónica León por su amistad y confianza.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Antonio Ante y al personal operativo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la parroquia Chaltura, por su apoyo en la ejecución del proyecto de investigación y por su paciencia durante las interminables jornadas de trabajo compartidas.

A los jefes de las familias integrantes de la Asociación de Regantes, que colaboraron en los trabajos de campo y en las aplicaciones piloto de los productos resultantes de la investigación.

Finalmente, un profundo agradecimiento a todos quienes, de una u otra forma, brindaron su apoyo incondicional mediante sus acertadas observaciones, consejos y orientación, que permitieron alcanzar las metas planteadas en la investigación.

Daniela Paulina Donoso Vallejo

RESUMEN

El Gobierno Autónomo Municipal Descentralizado de Antonio Ante (GAMD-AA), con la finalidad de disminuir el problema ambiental para el tratamiento de agua, ha implementado la Planta de tratamiento de agua residual, proyecto que utiliza el lechuguin de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*lemna sp*); especies vegetales que se reproducen en las piscinas de tratamiento y que en la investigación se utilizan para la elaboración de compostaje, con la finalidad de reutilizar desechos vegetales como abono orgánico.

Los residuos vegetales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia de Chaltura, se procesaron en 36 camas de compostaje de lechuguin y lenteja de agua, estudio que se diseñó con nueve tratamientos y 4 repeticiones; además se evaluó el efecto de la aplicación de aditivos (suero de leche y melaza) sobre la calidad físico-química (Ph, conductividad, nitrógeno total, nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal, materia orgánica, potasio, fósforo y recuento de coliformes totales) y microbiológica del compost, junto con el grado de variación de temperatura alcanzado en cada uno de los tratamientos.

La metodología utilizada, se basó en un proceso aeróbico de cuarenta y dos días, para propiciar un proceso adecuado en la transformación de la materia orgánica, en el que se realizaron volteos semanales de forma manual, riegos diarios para mantener la humedad óptima (-40%) que en este caso se utilizó la humedad que proporcionan las aguas lluvias en invierno; además se realizó la medición de temperatura dos veces al día, la construcción de las camas de compostaje fue con el apoyo de los trabajadores del Municipio de Antonio Ante y el ajuste de las dosis de material vegetal fueron pre establecidas y la toma de muestras se realizó al final del proceso, para el análisis microbiológico realizado en el laboratorio de la Universidad Técnica del Norte. En los resultados de laboratorio se determina un Ph óptimo de 7 (neutro); materia orgánica 18; conductividad entre 1,6 a 2 ms/cm; nitrógeno total 1,05%; nitrógeno nítrico 0,3%; fósforo total 2,99mg/1000gr; potasio de 2,04%; recuento de coliformes totales 13,6UFC/gr; indicadores que están dentro de la normativa tomada en cuenta como indicador para la evaluación del compostaje

SUMMARY

The Municipal Government Autonomous Decentralized Antonio Ante (GAMD-AA), in order to decrease the environmental problem holds for water treatment, such as the implementation of the treatment plant wastewater project using lechuguin water (*Eichhornia crassipes*) and duckweed (*lemna sp*); plant species that breed in siland in research are used for the production of compost, in order to reuse plant waste as organic fertilizer.

Plant residues generated in the treatment plant wastewater Parish Chaltura (plants), four 36-bed composting lechuguin and duckweed study was designed with nine treatments and 4 replicates were installed; also the effect of the application of additives (whey and molasses) on the physico-chemical (pH, conductivity, total nitrogen, nitrate nitrogen, moniacal nitrogen, organic matter, potassium, phosphorus and total coliform count) and quality assessed microbiological compost along with the degree of variation of temperature reached in each of the treatments.

The methodology used was based on an aerobic process forty-two days, to permit adequate process in the exchange of organic matter, which manually volts weekly, daily irrigations were performed to maintain optimal humidity (-40 %) moisture providing rainwater in winter was used in this case; further temperature measurement was performed twice a day, the first day of application assembly composting beds pre set dose, and sampling at the end of the process, for microbiological analysis under the same environmental conditions performed in the laboratory Technical University of the North and was determined as the most efficient T7 treatment at doses of 70% lechuguin and 30% duckweed as guaranteed to obtain a good quality compost based Colombian quality standard composting (NTC5167).

Laboratory results an optimal pH of 7 (neutral) is determined; 3.15 organic matter; conductivity between 1.6 to 2 ms / cm; Total nitrogen 1.05%; 0.3% nitrate nitrogen; total phosphorus 2,99mg / 1000gr; 2.04% potassium; 13,6UFC total coliform count / gr; Indicators that are within the rules taken into account as an indicator for evaluation of composting.

INDICES

CONTENIDO	PÁGINAS
RESUMEN.....	x
SUMMARY	xi
INDICES	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
ÍNDICE DE ANEXOS	xxi
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.2 HIPÓTESIS	4
1.2.1 HIPÓTESIS DE TRATAMIENTOS	4
CAPITULO II	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 MARCO LEGAL.....	5
2.2 AGUA RESIDUAL	6
2.2.1 CONSTITUYENTES DEL AGUA RESIDUAL	6
2.3 PLANTAS ACUÁTICAS UTILIZADAS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO	7
2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS	7
2.4 TAXONOMÍA DE <i>EICHHORNIA CRASSIPES</i>	8
2.4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	9
2.4.2 HÁBITAT DE CULTIVO.....	10
2.4.3 BENEFICIOS	10

2.5	TAXONOMÍA DE <i>LENMA SP</i>	10
2.5.1	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	11
2.5.2	HABITAD DE CULTIVO	11
2.5.3	BENEFICIOS	11
2.5.4	DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON PLANTAS ACUÁTICAS	12
2.5.5	PROCESO DE DEPURACIÓN	12
2.5.6	EFICIENCIA	14
2.6	COMPOSTAJE	14
2.6.1	OBJETIVOS DEL COMPOSTAJE	15
2.6.2	COMPOSTAJE AERÓBICO	15
2.6.3	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	16
2.6.4	TÉCNICAS DE COMPOSTAJE	18
2.6.5	FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE	18
2.6.6	CONDICIONES DEL COMPOSTAJE	22
2.6.7	ADITIVOS PARA ACELERAR EL PROCESO DE COMPOSTAJE	24

CAPÍTULO III 25

3	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
3.2	DATOS ECOLÓGICOS DEL SITIO	25
3.3	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	26
3.4	MATERIALES Y EQUIPOS	28
3.5	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL LECHUGUIN Y LENTEJA DE AGUA	28
3.6	FACTORES EN ESTUDIO	29
3.7	TRATAMIENTOS	30
3.8	DISEÑO EXPERIMENTAL	30
3.9	ANÁLISIS FUNCIONAL	30
3.10	UNIDAD EXPERIMENTAL	31
3.11	MANEJO DEL MATERIAL VEGETAL	32

3.11.1	CONSTRUCCIÓN DE COMPOSTERAS.....	32
3.11.2	COSECHA.....	32
3.11.3	DESHIDRATACIÓN	33
3.11.4	TRITURACIÓN	34
3.11.5	DISPOSICIÓN DEL MATERIAL VEGETAL.....	34
3.11.6	PROCESO DE COMPOSTAJE	35
3.12	MANEJO DEL EXPERIMENTO	35
3.12.1	PREPARACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL.....	36
3.12.2	PREPARACIÓN DE MEZCLA DE MATERIA ORGÁNICA	36
3.12.3	PREPARACIÓN DE MEZCLA DE ADITIVO.....	37
3.13	CONTROL DE HUMEDAD.....	38
3.13.1	CONTROL DE AIREACIÓN Y RIEGO POR TEMPERATURA.....	39
3.13.2	CONTROL DE MALOS OLORES.....	39
3.13.3	TOMA DE MUESTRAS DE COMPOST.....	39
3.13.4	VALORACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DEL COMPOST	40
3.14	TABULACIÓN DE DATOS.....	41
3.15	ELABORACIÓN DE CUADROS, TABLAS Y GRÁFICOS	41
3.16	ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE MANEJO DE COMPOSTAJE	42
	 CAPÍTULO IV	 43
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL- ANÁLISIS BROMATOLÓGICO	43
4.2	VALORACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS MICROBIOLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE COMPOST	45
4.2.1	TIEMPO DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	45
4.2.2	CANTIDAD DE COMPOST OBTENIDO.....	45
4.2.3	TEMPERATURA DE LA BIOMASA EN EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN	46

4.2.4	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL COMPOST Y RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO.....	48
4.2.5	VALOR DE PH DEL COMPOST.....	49
4.2.6	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LA MATERIA ORGÁNICA COMPOSTADA.....	50
4.2.7	NITRÓGENO TOTAL DE LA MATERIA ORGÁNICA COMPOSTADA.....	52
4.2.8	NITRÓGENO MINERAL (NÍTRICO Y AMONIACAL) DE LA MATERIA ORGÁNICA COMPOSTADA.....	54
4.2.9	FÓSFORO TOTAL DE LA MATERIA ORGÁNICA COMPOSTADA.....	56
4.2.10	CONTENIDO DE POTASIO EN EL COMPOST.....	58
4.2.11	RECuento DE COLIFORMES TOTALES.....	60
4.3	GUÍA DE MANEJO DE COMPOSTAJE.....	61
4.3.1	COMPOSTAJE CON PLANTAS ACUÁTICAS.....	62
4.3.2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL COMPOSTAJE.....	62
4.3.3	FASES DEL COMPOSTAJE.....	63
4.3.4	PARÁMETROS IMPORTANTES DEL COMPOSTAJE.....	64
4.3.5	NUTRIENTES DEL COMPOST.....	64
4.3.6	HERRAMIENTAS RECOMENDADAS PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOST.....	66
4.3.7	ELABORACIÓN DE COMPOST.....	69
4.3.7.1	COSECHA DE LECHUGUIN Y LENTEJA DE AGUA.....	69
4.3.7.2	COSECHA.....	69
4.3.7.3	ESCURRIMIENTO.....	70
4.3.7.4	SELECCIÓN DEL ÁREA A COMPOSTAJE.....	70
4.3.7.5	PESAJE.....	71
4.3.7.6	TRITURACIÓN.....	71
4.3.7.7	DESCARGA.....	72
4.3.7.8	VOLTEO.....	72
4.3.8	CONTROL DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y PH.....	72
4.3.8.1	TAMIZADO.....	74
4.3.8.2	SEGUIMIENTO A LAS LABORES DE CAMPO.....	75

4.3.9	PROBLEMAS COMUNES.....	76
4.3.10	PRODUCCIÓN MENSUAL.....	76

CAPÍTULO V 77

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1	CONCLUSIONES	77
5.2	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍA	81
	ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Constituyentes del Agua Residual	6
Tabla 2.2. Eficiencia de las plantas macrófitas en la remoción de aguas residuales.....	14
Tabla 2.3. Condiciones óptimas del proceso de compostaje.....	23
Tabla 2.4 Requisitos específicos	24
Tabla 3.1. Coordenadas de Ubicación del Área de Estudio.....	26
Tabla 3.2. Infraestructura de la PTAR	27
Tabla 3.3 Materiales experimentales.....	28
Tabla 3.4 Descripción de los 9 tratamientos	30
Tabla 4.1 Análisis Bromatológico.....	43
Tabla 4.2 Eficiencia de producción de compostaje.....	46
Tabla 4.3 Análisis de varianza para la variable del valor de pH.....	49
Tabla 4.4 Resultados de la prueba de Tukey al 5% al factor pH en los tratamientos.	49
Tabla 4.5 Análisis de ADEVA para la variable contenido de conductividad.....	50
Tabla 4.6 Resultados de la prueba de Tukey al 5% al factor conductividad en los tratamientos.	51
Tabla 4.7 Análisis de ADEVA para la variable contenido de nitrógeno total.	52
Tabla 4.8 Resultados de la prueba de Tukey al 5% para la variable nitrógeno total en los tratamientos.	53
Tabla 4.9 Análisis de ADEVA para la variable de nitrógeno nítrico.....	54
Tabla 4.10 Análisis de ADEVA para la variable contenido de nitrógeno amoniacal.	54
Tabla 4.11 Resultados de la prueba de Tukey al 5% de contenido de nitrógeno nítrico en los tratamientos.....	55
Tabla 4.12 Resultados de las prueba de Tukey al 5% de contenido de nitrógeno amoniacal en los tratamientos.....	55
Tabla 4.13 Análisis de ADEVA para la variable contenido de fósforo total.....	57
Tabla 4.14 Resultado de la prueba de Tukey al 5% de contenido de fósforo total en los tratamientos.	57

Tabla 4.15 Análisis de ADEVA para la variable contenido de potasio.	58
Tabla 4.16 Resultado de la prueba de Tukey al 5% de contenido de potasio en los tratamientos.....	59
Tabla 4.17 Análisis de ADEVA para la variable contenido de coliformes totales.....	60
Tabla 4.18 Resultados de la prueba de Tukey al 5% de contenido de coliformes totales en los tratamientos	60
Tabla 4.19 Contenido de N, P y K.....	65
Tabla 4.20 Hoja de registro para las compost	76
Tabla 4.21 Problemas comunes durante el proceso de compostaje.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Plantas acuáticas flotantes	8
Figura 2.2. Proceso de compostaje.....	16
Figura 2.3. Fases del compostaje	17
Figura 2.4. Perfil de temperatura de una pila de compost estática.....	19
Figura 2.5. Concentración de oxígeno en una pila de compost, porcentaje de la aireación	20
Figura 2.6. Dendrograma de la población microbiana del suelo con respecto a la temperatura.....	22
Figura 3.1 Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura.....	25
Figura 3.2. Ensayo de pesos.....	29
Figura 3.3 Representación de las unidades experimentales	31
Figura 3.4 Construcción de las camas de compostaje.....	32
Figura 3.5 Cosecha del material vegetal	33
Figura 3.6 Deshidratación del material vegetal.....	33
Figura 3.7 Trituración del material vegetal.....	34
Figura 3.8 Disposición del material vegetal.....	34
Figura 3.9 Inicio del proceso de compostaje.....	35
Figura 3.10 Manejo del experimento	36
Figura 3.11 Manejo del experimento	36
Figura 3.12 Manejo del experimento	37
Figura 3.13 Mezcla de aditivos	37
Figura 3.14 Método del puño	38
Figura 3.15 Volteo y aireación.....	39
Figura 3.16 Toma de datos de T°	39
Figura 3.17 Obtención de abono	40
Figura 4.1. Temperatura registrada durante el tiempo de compostaje	47
Figura 4.2 Piscina de tratamiento con lechuguin	61
Figura 4.3 Piscinas con tratamiento de lenteja de agua	61
Figura 4.4 Material y herramientas	66

Figura 4.5 Picadora.....	67
Figura 4.6 Regadera.....	67
Figura 4.7 Termómetros de alcohol.....	67
Figura 4.8 Tamiz	68
Figura 4.9 Balanza eléctrica	68
Figura 4.10 Equipo de protección personal	68
Figura 4.11 Labor de cosecha.....	69
Figura 4.12 Escurrimiento del material vegetal	70
Figura 4.13 Área de compostaje	70
Figura 4.14 Pesaje	71
Figura 4.15 Trituración de lenteja y lechuguín.....	71
Figura 4.16 Descarga del material vegetal	72
Figura 4.17 Labor de volteo para manejo de aireación del material	73
Figura 4.18 Registro de datos de temperatura	73
Figura 4.19 Evaluación de la humedad en el proceso de compostaje	74
Figura 4.20 Material grueso.....	75
Figura 4.21 Tamizado del extracto	75
Figura 4.22 Material fino.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Fotografías del proceso de obtención de abono de lenteja de agua y lechuguín	85
Anexo B Criterios de remediación o restauración	86
Anexo C Resultados de análisis de laboratorio de suelo.....	87
Anexo D Hojas de cálculo de diseño experimental (parámetro materia orgánica).....	91
Anexo E. Valores y medias.....	93
Anexo F Mapas	96

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

El uso del agua es uno de los aspectos que se consideran en el contexto de problemas ambientales; con la finalidad de remediar el impacto negativo generando por las aguas residuales en los sistemas de purificación.

Anteriormente se identifica en el cantón Antonio Ante, las aguas residuales provenientes de las parroquias de Chaltura y Natabuela eran conducidas, una parte en afluentes naturales y otra en acequias destinadas al regadío. En la actualidad, estas aguas se tratan en la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura, construida con la gestión del Gobierno Autónomo Descentralizado de Antonio Ante (GADM-AA), aplicando el poder de depuración de las plantas acuáticas flotantes. (GADMAA-UGA, 2014)

Las especies vegetales acuáticas son benéficas para el tratamiento adecuado del agua, cuyas características se aprecian en variedades “el lechuguin de agua (*Eichhornia crassipes*), hidrofito perenne y flotante de la familia Pontedericeae y la lenteja de agua (*lemna sp*) monocotiledónea, perteneciente a la familia Lemnaceae” (Alarcón, 2012), estos beneficios de las plantas han sido reconocidos para la utilización por el GADMAA para la purificación de aguas residuales, brindando un servicio a los agricultores con el aprovisionamiento de agua de riego de los cultivos del área. El lechuguin y la lenteja de agua, son especies vegetales que en estos procesos se reproducen en forma permanente y que para evitar la sobrepoblación en el proyecto se desechan, subutilizando este recurso es considerado en la investigación para la elaboración de compostaje cuyos resultados se describen en el presente trabajo.

Las condiciones del manejo integral del material vegetal resultan de las cosechas de lechuguin y lenteja de agua constituyen el 100% del volumen total de la biomasa no es utilizada. Por este motivo se buscó implementar una técnica de compostaje en donde la materia orgánica heterogénea se transforme y la presencia de aditivos genere un producto homogéneo de calidad, (Cáceres, 2006) “resultados que han buscado en base a

experiencias aplicadas en la ciudad de Cuenca, y en la provincia de Imbabura en Otavalo, así como en las tierras bajas del Noroeste de la India en el 2013, en Beijing en el 2012, en Brasil y Perú en Sudamérica”.

En la elaboración del compostaje se identificaron los procesos de análisis o evaluación de los aspectos físicos – químicos mediante el análisis bromatológico y microbiológicos del proceso de compostaje. Se evaluaron las variables: “temperatura, humedad, pH, materia orgánica, conductividad, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitrógeno nítrico, fósforo total, potasio, relación carbono/nitrógeno y recuento de coliformes totales, como propone” (Guzmán, 2011); técnicas aplicadas con la finalidad de que el compostaje no presente dificultades en su continuidad de transformación.

La investigación se enmarca en el propósito del Plan de Ordenamiento Territorial 2014-2020, y encaja plenamente con el Plan Nacional de Desarrollo, amparado directamente en la “Política 4.7. “Prevenir y controlar la contaminación ambiental, como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida, a través del desarrollo de estrategias de descontaminación, mejoramiento de controles de calidad ambiental, y el establecimiento de estándares ambientales aplicables” en relación al uso de abonos orgánicos, en donde los principales beneficiarios fueron la Asociación de Regantes de Chaltura.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Realizar el manejo integral del material vegetal lechuguin (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna sp*) generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la parroquia de Chaltura, para dar un valor agregado a la biomasa resultante del proceso de tratamiento.

1.1.2 Objetivos específicos

Caracterizar el material vegetal mediante el análisis bromatológico de lechuguin (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna sp*), usados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura

Valorar los parámetros físico-químicos y microbiológicos importantes en la determinación de la calidad del compost.

Relatar el proceso de elaboración del compost, a través de una guía de manejo de compostaje dirigida a la asociación de regantes de la Parroquia de Chaltura, para la utilización en sus terrenos.

1.2 Hipótesis

1.2.1 Hipótesis de Tratamientos

Hipótesis Nula = H_0

H_0 = Los factores: proporción e incorporación de aditivos no muestran diferencia en el proceso y resultados de compostaje de lechuguín (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna sp.*).

$$H_{0\tau}: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_9$$

Hipótesis alternativa = $H_{1\tau}$

Los factores: proporción e incorporación de aditivos muestran diferencia en el proceso y resultados de compostaje de lechuguín (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna sp.*).

$$H_{1\tau}: \tau_{ij} \neq \tau_n$$

CAPITULO II

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco Legal

Dentro del Reglamento de la normativa de la producción orgánica agropecuaria en el Ecuador Acuerdo 302 (Registro Oficial 384, 25-X-2006) sobre la producción de compost.

En el Capítulo III se encuentra lo siguientes artículos con sus definiciones:

Art. 5.- Para la correcta interpretación de este reglamento y los efectos del mismo, se entenderán así las siguientes definiciones:

1. Abonos verdes: Todo cultivo de especies vegetales perennes o anuales utilizados en rotación y asociación y su posterior incorporación al terreno para enriquecerlo, con la finalidad de proteger, recuperar, aportar y mejorar las condiciones biológicas, físicas y nutricionales del suelo.

20. Compost o composta: Producto resultante de la descomposición biológica por fermentación controlada de materiales orgánicos. Puede tener carácter comercial.

En el Capítulo IV se menciona:

Art. 62.- Del procesamiento.- La integridad del producto orgánico debe mantenerse durante toda la fase de transformación: Desde la recepción de la materia prima hasta el procesamiento y elaboración. Esto se logra empleando técnicas apropiadas en el uso de los ingredientes específicos, con métodos de elaboración cuidadosos que limitan la refinación y, el empleo de aditivos y coadyuvantes de elaboración.

2.2 Agua residual

“Agua residual” es "una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente" Martin W, (2009).

2.2.1 Constituyentes del agua residual

Los componentes que se encuentran en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. León y Lucero, (2009). Tabla 2.1

Tabla 2.1. Constituyentes del Agua Residual

PRUEBA	ABREVIATURA	USO O SIGNIFICADO DEL RESULTADO
Sólidos totales	ST	Determinar la clase de proceso u operación para su tratamiento
Sólidos suspendidos	SST	Determinar la clase de proceso u operación para su tratamiento
Sólidos disueltos	SDT (ST-SST)	Estimar la reutilización potencial del agua residual
Conductividad	CE	Estimar si el efluente tratado es apto para su uso agrícola
Amonio libre	NH ₂	Usado como medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual
Nitrógeno total	NTK (Norg+NH ₄)	Usado como medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual
Nitritos, Nitratos, Fósforo total	NO ₃ , NO ₂ , FT	Usado como medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual
pH	Ph = log ₁ (H ⁺)	Medida de la acidez o basicidad de una solución acuosa
Organismos coliformes	NMP (número más probable)	Estimar la presencia de bacterias patógenas y la eficiencia del proceso de desinfección

Fuente: Rodier, 1998.

2.3 Plantas acuáticas utilizadas en Sistemas de Tratamiento

Las plantas acuáticas o macrófitas también conocidas como plantas hidrofíticas se encuentran adaptadas a medios muy húmedos o acuáticos como; lagos, estanques, charcos, estuarios, pantanos, orillas de los ríos, deltas o lagunas marinas. Pertenecen tanto a las algas, como a los vegetales vasculares: briófitos, pteropsidas y angiospermas (Velázquez, et al. 2010).

2.3.1 Clasificación de las plantas acuáticas

Su armonía con el medio acuático es variable. Se pueden encontrar diferentes grupos de plantas: unas totalmente sumergidas, las más numerosas, parcialmente sumergidas o con hojas flotantes. Habitualmente arraigadas en el cieno que se forma en el fondo de las aguas donde viven algunas son libres (caso excepcional en el mundo vegetal) derivando entre dos aguas y flotando en la superficie. Estas especies están adaptadas al modo de vida acuático tanto en su parte vegetativa como reproductiva. Los medios que acogen este tipo de plantas son múltiples: agua dulce, agua salada o salobre, aguas más o menos estancadas, temperaturas más o menos elevadas (Velázquez, et al. 2010). Figura 2.1

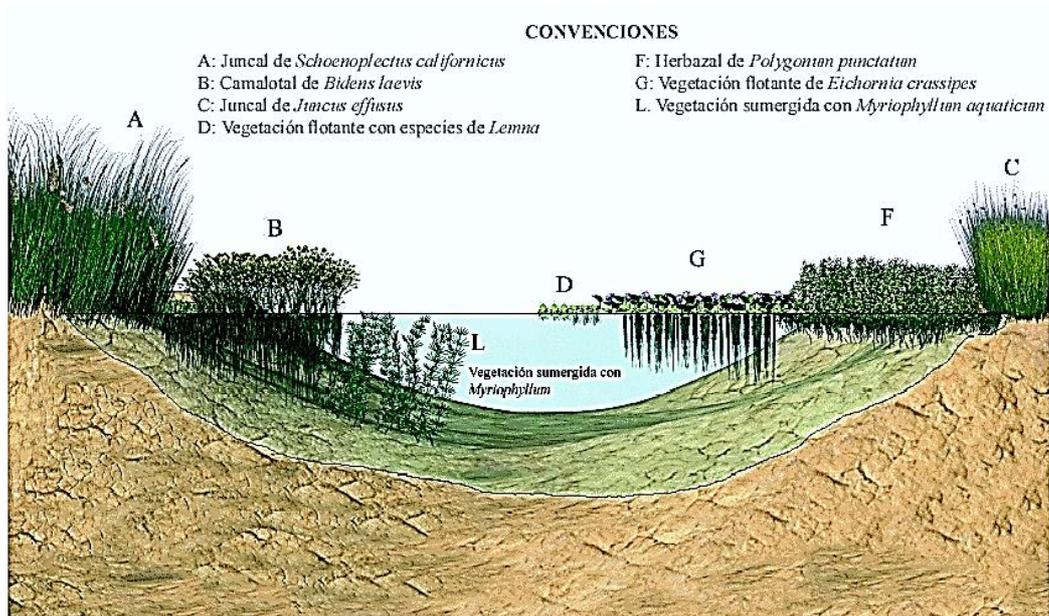
○ Las plantas acuáticas sumergidas

Son especies que las raíces y el follaje se desarrollan bajo el agua. Estas plantas contribuyen a la oxigenación del agua. Su papel es importante porque aseguran una aportación regular de oxígeno a la flora y a la fauna. Limitan el desarrollo de las algas que aprecian las aguas estancadas y poco provistas de oxígeno (Velázquez, et al. 2010).

○ Plantas acuáticas flotante

Las especies no arraigadas. Cubren la superficie del estanque ayudando a evitar la proliferación de algas. También cumplen un papel de filtración y clarificación del agua (Velázquez, et al. 2010). Figura 2.1

Figura 2.1. Plantas acuáticas flotantes



Fuente: Hernández, Rangel, (2007)

2.4 Taxonomía de *Eichhornia crassipes*

De acuerdo a (Zarela, Trujillo, 2012), la taxonomía del lechuguín o también conocido como Jacinto de agua, violeta de agua, camalote, lampazo se clasifica de la siguiente manera:

Reino:	Plantae
Subreino:	Traqueobionta (plantas vasculares)
Superdivisión:	Spermatophyta (plantas con semillas)
División:	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase:	Liliopsida (monocotiledóneas)
Subclase:	Lilidae
Orden:	Liliales
Familia:	Pontederiaceae
Género:	Eichhornia
Especie:	<i>E. crassipes</i>

2.4.1 Características Morfológicas

Hábito y forma de vida: Planta acuática libremente flotadora o fija al sustrato, perenne (Zarela, Trujillo, 2012).

Tamaño: Muy variable en tamaño, normalmente alrededor de 30 cm. Puede formar matas flotantes grandes (Zarela, Trujillo, 2012).

Tallo: Reducido, estolonífero, aunque un tallo horizontal (rizoma) alargado conecta a diferentes individuos (Zarela, Trujillo, 2012).

Hojas: Formando una roseta basal, los pecíolos largos y cilíndricos en las plantas fijas al sustrato (de 3 a 60 cm de largo), y cortos y globosos en las plantas flotantes, las láminas de las hojas casi circulares o más anchas que largas, de 2.5 a 16 cm de largo y 3 a 12 cm de ancho, ápice truncado, redondeado a ligeramente obtuso, base truncada a algo cordada (Zarela, Trujillo, 2012).

Inflorescencia: Espiciforme, con 4 a 16 flores solitarias y alternar a lo largo del pedúnculo, sésiles, pedúnculo de 6 a 26 (33) cm de largo, grueso, glabro a ligeramente pubescente (Zarela, Trujillo, 2012).

Flores: Grandes (hasta de 5 cm de largo) de color lila, variando del azul a morado, rara vez blanca, con pelillos, con la base tubulosa y hacia el ápice dividida en 6 segmentos desiguales, 3 externos y 3 internos, uno de éstos más ancho y con una mancha amarilla; 6 estambres con pelos glandulares en los filamentos, 3 de ellos más largos, las anteras aflechadas, de un tono azul (Zarela, Trujillo, 2012).

Frutos y semillas: El fruto es una cápsula elíptica, de más o menos 1.5 cm de largo, con 3 ángulos. Las semillas numerosas, de poco más de 1 mm de largo, con 10 costillas longitudinales, de color negruzco (Zarela, Trujillo, 2012).

Raíz: Fibrosas, comúnmente coloreadas (Hanan y Mondragón, 2009).

2.4.2 Hábitat de Cultivo

Nativa en la mayor parte de África, Asia, Europa y América del Norte, que se producen en todas partes que los estanques de agua dulce y lento movimiento de las corrientes se producen, a excepción de ártica y climas subártico. “Crece con tanta rapidez y eficiencia que puede provocar grandes daños de forma frecuente a una alfombra completa aun cuando las condiciones son adecuadas. Especie casi cosmopolita” (Zarela & Trujillo, 2012).

2.4.3 Beneficios

Es una planta de las más estudiadas, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación. Obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato. Posee un sistema de raíces que sus microorganismos asociados favorecen la acción depuradora de las macrófitas. Retiene en sus tejidos metales pesados. Remueve algunos compuestos orgánicos: fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas. Disminuye niveles de DBO y sólidos suspendidos (Zarela, Trujillo, 2012).

2.5 Taxonomía de *Lemna sp*

De acuerdo a (Zarela & Trujillo, 2012), la taxonomía de la lenteja de agua o también conocida como lentejas de agua, hermaninos, hierba de agua, lenteja acuática, lentejuelas de agua, etc., se clasifica de la siguiente manera:

Reino:	Plantae
División:	Fanerógamas
Clase:	Liliopsida
Orden:	Arel
Familia:	Lemnaceae
Género:	Lemna
Especie:	Lemna minuta

2.5.1 Características Morfológicas

“*Lemna sp* es una planta angiosperma (plantas con flores), monocotiledonea, perteneciente a la familia Lemnaceae. Tiene una forma taloide, es decir, en la que no se diferencia el tallo de las hojas. Constituye una estructura plana y verde y una sola raíz delgada de color blanco” (Puerta, 2007). Su tamaño es muy reducido alcanzando hasta 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Su futo es el considerado más pequeño del planeta.

Es considerada una planta monoica, con flores unicelulares. Las flores masculinas están constituidas por una solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo. Las flores nacen de una hendidura ubicada en borde de la hoja, dentro de una bráctea denominada espata, el fruto contiene de 1 a 4 semillas. La forma más común de reproducción es la asexual por gemación (Arroyave, M. P. 2004).

2.5.2 Habidad de Cultivo

La planta puede desarrollarse en un rango amplio de temperatura que varía entre 5° y 30° C, con un crecimiento óptimo entre los 15° y 18° C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación (Arroyave, M. P. 2004).

Crece rápidamente en partes calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos y pueden tolerar un amplio rango de pH, siendo el óptimo entre 4.5 y 7.5 (Arroyave, M. P. 2004).

2.5.3 Beneficios

Su capacidad de remover fosfatos es eficiente si se cosecha frecuentemente y resultó ser un buen acumulador de Cadmio, Selenio y Cobre un acumulador moderado de Cromo y pobre acumulador moderado de Níquel y Plomo, su alto crecimiento la hace una planta apropiada para actividades de fitorremediación (Zayed, 2009).

La lenteja de agua posee una proteína de excelente calidad, debido a que es rica en aminoácidos esenciales. La biomasa de la lenteja de agua, con un contenido de proteína de

más del 30% del peso seco, se puede utilizar como una alternativa rica en proteínas forrajeras. Las aguas residuales tratadas con lenteja de agua, se encuentra en un nivel aceptable y se puede reutilizar para riego agrícola (Jaramillo, 2008).

2.5.4 Depuración de aguas residuales con plantas acuáticas

La purificación de aguas residuales es una necesidad imperiosa de la sociedad moderna debido al peligro que significan estas aguas, “la utilización de las plantas acuáticas han sido desarrolladas como un tratamiento secundario o terciario alternativo de aguas” (Celishidalgo, & otros, 2005) “en los países en vías de desarrollo estos sistemas de bajo costo han sido desarrollados debido a la calidad de los efluentes obtenidos en el que se pueda alcanzar un trabajo integral” (Rodríguez; & otros, 2005), a diferencia de los métodos convencionales para su tratamiento son impracticables, por sus altos costos de operación y mantenimiento.

Las macrófitas flotantes han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas residuales con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, mercurio y removiendo sustancias tanto biodegradables como no biodegradables, nutrientes y microorganismos patógenos. Su importancia radica en su aptitud para ser empleados en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en el montaje y operación de los sistemas de tratamiento (Martelo & Borrero, 2012).

Tienen una gran capacidad para asimilar los nutrientes presentes en las aguas residuales de consumo humano, de rápido crecimiento y un alto contenido en proteína (32-40%), alta predominancia bajo condiciones naturales adversas y de fácil cosecha. Díptico, Planta de Tratamiento aguas residuales – Plantas Acuáticas, (2011)

2.5.5 Proceso de depuración

El proceso que tiene lugar para la depuración de contaminantes con macrofitas flotantes se dan a través de tres mecanismos primarios:

- Filtración y sedimentación de sólidos.

- Incorporación de nutrientes en plantas y su posterior cosechado.
- Degradación de la materia orgánica por un conjunto de microorganismos facultativos asociados a las raíces de las plantas; y en los detritos del fondo de la laguna, dependiendo del diseño.

Durante la etapa de crecimiento, las macrofitas absorben e incorporan los nutrientes en su propia estructura y funcionan como sustrato para los organismos que promueven la asimilación de estos nutrientes a través de transformaciones químicas, incluyendo nitrificación y desnitrificación, (Martelo & Borrero, 2012).

Estos sistemas de tratamiento se basan en el mantenimiento de una cobertura vegetal de macrófitas flotantes sobre la lámina de agua y se disponen a modo de estanques o canales en serie, debidamente aislados, en los que corre el influente. (Fernández, M. 2000).

En la fotosíntesis, las macrofitas flotantes emplean el oxígeno y dióxido de carbono disponible en la atmósfera. Los nutrientes son tomados de la columna de agua a través de las raíces, las cuales constituyen también un excelente medio para la filtración / adsorción de sólidos suspendidos.

El desarrollo de las raíces es función del recurso de nutrientes en el agua y de la demanda de nutrientes por que tenga planta. Por consiguiente, la densidad y profundidad del medio filtrante (raíces), depende de factores como la calidad del agua, temperatura, régimen de cosecha (Martelo & Borrero, 2012).

Los sistemas acuáticos reducen significativamente el paso de la luz solar y limitan el traspaso de gases entre la atmósfera y el agua tendiendo a permanecer libres de algas y en condiciones anaeróbicas, “en la medida dada por algunos parámetros de diseño como la carga orgánica, el tiempo de retención, el tipo de especies seleccionadas y la densidad de las mismas en el agua”. (Martelo & Borrero, 2012).

Por otra parte las plantas cosechadas en los sistemas de tratamiento pueden ser utilizadas en la alimentación animal y en la producción de base orgánica de compost, entre otras alternativas.

2.5.6 Eficiencia

(Barrena R. , 2006) “El Lechuguin de acuerdo con los reportes de la literatura, alcanza reducciones de: DBO5 en el orden de 95% y 90,2% para la DQO, sólidos suspendidos se registran disminuciones con valores en el rango de 21% y 91%, fósforo total y nitrógeno total, se alcanzaron máximas remociones de 91,7% y 98,5%, los metales también son removidos 85% hasta 95% para el hierro, cobre, zinc, cadmio y cromo”. Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Eficiencia de las plantas macrófitas en la remoción de aguas residuales.

Especie	DBO,	DQO	SS	P. TOTAL	N. TOTAL	As	Fe	Mn	Pb	Cu	Cr	Cd	Zn
<i>Eichhornia crassipes</i>	37-95,1	72,6-90,25	21-92	42,3-98,5	72,4-91,7	80	76,6-90,1			86-95	60-89	40-85	48-95
<i>Limna minor</i>	94,4			67	69	5	78,4	95	97	77-90,41	96,9		97,56

Fuente: (Martelo & Borrero, 2012)

2.6 Compostaje

El compostaje es un tratamiento biológico aerobio que antiguamente se consideraba una arte o ciencia que convertía un residuo en un recurso beneficioso para la conservación de la fertilidad de los suelos: compost. En la Tabla 2, se pueden encontrar definiciones que se le han dado en distintas épocas. ¿Qué interesa en la actualidad al compostar y a quién? ¿Son los mismos intereses los de los usuarios que los de los productores o los de la sociedad? ¿Se puede presuponer que todos los sectores aceptarían la siguiente definición? (Soliva, & otros, 2008).

Compostar (transformación biológica de los residuos en condiciones controladas) es gestionar los residuos orgánicos de una manera respetuosa con el entorno, responsabilizando a la sociedad que los produce y dando al compost el destino adecuado (Soliva, & otros, 2008).

2.6.1 Objetivos del compostaje

Transformar materiales orgánicos biodegradables en material biológicamente estable, y en el proceso reducir el volumen original de los residuos. Destruir patógenos, y otros organismos no requeridos que pueden “estar presentes en los residuos sólidos y retener el máximo contenido nutricional (nitrógeno, fósforo y potasio) y elaborar un producto que se pueda utilizar para soportar el crecimiento de plantas y como enmienda del suelo” (Jaramillo & Zapata 2008).

2.6.2 Compostaje aeróbico

El compostaje se define como un proceso de degradación microbiana aeróbico de residuos ricos en materia orgánica, efectuado por distintas poblaciones de microorganismos que entrega un producto final estabilizado, higiénico, libre de olores y sin microorganismos patógenos, rico en sustancias húmicas, fácil de almacenar y comercializar como enmienda orgánica, abono o sustrato (Grube, M., 2008).

Durante el compostaje parte de la materia orgánica es mineralizada generando dióxido de carbono, agua y calor, mientras que la otra parte es transformada en sustancias húmicas que son estructuralmente muy similares a las presentes en el suelo (Barañaño, T., 2008).

El compostaje es esencialmente un proceso microbiológico que depende, altamente, de las fluctuaciones de la temperatura en la pila. La temperatura dentro de la masa de compostaje determina la velocidad a la que muchos de los procesos biológicos toman lugar y juegan un rol selectivo en la evolución y sucesión de las comunidades microbianas (Barrena R. V., 2006).

En el proceso de compostaje se distinguen dos fases. Una primera fase o “fase activa”, dada principalmente por el desarrollo de reacciones de degradación, la materia orgánica disuelta es utilizada como fuente de carbono y energía por los microorganismos para su metabolismo, está caracterizada por una intensa actividad microbiana y altas temperaturas, lo que conlleva una rápida descomposición de la materia orgánica y asegura la estabilidad del material.

La segunda fase o “fase de maduración”, comienza cuando el suministro de materia orgánica fácilmente disponible es limitante, esta fase se caracteriza por un lento proceso de mineralización y humificación (Barrena R. V., 2006).

2.6.3 Descripción del proceso de compostaje

En una pila de compostaje se distinguen dos zonas, una zona central o núcleo que es la que concentra los cambios térmicos más evidentes, y la zona de la corteza, que rodea al núcleo y cuyo espesor depende de la compactación del material (Barrena R. V., 2006). Figura 2.2.



Figura 2.2. Proceso de compostaje

Los procesos que se llevan a cabo en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la zona de la corteza. De acuerdo a las temperaturas alcanzadas en el núcleo de la pila se puede diferenciar algunas fases.

2.1.1. Fases del compostaje

Una primera fase mesófila, con temperaturas entre los 10-40°C, caracterizada por la actividad y crecimiento de organismos mesófilos, una alta concentración de materia orgánica fácilmente biodegradable que propicia una intensa actividad microbiana y un rápido aumento en la temperatura de la pila.

La próxima etapa denominada fase termófila con temperaturas que van entre los 40-70°C, se caracteriza por que el proceso de degradación es llevado a cabo por organismos

termófilos, debido a que el crecimiento y actividad de organismos que no son termo tolerantes es inhibido, esta fase es particularmente importante ya que las altas temperaturas eliminan microorganismos patógenos existentes en la masa en compostaje. Con el agotamiento de los nutrientes comienza el descenso de temperatura, caracterizado por el desarrollo de una nueva comunidad mesófila, que utilizará como nutrientes materiales más resistentes a la biodegradación como la celulosa y lignina. Por último en la etapa de maduración, los procesos de humificación de la materia orgánica ocurren a temperatura ambiente (Barrena R. V., 2006).

La temperatura disminuye desde la más alta alcanzada durante el proceso hasta llegar a la del ambiente, se va consumiendo el material fácilmente degradable, desaparecen los hongos termófilos y el proceso continúa gracias a los organismos esporulados y actinomicetos. Cuando se inicia la etapa de enfriamiento, los hongos termófilos que resistieron en las zonas menos calientes del proceso realizan la degradación de la celulosa. Duración aproximada de esta fase 7 días.

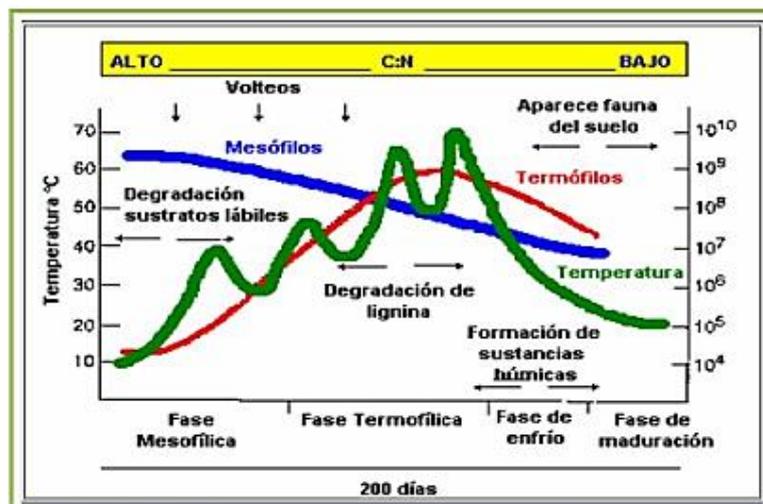


Figura 2.3. Fases del compostaje

Puerta, Silvia. (2009)

Complemento final de las fases que ocurren durante el proceso de fermentación disminuyendo la actividad metabólica. El producto permanece más o menos 15 días en ésta fase. El proceso termina en 45 días controlando los parámetros de temperatura, volteo, humedad, pH, porque los microorganismos se encuentran en condiciones óptimas para su desarrollo. Figura 2.3.

2.6.4 Técnicas de compostaje

Para llevar a cabo el proceso de compostaje existen variadas técnicas las que se ajustan a diferentes necesidades; la elección de una técnica u otra depende, entre otras cosas, de la cantidad y tipo de material a procesar, inversión, disponibilidad de terreno, complejidad operacional y del producto final que se quiere obtener (INTEC, 2009).

Los distintos sistemas están determinados por los mecanismos de aireación que se utilizan en el proceso, generalmente los podemos agrupar en: aireación pasiva, aireación forzada, y aireación por volteos del material.

- Compostaje en pilas estáticas: se forman pilas de reducida altura, que se dejan sin movimiento, ventilándose naturalmente por un proceso de convección térmica natural (Ecoamérica, (2011).
- Compostaje en pilas estáticas aireadas: consiste en airear de manera forzada la materia que se está compostando. La pila se construye sobre una red de tuberías, donde se suministra o extrae aire frecuentemente para proporcionar un medio aeróbico. (INTEC, 2009).
- Compostaje en pilas de volteo: este sistema de compostaje es el más utilizado, y considera el volteo manual o mecánico. En este método se amontona el material, se mezcla y voltea periódicamente, evitando así la compactación y entregando oxígeno al sistema (INTEC, 2009).

2.6.5 Factores que condicionan el proceso de compostaje

Considerando que el proceso de compostaje es fundamentalmente biológico, todos los factores que influyen, directa o indirectamente, en el metabolismo microbiano le afectan.

Los principales factores en el control de un proceso de compostaje incluye parámetros ambientales (temperatura, contenido de humedad, pH, aireación), y parámetros relacionados con la naturaleza del sustrato (relación C/N, tamaño de partícula, contenido de nutrientes, porosidad del material). Todos ellos, en mayor o menor grado, afectan el crecimiento microbiano y por ende, determinan la velocidad y eficiencia del proceso (Barrena R. V., 2006).

○ **Temperatura**

La temperatura es un parámetro útil para seguir la evolución del proceso de compostaje, ya que se obtiene de forma instantánea, además, determina la eficiencia del proceso debido a su influencia en la actividad y diversidad de los microorganismos involucrados (Miyatake y Iwabuchi, 2006). Una disminución de la temperatura es indicador de una disminución en la actividad microbiana por falta de aireación, deficiencia de agua o de disponibilidad de nutrientes. Por el contrario, un aumento de temperatura refleja una óptima actividad microbiana (Barrena R. V., 2006). Figura 2.4.

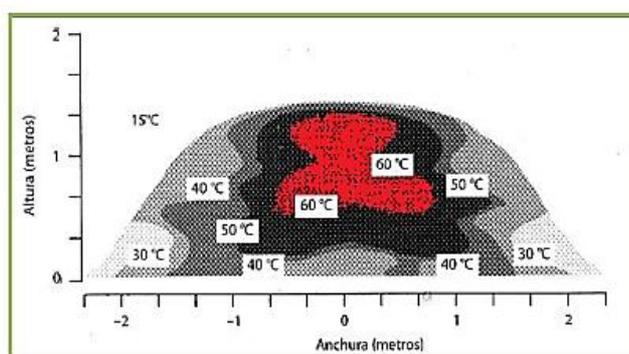


Figura 2.4. Perfil de temperatura de una pila de compost estática

Jaramillo y Zapata; 2008.

○ **Humedad**

El contenido de agua juega un rol importante en la regulación del metabolismo microbiano. El agua funciona como medio para el movimiento de bacterias, ayuda en el transporte de sustratos y nutrientes solubilizados hacia el interior de la célula y facilita la remoción de productos de desechos metabólicos (Barrena R. V., 2006).

La humedad es un parámetro que está estrechamente relacionado con la aireación, y su valor ideal fluctúa entre el 40%-60% (Costa, A. 2005). Si la humedad es baja, inhibe la actividad metabólica de los microorganismos. Si por el contrario, la humedad es alta, el agua desplaza el aire de los poros produciéndose zonas con anaerobiosis, limitando el intercambio de oxígeno y aumentando la inestabilidad de la pila (Trois & Polster, 2007).

○ **pH**

El compostaje puede desarrollarse dentro de un amplio rango de pH, se consideran como óptimos los valores de pH comprendidos entre 5 y 8 (Costa, A. 2005).

Los cambios en el pH durante el proceso, se deben a los cambios constantes en la composición química del sustrato. En general, se presenta un descenso en la fase inicial, un aumento en la fase de máxima actividad y luego tiende a la estabilización en un pH cercano a la neutralidad hacia el final del proceso (Castrillón, F. 2009).

- **Aireación**

El contenido de oxígeno dentro de la pila debería ser del 10-15%, para mantener condiciones aeróbicas, regular la temperatura y efectuar una eficiente remoción de calor y CO₂ desde la pila de compostaje (Trois & Polster, 2007). El mayor problema con la aireación es la distribución no homogénea de oxígeno en la pila.

Si la dispersión de oxígeno no es homogénea o insuficiente, provoca acumulación de CO₂ y condiciones anaeróbicas dentro de la pila, por ende producción de malos olores (Kulcu & Yaldiz, 2007). Por el contrario, un exceso de aireación puede enfriar la masa compostada reduciendo la actividad metabólica de los microorganismos. Figura 2.5.

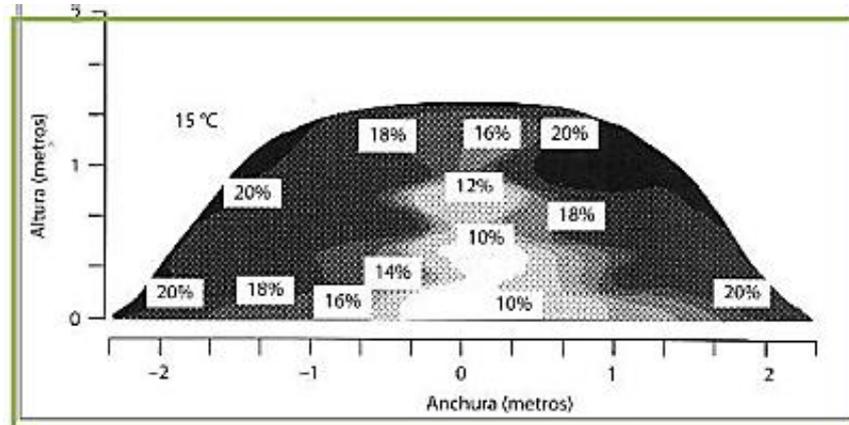


Figura 2.5. Concentración de oxígeno en una pila de compost, porcentaje de la aireación

Jaramillo & Zapata (2008)

- **Relación Carbono/Nitrógeno**

La velocidad de degradación de la materia orgánica está determinada principalmente por las cantidades relativas de carbono y nitrógeno presentes en la mezcla. El Carbono es

utilizado como fuente de energía por los microorganismos, en tanto el Nitrógeno es utilizado para síntesis proteica (Sztern & Pravia, 2009).

La relación C/N puede variar entre un sustrato y otro, pero se ha establecido que una relación 25:1 a 30:1 es adecuada para un buen desarrollo del proceso de compostaje.

Bajo estos valores hay pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco, a relaciones superiores el nitrógeno resulta ser un nutriente limitante, provocando un retardo en el proceso de compostaje (Costa, A. 2005).

La relación C/N desciende durante el proceso de compostaje independiente de la técnica de compostaje que se utilice. Una relación final C/N de 15 es considerada estable para un compost, sin embargo, esta puede estabilizarse mucho antes de terminar el proceso, además no se puede generalizar, debido a que la relación C/N final depende de la composición de los materiales iniciales (Zamora- Nahum 2005).

○ **Tamaño de partícula**

El tamaño de partícula tiene un efecto directo en el volumen de macroporos en la pila y sobre la disponibilidad de nutrientes, además de aportar estructura al material. Un rango de tamaño de 2,5 cm a 5,0 cm entregará un volumen óptimo de macroporos entre 30-50% (Tríos & Polster 2007). Partículas muy grandes retardan el proceso de compostaje.

Cuando diferentes tipos de residuos orgánicos son compostados, una alta relación C/N no asegura la prevención en las pérdidas de N como amoníaco. También la forma química y el tamaño de partícula de la fuente de C, afectan la disponibilidad de C para los microorganismos (Tríos & Polster 2007).

○ **Población microbiana.**

El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetes. Figura 2.6.

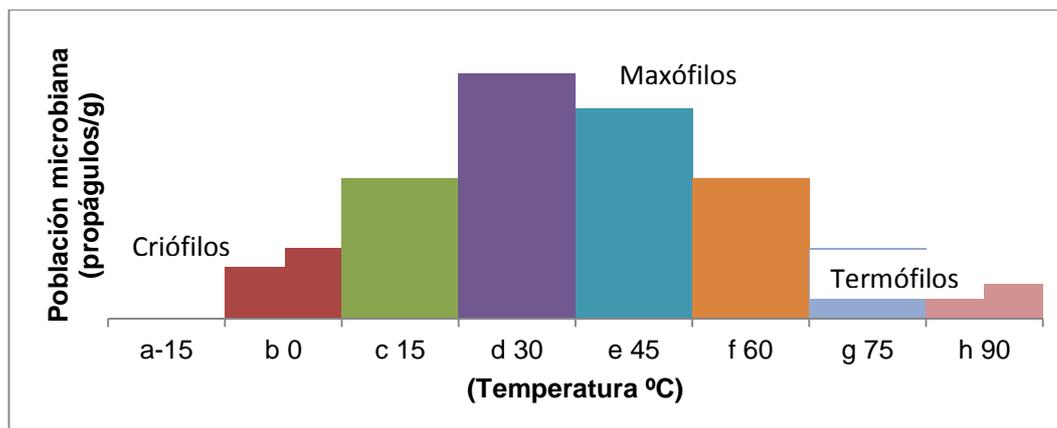


Figura 2.6. Dendrograma de la población microbiana del suelo con respecto a la temperatura.

Jaramillo & Zapata (2008)

2.6.6 Condiciones del compostaje

Dado que el compostaje es un proceso de descomposición predominantemente aeróbico, las prácticas de manejo deben crear condiciones óptimas para el establecimiento y desarrollo de los organismos (Soto, L. 2009).

Las condiciones que favorecen el crecimiento de los microorganismos aeróbicos son: presencia de oxígeno, temperatura, humedad y una nutrición balanceada. Como se enunció anteriormente hay otros factores que pueden afectar el desarrollo tales como: pH, fuentes energéticas de fácil solubilizarían como azúcares simples y superficie de contacto o tamaño de partícula.

2.6.7. Índices de calidad del compost

Hay que resaltar que la calidad del compost está determinada por los materiales iniciales que han sido acopiados para ser procesados en las pilas, sobre todo por el contenido de la materia orgánica y los nutrientes que estos puedan aportar. Se han usado tradicionalmente parámetros físico-químicos y microbiológicos como índice requerimientos de calidad del compost, este último es de vital importancia, dado que es utilizado como medida de garantía higiénica y sanitaria para el uso del compost (Cantanhede, & Wharwood, 2008). El contenido de nutrientes en el compost puede ser muy variado, porque depende de los nutrientes iniciales de los materiales que se han utilizado. Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Condiciones óptimas del proceso de compostaje

Humedad (%)	40 – 60
Tamaño de partículas (mm)	5 - 10
Materia orgánica (%)	25 – 50
Carbono orgánico (%)	8 – 50
Nitrógeno total (%)	0,4 - 3,5
Fósforo como P ₂ O ₅ (%)	0,3 - 3,5
Potasio como K ₂ O (%)	0,5 - 1,8
Cenizas (%)	20 – 65
Calcio como CaO (%)	20 - 65
Relación C:N	25:1 - 30:1
pH	6,5 - 8

Fuente: Cantanhede, Monge & Wharwood, (2003).

En la presente investigación hubo la necesidad de utilizar el Libro VI del TULSMA (Tulas), ya que es la norma de control de los niveles de contaminación que rige en el país.

El Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), constituye un documento de textos unificados de legislación secundaria, con el objeto de contribuir a la seguridad jurídica del país, en la medida en que tanto el sector público cuanto los administrados, sabrán con exactitud la normatividad vigente en cada materia, este documento ha sido elaborado para facilitar a los ciudadanos el acceso a la normativa requerida.

Contiene normas técnicas dictadas bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental, para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de estos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. Edición Especial del 31 de Marzo del 2003. Anexo B.

Norma Técnica Colombiana 5167, que tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo. Tabla 2.4 .

- Los productos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o líquida como concentrados solubles, suspensiones o dispersiones.

- Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación.
- Deberá declararse el origen (clase y procedencia) de las materias primas y los procesos de transformación empleados.

Tabla 2.4 Requisitos específicos

Fertilizantes o abonos orgánicos, orgánico minerales y enmiendas orgánicas		
Fertilizantes o abonos orgánicos.		
Clasificación del producto	Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar
1	2	3
Abono orgánico	Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.	Pérdidas por volatilización % Contenido de cenizas máximo 60% Contenido de humedad: Para materiales de origen animal máximo 20% Para materiales de origen vegetal máximo 35% Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15%. N1P2O5 Y K2O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%) Relación C/N Capacidad de intercambio catiónico. mínimo 30 cm(+) Kg (meq/100g) Capacidad de retención de humedad mínimo su propio peso pH mayor de 4 y menor de 9 Densidad máximo 0.6 g/cm ³ Límites máximos en mg/Kg (ppm)j de los metales pesados expresados a continuación Arsénico (As) 41 Cadmio (Cd) 39 Cromo (Cr) 1 200 Mercurio (Hg) 17 Níquel (Ni) 420 Plomo (Pb) 300 Se indicará la materia prima de la cual procede el producto La suma de estos parámetros debe ser 100

Fuente: Norma Técnica Colombiana 5167, 2004.

2.6.7 Aditivos para acelerar el proceso de compostaje

La melaza es la principal fuente energética para la fermentación de los abonos orgánicos. Favorece la multiplicación de la actividad microbiana; es rica en potasio, calcio, fósforo y magnesio; y contiene micronutrientes principalmente boro, zinc, magnesio y hierro (Restrepo, 2009).

Para lograr una aplicación homogénea de la melaza durante la elaboración de abonos orgánicos fermentados, se recomienda diluirla una parte del volumen del agua que se utilizará al inicio de la preparación de los abonos, en muchos casos se viene sustituyendo por panela (Restrepo, 2009).

CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de estudio



Figura 3.1 Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chaltura

La planta de tratamiento de agua residual se encuentra ubicada en el sector Santiago del Rey, de la parroquia de Chaltura, perteneciente al Cantón Antonio Ante, de la provincia de Imbabura, con una altitud de 2290 msnm y una extensión de 2 Ha.

3.2 Datos ecológicos del sitio

- **Precipitación media anual:** La estación Atuntaqui presenta una precipitación media anual de 714.4 mm; con una temperatura promedio anual de 15.7°C, un valor de Evapotranspiración Potencial de 925.2mm. Los meses ecológicamente secos que presenta la estación son cuatro, Junio, Julio, Agosto, Septiembre (Yépez, G., 2009).
- **Temperatura Media:** 15,7°C en la parte alta y alcanza los 18°C en la parte baja. (Yépez, G., 2009)
- **Clasificación ecológica:** bosque seco – Montano alto (bs-Mb). (Yépez, G., 2009)

3.3 Descripción del área de estudio

De la observación se identifica que la planta de tratamiento está ubicada al Norte de la cabecera parroquial de San José de Chaltura, en la vía que conduce a Santiago del Rey, aproximadamente a siete kilómetros del centro urbano de la ciudad de Atuntaqui. Al realizarse la medición se determina que la planta tiene una superficie aproximada de dos hectáreas.

La planta cumple con la finalidad de dar un manejo adecuado a las aguas residuales domésticas e industriales provenientes de las parroquias de Chaltura y Natabuela. Conviene señalar que se formó la Asociación de Regantes en el año de 2009 y que sus integrantes se encargan del mantenimiento semanal de las instalaciones, de la cosecha de la Lenteja de agua y del Lechuguín.

Los integrantes de la Asociación de Regantes se constituyen en beneficiarios con el funcionamiento de la planta, puesto que los terrenos aledaños son regados con el agua tratada. El complejo cuenta con 38 piscinas de tratamiento, de las cuales tres piscinas tienen Lechuguín o Jacinto de agua y las 35 restantes se tratan con Lenteja de agua; un espacio para manejo de este material vegetal, un parque acuático que sirve para interpretación ambiental, la guardianía y una bodega.

Se construyó en el año 2009 y se estima que tendrá una vida útil hasta el 2019.

El área de estudio se localiza dentro de las siguientes coordenadas. Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Coordenadas de Ubicación del Área de Estudio

Latitud	Longitud	Altura (m.s.n.m.)
813079	10040079	2315
813000	10040064	2311
813075	10040236	2282
813181	10040214	2276

Fuente: Yépez, 2005.

Hasta el año 2008 los terrenos cercanos carecían de un sistema de riego, manteniéndose improductivos. A partir del año 2009 se inició la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de las parroquias Chaltura y Natabuela, constituyendo actualmente el tratamiento de aguas residuales amigable con el entorno ya que utiliza plantas acuáticas para el proceso, cumpliendo con los estándares exigidos por el Ministerio del Ambiente.

Su infraestructura está comprendida por: Existe un área destinada para la producción de abono orgánico, para su producción con una extensión de 50m de lago por 2m de ancho.

- Caja reguladora de caudales
- Pre tratamiento con rejillas
- Tanques para tratamiento anaerobio
- Estanques para siembra de plantas acuáticas

El tamaño de los tanques reservorios es de 38 m de largo, 1.5 de profundidad, 3 m el espejo de agua, 2.40 m en la parte baja, la forma de los reservorios son rectangulares alargada, en cuanto al volumen de capacidad se calculó de acuerdo a la cantidad de tanques por las medidas de los mismos. Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Infraestructura de la PTAR

INFRAESTRUCTURA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
Oficina, bodega, guardianía, cerramiento, puerta de ingreso
Sistema vial interno
Sistemas de señalización
Piscinas de oxidación
Sistema de drenaje de aguas lluvias
Sistema de impermeabilización de las piscinas
Área de secado
Parque Acuático
Área de compostaje

Fuente: Unidad de Gestión Ambiental GDAMA

3.4 Materiales y Equipos

Para la realización de la investigación del proceso de elaboración de compostaje se utilizaron los siguientes materiales y equipos.

Tabla 3.3 Materiales experimentales

MATERIAL EXPERIMENTAL	
Biomasa de Lechuguín	Biomasa de Lenteja de agua
Suero de quesería	Melaza
Material compostado, producto de los tratamientos aplicados	Muestras para análisis de laboratorio
INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTAS	
Tamizador	Picadora
Tablas para armar las camas de compost	Termómetro de alcohol
Pala y azadones	Carretilla
Moto guadaña	Machete
Herramientas de mano (palas, trinchas)	Contenedores
IMPLEMENTOS PARA PESAJE	
Báscula digital	
OTROS EQUIPOS Y MATERIALES DE CAMPO	
Fundas plásticas	GPS
Libreta de campo	Botas de caucho
Piola	Costales
Guantes de caucho	

Elaboración: El estudio, 2014

3.5 Caracterización del material vegetal lechuguin y lenteja de agua

Se recolectaron muestras de las diferentes plantas acuáticas presentes en el sistema de descontaminación productiva de aguas servidas; lechuguin y lenteja de agua. Después estas muestras se lavaron para quitar el exceso de sólidos adheridos. Se les colocó en bolsas de plástico y posteriormente se llevaron en fresco para la realización del análisis bromatológico general. Mediante el análisis bromatológico se determinó; humedad,

materia seca, proteína, grasa, ceniza, fibra y elementos no nitrogenados, estos análisis se realizaron en los laboratorios de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro.

3.6 Factores en estudio

Para la disposición de las proporciones de lechuguin y lenteja de agua se estableció en porcentaje (%) y en peso (67,5 kg), formando el 100% entre las dos especies seleccionadas para la combinación con los aditivos (suero de queso y melaza). Figura 3.2.



Figura 3.2. Ensayo de pesos

Elaboración: El estudio, 2014

1. Factor A mezcla de materia orgánica (A)

A1 Lechuguin al 90% + 10% de lenteja de agua

A2 Lechuguin al 80% + 20% de lenteja de agua

A3 Lechuguin al 70% + 30% de lenteja de agua

2. Factor B aditivo (B)

B1 Suero de quesería 100%

B2 Suero de quesería al 50% + 50% de solución al 5% de melaza

B3 Sin aditivo

3.7 Tratamientos

Los tratamientos resultan de la combinación de las diferentes proporciones de lechuguín y lenteja de agua con la adición de suero de queso y melaza. Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Descripción de los 9 tratamientos

Simbología	Descripción
T1	Lechuguín 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %
T2	Lechuguín 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza
T3	Lechuguín 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo
T4	Lechuguín 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%
T5	Lechuguín 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza
T6	Lechuguín 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo
T7	Lechuguín 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%
T8	Lechuguín 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza
T9	Lechuguín 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo

Elaboración: El estudio, 2014

3.8 Diseño Experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar, en arreglo bifactorial A x B, con nueve tratamientos y cuatro repeticiones.

3.9 Análisis funcional

Cuando se detectó diferencias significativas entre tratamientos en las variables analizadas, se realizó la prueba de Tukey al 5%.

3.10 Unidad experimental

El experimento estuvo conformado por 36 unidades experimentales, cada una estuvo conformada por un lecho de madera de un metro cuadrado de superficie y 0,4 m de alto, lo que da un volumen a 0,4m³.

En cada compartimento, se colocó el material vegetal, previamente deshidratado por un período de 48 horas, en las mismas condiciones. Los materiales se pesaron y colocaron en capas alternadas de Lechuguín y Lenteja de agua, hasta que alcanzaron los 40 cm de altura.

Figura 3.3.

Unidades Experimentales		T	Tratamiento
		R	Repeticiones
T8R2	T1R2	T1	Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %
T1R4	T8R1	T2	Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 %
T9R2	T9R3	T3	T3 - Lechuguín 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo
T5R1	T7R1	T4	Lenteja de agua + Suero de quesería 100%
T3R2	T2R4	T5	Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución
T6R1	T5R4	T6	T6 - Lechuguín 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo
T4R2	T6R2	T7	Lenteja de agua + Suero de quesería 100%
T7R4	T3R3	T8	Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución
T2R2	T4R3	T9	T9 - Lechuguín 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo
T1R1	T9R1		
T9R4	T1R3		
T6R3	T8R3		
T8R4	T3R1		
T2R1	T6R4		
T3R4	T7R3		
T5R2	T2R3		
T7R2	T5R3		
T4R1	T4R4		

Figura 3.3 Representación de las unidades experimentales

Elaboración: El estudio, 2014

3.11 Manejo del material vegetal

A continuación se describe el procedimiento seguido en el estudio, para el aprovechamiento de la biomasa vegetal de las dos especies acuáticas, que luego de actuar como mejoradoras de las aguas residuales, se destinan para la producción de compost.

3.11.1 Construcción de composteras

Se construyeron 36 lechos de madera para cada una de las unidades experimentales, con una dimensión de 1 m x 1 m y 0,4 m de profundidad, con una capacidad volumétrica de 0,4 m³ de recepción del material vegetal a compostar. Figura 3.4.



Figura 3.4 Construcción de las camas de compostaje

Elaboración: El estudio, 2014

3.11.2 Cosecha

Se cosechó 100 carretillas de lechuguin y 30 carretillas de lenteja de agua en 1 día para ser depositadas en el área destinada para proceder al escurrimiento de agua y empezar con el proceso de compostaje con peso en seco. Figura 3.5.



Figura 3.5 Cosecha del material vegetal

Elaboración: El estudio, 2014

3.11.3 Deshidratación

Para proceder a deshidratar las especies vegetales se trasladó el material a un sector con una pendiente de 25% para favorecer el escurrimiento del agua y de este modo, se evitó también el mal olor, durante tres días. Figura 3.6.



Figura 3.6 Deshidratación del material vegetal

Elaboración: El estudio, 2014

3.11.4 Trituración

Con el material vegetal deshidratado, se procedió a triturarlo, utilizando dos alternativas: 1) labores manuales con machete y palancón y, 2) labores mecánicas con motoguadaña y picadora a motor. El objetivo perseguido fue reducir el volumen de la fracción vegetal y determinar el tiempo de descomposición. Figura 3.7.



Figura 3.7 Trituración del material vegetal

Elaboración: El estudio, 2014

3.11.5 Disposición del material vegetal



Figura 3.8 Disposición del material vegetal

Elaboración: El estudio, 2014

Una vez triturado, el material fue trasladó en carretillas hasta el sector de las composteras distribuyéndolo para cada unidad experimental, conforme a su respectivo peso, previamente calculado. Figura 3.8.

3.11.6 Proceso de compostaje

Preparado el material vegetal se procedió a la elaboración del compost, utilizando las cantidades determinadas, para cada tratamiento, de material vegetal proveniente de las especies acuáticas Lechuguín y Lenteja de agua. En cada una de las mezclas se añadió los aditivos para que actúen como aceleradores del proceso (suero de quesería y/o melaza) según tratamiento.

El término del proceso de compostaje consistió en determinar el producto final, según las siguientes características: olor a tierra y color marrón oscuro. Figura 3.9.



Figura 3.9 Inicio del proceso de compostaje

Elaboración: El estudio, 2014

3.12 Manejo del experimento

El manejo del experimento se lo realizó con la colaboración de la asociación de regantes y los trabajadores del Gobierno Municipal de Antonio Ante de la Unidad de Gestión Ambiental. Figura 3.10.



Figura 3.10 Manejo del experimento

Elaboración: El estudio, 2014

3.12.1 Preparación del material vegetal



Figura 3.11 Manejo del experimento

Elaboración: El estudio, 2014

El material vegetal fue extraído de las piscinas depuradoras de aguas residuales para pasar por el proceso de deshidratación parcial, por un lapso de 48 horas, posteriormente se picó para reducir el tamaño y facilitar el compostaje. Figura 3.11 Manejo del experimento.

3.12.2 Preparación de mezcla de materia orgánica

La materia orgánica deshidratada por 48 horas y picada para reducir su tamaño, se colocó en camas de un metro cuadrado y 0,40 m de altura, la dosificación de la mezcla fue

calculada en función del peso y una vez depositada en la cama, se procedió a colocar 20 litros de mezcla de aditivo, se removió ligeramente la mezcla y se registró el tiempo de inicio del proceso de fermentación. Figura 3.12.



Figura 3.12 Manejo del experimento

Elaboración: El estudio, 2014

3.12.3 Preparación de mezcla de aditivo

El aditivo acelerador de compostaje estuvo conformado por una mezcla de suero de quesería más melaza.



Figura 3.13 Mezcla de aditivos

Elaboración: El estudio, 2014

Se partió del principio biológico de que el suero de quesería contiene bacterias ácido-lácticas promotoras de la descomposición de la fibra y por otro, que la melaza proporciona energía extra a las bacterias para iniciar su reproducción y acelerar la descomposición de la materia orgánica. Figura 3.13.

Se realizó la siguiente mezcla para los factores:

B1= 48 litros de suero de quesería

B2= 25 litros de agua + 1,25 kg de melaza + 24 litros de suero.

3.13 Control de humedad

Para el control de la humedad del material en el proceso de compostaje, se aplicó el siguiente procedimiento empírico:

Se tomó con la mano una muestra del material, se cerró la mano y se apretó fuertemente el mismo, si salió un hilo de agua continuo del material, entonces se concluyó que el material contiene más de un 40% de humedad. Figura 3.14.



Figura 3.14 Método del puño

Elaboración: El estudio, 2014

3.13.1 Control de aireación y riego por temperatura

Cuando se apreció un marcado descenso de la temperatura, después de haber alcanzado su valor máximo en la etapa termogénica, se provocaron aireaciones a través del volteo del material. El agua de riego fue administrada manualmente con regadera dos veces por semana. La aireación o volteo fue realizada tres veces por semana durante las primeras cuatro semanas. Figura 3.15 y Figura 3.15.



Figura 3.15 Volteo y aireación

Elaboración: El estudio, 2014



Figura 3.16 Toma de datos de T°

Elaboración: El estudio, 2014

3.13.2 Control de malos olores

Se controló el exceso de humedad en las camas de compost mediante volteo y por la aplicación de los aditivos realizada; además, se tomó la precaución de no cubrir con plástico las composteras para que la temperatura no se eleve demasiado y produzca putrefacción.

3.13.3 Toma de muestras de compost

De cada unidad experimental se obtuvo 10 gr de extracto para conseguir una muestra representativa a los 43 días de iniciado el proceso de biodegradación, se procedió a empacar con su respectiva etiqueta. Figura 3.17.



Figura 3.17 Obtención de abono

Elaboración: El estudio, 2014

3.13.4 Valoración de los parámetros físico – químicos y microbiológicos de la calidad del compost

En el Laboratorio de Uso Múltiple de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) de la Universidad Técnica del Norte, se realizó el análisis completo de las muestras para determinar su composición como fertilizante.

Se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos. A continuación se describe cada uno de los parámetros analizados:

- **pH:** Determinación analítica del potencial de hidrogeniones de la solución, es decir la reacción del compost producido al final de la etapa de descomposición.
- **Ce:** Conductividad eléctrica del extracto de saturación del compost, para determinar y evaluar la cantidad de sales.
- **Materia Orgánica:** Se tomó en cuenta el porcentaje de materia orgánica presente en el compost para evaluar la relación carbono / nitrógeno.

- **Nitrógeno:** Se evaluó el contenido de este mineral de forma total, como nitrógeno nítrico y en forma amoniacal, para medir el grado de degradación de la materia orgánica hasta constituirse en nitrógeno asimilable para las especies vegetales.
- **Fósforo:** Se evaluó el contenido de fósforo total en la composta y su aporte como material de enmienda a los suelos.
- **Potasio:** Se valoró el contenido de potasio presente en la composta y del grado de asimilación de las plantas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales.
- **Coliformes:** Se evaluó mediante el uso de placas Petri Film[®] (3 M), para el conteo de colonias presentes en la composta en una solución de 1 a 100.
- **Relación carbono/nitrógeno:** Para realizar el análisis de relación carbono/nitrógeno (C/N) se envió una muestra compuesta del sustrato al laboratorio de la Estación Experimental Santa Catalina de Suelos, Plantas y Aguas INIAP.

3.14 Tabulación de datos

Se realizó la tabulación de los datos obtenidos en cada uno de los procesos mencionados, como datos de temperatura, peso inicial, peso final del compost y obtención de datos de laboratorio de las variables dependientes para determinar los análisis de varianza y prueba de Tyeck al 5% que muestra el nivel de significancia de los tratamientos y la eficiencia.

3.15 Elaboración de cuadros, tablas y gráficos

Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos, los datos tabulados y sintetizados se organizaron en tablas, de acuerdo con el contexto de las observaciones o mediciones realizadas.

3.16 Elaboración de la guía de manejo de compostaje

Una vez obtenidos los resultados de las variables estudiadas, se elaboró una guía de manejo de compostaje del material vegetal del *Lechuguín* y de la *Lenteja de agua* que facilite a los beneficiarios el uso del recurso, con la finalidad de fomentar el manejo adecuado de los residuos orgánicos de la planta, proporcionando de esta forma, una alternativa integral a los beneficiarios.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se detalla los resultados de campo y estadísticos obtenidos de la investigación realizada.

4.1 Caracterización del material vegetal- Análisis Bromatológico

En la Tabla 8 se muestran los resultados del análisis bromatológico realizado al lechuguin (*eichornia crassipes*) y lenteja de agua (*lemna sp*). A través de este análisis se puede conocer el potencial de las plantas acuáticas dentro de la dieta animal y sus principales grupos de nutrientes. Según Botero (2002), las características deseables de una planta acuática son: porcentajes altos de materia seca, bajo contenido en fibra, alto nivel de proteína y bajos porcentajes de grasa.

Tabla 4.1 Análisis Bromatológico

VARIABLES	UNIDAD	<i>Eichornia crassipes</i>	<i>Lemna sp.</i>
Humedad	%	91,29	94,07
Materia Seca	%	8,71	5,93
Proteína	%	22,67	33,27
Grasa	%	1,12	1,76
Cenizas	%	11,43	12,05
Fibra	%	16,16	19,08
ENN*	%	48,62	33,12

Elaboración: El estudio, 2014

En la Tabla 4.1 Análisis Bromatológico, los análisis bromatológicos de la *E. crassipes* presentó el valor más alto de 8,71% de materia seca y *Lemna sp* el valor menor de 5,93%. Comparando estos resultados con literatura Chará (1994) manifiesta que en la composición de las plantas acuáticas predominan la cantidad de agua y su contenido de materia seca está entre el 5 y el 15%.

En sistemas de producción animal, las plantas acuáticas son importantes ya que aportan parte significativa de las necesidades de proteína, como lo mencionan Reyes, Gonzales,

Romero, Ponce, Peillón, Castillo, Ruiz (2011) entonces los factores principales para nutrición animal está el contenido de proteína presente en los alimentos. En este estudio, el mayor contenido de proteína lo tiene la *Lemna sp* Tabla 8, con un valor de 33,27% y *E. crassipes* con un valor de 22,67%, estos resultados coinciden con Gonzales, Romero, Valdivié y Ponce (2013) ya que manifiesta que *Lemna sp* por su capacidad de crecer rápidamente, alta capacidad de asimilación de nitrógeno y por una extrema preferencia de consumo por amoníaco, lo cual es importante para la síntesis de aminoácidos y proteína contiene más de ésta que *E. crassipes*.

En cuanto al contenido de grasa lo deseable es que se presente en menor porcentaje *E. crassipes* 1,12%, a diferencia que de *Lemna sp* que presentó un porcentaje más alto en grasa (1,76%), resultados similares fueron encontrados en el estudio de la *L. laevigatum* especie de planta acuática con un valor de grasa de 2% (Aponte, *et. al*, 2013) afirmando su gran utilidad como alimento rico en proteína y con cantidades bajas en lípidos.

Para conocer el contenido de humedad de las plantas acuáticas los resultados del análisis bromatológico, indican a las especies evaluadas con porcentajes de humedad que están entre 85% y 95% Chará (1994) por lo que al comparar los porcentajes del presente estudio están acordes con la literatura, como es el caso de *E. Crassipes* (91,29%) y *Lemna sp.* (94,07%), ya que gran parte de su biomasa es agua, esta característica es un punto en contra para las plantas acuáticas como materia prima para abonos orgánicos, por la pérdida de nutrientes a través del lixiviado durante los procesos de deshidratación que es el inicio de transformación.

La determinación del porcentaje de fibra lo determina la cantidad de energía del forraje, es decir, entre más alto el contenido de fibra, más bajo el contenido de energía del forraje, por eso en cuanto a fibra lo deseable es que presente un valor bajo, es decir no debe superar el 10% pues reduce la asimilación de nutrientes como lo mencionan Aponte, Segura y Francia (2013) en su investigación de plantas acuáticas como forraje, en este estudio la *E. crassipes* (16,16%) y *Lemnasp.* (19,80%) de fibra encontrándose fuera del rango recomendado.

El contenido de ceniza de *E. crassipes* es de 11,43% y de *Lemna sp* es de 12,05%, por lo que indica que tiene un alto contenido de minerales como potasio, calcio, magnesio y otros minerales esenciales para ellas. (FAO).

Finalmente, para el caso de las plantas acuáticas, la concentración de nutrientes en el agua influye en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y otros minerales en los tejidos de las plantas, en consecuencia el contenido de proteínas, grasa, fibra en los tejidos de las plantas estará sujeto también a la ración de nutrientes que reciban.

4.2 Valoración de los parámetros físicos – químicos microbiológicos en la determinación de calidad de compost

Una vez manejadas las muestras, se procedió a comparar el tiempo de descomposición de los tratamientos, cantidad de compost obtenido, temperatura del proceso de descomposición, humedad y comprobar también el tratamiento más eficiente en contenido de materia orgánica, pH, conductividad, nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo total, potasio, recuento de coliformes fecales y relación carbono/nitrógeno.

4.2.1 Tiempo de descomposición de los tratamientos

Para definir el tiempo de descomposición de los tratamientos, se determinó con observaciones como: granulometría, color (marrón oscuro), olor y humedad, determinando que los tratamientos: T2, T3, T6, T7, T8 y T9 tuvieron un tiempo de descomposición a los 37 días del proceso, ya que su granulometría después de tamizar es la adecuada para poder ser agregado al suelo.

Mientras que en los tratamientos T1, T4 y T5, se determina que por falta de descomposición y tamaño del material, se produce una demora sustancial en cuanto al tiempo, factores que evitan el tamizado para obtener compost en un tiempo menor.

4.2.2 Cantidad de compost obtenido

Una vez que se comprobó que la materia orgánica colocada en los compartimentos, según su respectivo tratamiento, se encontraba descompuesta y por el efecto de aditivos se

obtuvo el compost, que se procedió a tamizarlo y pesarlo, con lo cual se obtuvieron los resultados consignados en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Eficiencia de producción de compostaje

Tratamientos	Peso al inicio kg	Peso del compost kg	Eficiencia de producción de compostaje %
T1 (<i>Lechuguín 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %</i>)	67,5	16,87	25
T2 (<i>Lechuguín 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza</i>)	67,5	20,81	32
T3 (<i>Lechuguín 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo</i>)	67,5	18,9	31
T4 (<i>Lechuguín 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%</i>)	67,5	21	31
T5 (<i>Lechuguín 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza</i>)	67,5	21	31
T6 (<i>Lechuguín 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo</i>)	67,5	21	33
T7 (<i>Lechuguín 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%</i>)	67,5	21,5	32
T8 (<i>Lechuguín 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza</i>)	67,5	23	34
T9 (<i>Lechuguín 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo</i>)	67,5	23	34

Elaboración: El estudio, 2014

Los nueve tratamientos al iniciar el proceso de compostaje pesaron 67,5 kg en peso seco, la diferencia es la proporción de lechuguin y lenteja en peso, es decir, los tratamientos que tuvieron relación 70% lechuguin y 30% de lenteja de agua como son T7, T8, T9 tuvieron el mayor porcentaje de material descompuesto, se notó que la adición de suero y/o melaza no tuvo mayor influencia en el tiempo de descomposición.

4.2.3 Temperatura de la biomasa en el proceso de descomposición

El comportamiento de la variable Temperatura en las fases de compostaje en los 41 días de descomposición del material vegetal (lechuguin y lenteja de agua) presenta una actividad que rápidamente se inicia en el proceso de compostaje por la acción bacteriana, que determinó el incremento rápido de la temperatura, alcanzando la fase termófila al segundo día de iniciada la experiencia (Martínez, Miglierina, & otros 2010).

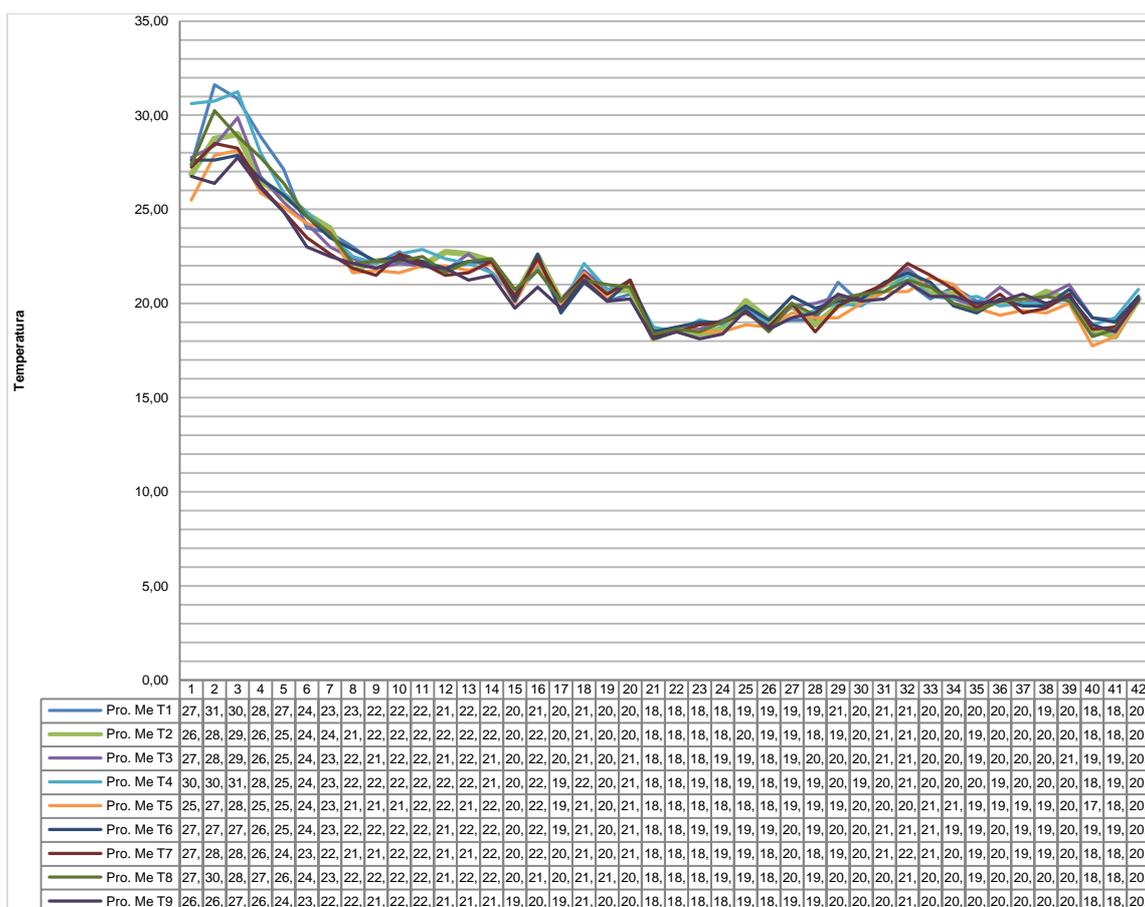


Figura 4.1. Temperatura registrada durante el tiempo de compostaje

Elaboración: El estudio, 2014

Los primeros 7 días del proceso muestran valores de 31°C – 22°C en la fase Mesófila y Termófila que muestra la presencia de bacterias y hongos que por su actividad genera un aumento de temperatura y los siguientes 36 días posteriores al proceso presentan temperaturas que van desde 21°C hasta los 15°C mostrando una baja actividad microbiana, es decir un proceso de descomposición a temperatura ambiente en etapa de enfriamiento y maduración.

Los pequeños volúmenes utilizados facilitan la difusión del calor y no permitieron alcanzar un comportamiento térmico adecuado de las mezclas (Martínez, *et al.* 2010).

La evolución de la temperatura indica que solamente T8 lograrían una esterilización efectiva de patógenos ya que alcanzaron la más alta temperatura al segundo día y lograría una esterilización efectiva de patógenos (Martínez, *et al.* 2010).

Con respecto a los aditivos aceleradores de descomposición el tratamiento que presentó valores de 31°C es la mezcla de lechuguin al 70% + 30% de lenteja de agua + suero de quesería al 50% + 50% sol 5% de melaza en el día 2, el valor más bajo fue de 15°C en la mezcla de lechuguin al 90% + 10% de lenteja de agua + suero de quesería al 50% + 50% sol 5% de melaza en el día 3, siendo el aditivo un factor que no influye en el aumento y disminución de temperatura.

4.2.4 Contenido de Materia Orgánica en el compost y relación carbono/nitrógeno

El contenido de materia orgánica al final del proceso de descomposición, será la consecuencia del valor inicial de materia orgánica, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el proceso (Soliva, López, 2004). Es un parámetro importante para considerar una buena enmienda al suelo, ya que incidirá de forma global sobre las propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas).

El valor medio según (FAO, 2013. Costa Rica) debe estar entre 5 y 20%. La muestra presenta el porcentaje ideal de materia orgánica que debe poseer un abono de buena calidad ya que presenta valores de 18.14%.

En cuanto a la relación carbono/nitrógeno, expresa las unidades de carbono por unidad de nitrógeno que contiene el material y sirve como un indicador del grado de avance del proceso, las condiciones óptimas en el que la relación C/N debe mantenerse en la etapa final del proceso debe ser menor o igual a 25, por lo que los resultados de los análisis realizados demuestran que la muestra de extracto de compost ha estado dentro de los rangos permisibles, obteniendo un valor de 9.59, lo que significa que no hay valores mayores a los límites, valores que coinciden con estudio realizado por López, 2012, en su investigación de aprovechamiento de *E. crassipes* como abono en biodigestores.

Aunque los valores obtenidos de la Relación Carbono /Nitrógeno se encuentra dentro del rango permisible por la Norma Técnica Colombiana 5167, se puede concluir que se debe dar un mejor control del mismo, haciendo una prueba inicial de la relación y al final para de esta manera mejorar el proceso y tener mejores resultados.

4.2.5 Valor de pH del compost

El análisis de varianza, para la variable dependiente: pH del compost, Tabla 4.3 permite concluir que existe una diferencia altamente significativa para tratamientos, es decir, los factores (mezcla y aditivos) ejercen un efecto significativo sobre la variable considerada, por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 4.3 Análisis de varianza para la variable del valor de pH.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab5 %	Ftab1 %	Significancia
Total	35	4,11	0,12				
Tratamiento	8	2,60	0,32	5,79	2,31	3,26	**
FA (mezcla)	2	2,22	1,11	19,85	3,35	5,49	**
FB (aditivo)	2	0,12	0,06	1,03	3,35	5,49	ns
Error experimental	27	1,51	0,06				

Elaboración: El estudio, 2014

ns no significativo
 ** Significativo al 1%
 Promedio: 7,2
 CV: 3,36%

Para conocer cuál de los tratamientos en estudio presentó mejores valores de pH se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5%. Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Resultados de la prueba de Tukey al 5% al factor pH en los tratamientos.

Tratamientos	pH	Rango
T1 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	7,70	a
T2 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza	7,39	c
T3 - Lechuguin 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo	7,55	b
T4 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	7,15	d
T5 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	7,16	d
T6 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo	7,14	d
T7 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	7,02	e
T8 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	7,05	d
T9 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo	6,77	e

Elaboración: El estudio, 2014

Con respecto al pH se ha encontrado un rango que va desde 6,77 a 7.70. Este registro es corroborado por Canales (2010), en su estudio de plantas acuáticas en el Lago Titicaca que encuentra también pH entre 4.8 a 8.81 ya que depende de los materiales de origen que también son ricos en nitrógeno como lo son la *E. crassipes* y *Lemana sp.*

El tratamiento **T7 (Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%)** presenta el pH óptimo de crecimiento y multiplicación como lo estipula la NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167 que debe estar en un rango mayor a 4 y menor a 9, esto se debe a que los microorganismos responsables de la descomposición de los restos orgánicos no toleran valores muy alejados al 7, esto prueba la eficacia del proceso de descomposición y la utilización de suero de queso al 100%, en donde interviene la actividad de las bacterias ácido lácticas, ya que no hubo la presencia del olor característico de amoníaco que es un gas de marcado carácter alcalino y cuyo olor delata la putrefacción y el incorrecto control de aireación y pérdida de nitrógeno.

4.2.6 Conductividad Eléctrica de la materia orgánica compostada

El ADEVA para la variable Conductividad del compost Tabla 4.5, detectó diferencias altamente significativas para Tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa ya que mezclas y aditivos influyen directamente en la conductividad del compost.

Tabla 4.5 Análisis de ADEVA para la variable contenido de conductividad.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab5 %	Ftab1%	Significancia
Total	35	0,97	0,03				
Tratamiento	8	0,57	0,07	4,89	2,31	3,26	**
FA (mezcla)	2	0,14	0,07	4,78	3,35	5,49	*
FB (aditivo)	2	0,14	0,07	4,68	3,35	5,49	**
Error experimental	27	0,40	0,01				

Elaboración: El estudio, 2014

* Significativo al 5%
 ** Significativo al 1%
 Promedio: 1.86 mS/cm
 CV: 6.69%

Para conocer cuál de los tratamientos en estudio presento el valor óptimo de la variable conductividad se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5%. Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Resultados de la prueba de Tukey al 5% al factor conductividad en los tratamientos.

Tratamientos	mS/cm Conductividad	Rango
T1 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	1,77	c
T2 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza	1,77	c
T3 - Lechuguin 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo	2,02	a
* T4 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	1,63	d
T5 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	1,85	c
T6 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo	1,88	c
T7 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	2,06	a
T8 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	1,81	c
T9 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo	1,94	b

Elaboración: El estudio, 2014

* Valor óptimo de conductividad

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sánchez, Monedero, 2001).

La conductividad optima en el compost presenta valores de 1,63 mS/cm para el tratamiento **T4** que se generó con la mezcla de **Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%** como aditivo para mejorar el proceso de compostaje, de acuerdo con la NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167 donde indica que un compost orgánico no debe exceder de 2 mS/cm, conculerda que el compost de *E. crassipes* y *Lemna sp* con adición de suero de queso puede añadirse al suelo como enmienda y no provocar toxicidad al mismo.

Resultado que indica que la utilización del suero de queso en el proceso de compostaje logro un pH neutro evitando el exceso de salinidad durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica que produce un aumento en la concentración de nutrientes.

El compost de *E. crassipes* y *Lemna sp* con adición de suero de queso puede añadirse al suelo como enmienda y no provocar toxicidad al suelo.

4.2.7 Nitrógeno total de la materia orgánica compostada

El análisis de varianza para la variable Nitrógeno total en el compost Tabla 4.7 detectó diferencias significativas al 5% para Tratamientos por lo que se acepta la hipótesis alternativa, lo que indica que tanto las diferentes proporciones de *E. crassipes* y *Lemna sp* tienen efecto sobre la concentración de nitrógeno del compost.

Tabla 4.7 Análisis de ADEVA para la variable contenido de nitrógeno total.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab5%	Ftab1%	Significancia
Total	35	0,31	0,01				
Tratamiento	8	0,14	0,02	2,94	2,31	3,26	*
FA (mezcla)	2	0,03	0,01	2,17	3,35	5,49	ns
FB (aditivo)	2	0,07	0,03	5,68	3,35	5,49	*
Error experimental	27	0,16	0,01				

Elaboración: El estudio, 2014

ns no significativo
 * Significativo al 5%
 ** Significativo al 1%
 Promedio: 0.99%
 CV: 7.46%

Para conocer cuál de los tratamientos en estudio presentó mejores efectos así como cuál de los niveles de estudio presenta mayores porcentajes de nitrógeno total se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 4.8 Resultados de la prueba de Tukey al 5% para la variable nitrógeno total en los tratamientos.

Tratamientos	% Nitrógeno total	Rango
T1 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	1,05	a
T2 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza	0,87	b
T3 - Lechuguin 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo	1,00	a
T4 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	1,02	a
T5 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	0,89	b
T6 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo	1,00	a
T7 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	1,04	a
T8 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	1,02	a
T9 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo	1,00	a

Elaboración: El estudio, 2014

El contenido de nitrógeno total en el compost presenta porcentajes de nitrógeno significativos para el tratamiento que se generó con la mezcla de **Lechuguin 90% + 10% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%**, con la adición de suero de quesería como aditivo para acelerar el proceso de compostaje, llegando a alcanzar 1,05% de nitrógeno total. En contraste con datos de otras investigaciones realizadas, como es el caso del compost de *Salvinia sp* el cual presentó un contenido de nitrógeno de 1,23% (Orozco, 2005). Se puede determinar que el tratamiento **T1** presenta cierta similitud con el compost de *Salvinia sp* ya que este abono orgánico presenta un contenido de nitrógeno similar. Tabla 4.8.

La cantidad de nitrógeno que se presenta en los tratamientos, varía durante el proceso de maduración, ya que el nitrógeno disminuye debido al proceso de mineralización y nitrificación que se da durante el proceso de maduración de compost por efecto de los microorganismos, los cuales requieren el nitrógeno para realizar la degradación de los materiales que se encuentran en las unidades experimentales.

Según la FAO, Costa Rica (2013) el nitrógeno total que debe tener un compost maduro debe ser mayor a 1% ya que la forma química de absorción de nitrógeno por parte de las plantas son los nitratos que abundan en el compost maduro, en el compost fresco el nitrógeno predominante es en forma de amonio menos tolerables por algunos vegetales.

4.2.8 Nitrógeno mineral (nitrítico y amoniacal) de la materia orgánica compostada

El análisis de varianza para las variables; Nitrógeno nitrítico y Nitrógeno amoniacal en el compost Tabla 4.9 y Tabla 4.9 respectivamente, detectó diferencias significativas para Tratamientos, lo que significa que existió una fuerte influencia de la combinación tanto de la calidad y cantidad de la biomasa empleada, así como de los aditivos utilizados, para regular el proceso de compostaje, por lo que aceptamos la hipótesis alternativa.

Tabla 4.9 Análisis de ADEVA para la variable de nitrógeno nitrítico.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 1%	Significancia
Total	35	1478,81	42,25				
Tratamiento	8	947,79	118,47	6,02	2,31	3,26	*
FA (mezcla)	2	401,33	200,66	10,20	3,35	5,49	ns
FB (aditivo)	2	333,97	166,98	8,49	3,35	5,49	*
Error experimental	27	531,02	19,67				

Elaboración: El estudio, 2014

ns no significativo
 * Significativo al 5%
 ** Significativo al 1%
 Promedio: 11.23 mg/1000g
 CV: 43.14%

Tabla 4.10 Análisis de ADEVA para la variable contenido de nitrógeno amoniacal.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 5%	Ftab 1%	Significancia
Total	35	7,86	0,22				
Tratamiento	8	5,63	0,70	8,50	2,31	3,26	**
FA (mezcla)	2	1,74	0,87	10,54	3,35	5,49	**
FB (aditivo)	2	2,01	1,01	12,16	3,35	5,49	**
Error experimental	27	2,24	0,08				

Elaboración: El estudio, 2014

** Significativo al 1%
 Promedio: 11.23 mg
 CV: 43.14%

Tabla 4.11 Resultados de la prueba de Tukey al 5% de contenido de nitrógeno nítrico en los tratamientos.

Tratamientos	mg/1000g Nitrógeno nítrico	Rango
T1 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	15,80	b
T2 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza	8,04	c
T3 - Lechuguin 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo	8,17	c
T4 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	7,20	c
T5 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	7,15	c
T6 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo	8,03	c
T7 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	23,45	a
T8 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	10,28	c
T9 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo	13,01	b

Elaboración: El estudio, 2014

El contenido de nitrógeno nítrico en el compost presenta valores significativos para el tratamiento que se generó con la mezcla de 70% de lechuguines y 30% en peso de lenteja de agua, con la adición de suero de quesería como aditivo para mejorar el proceso de compostaje, llegando a alcanzar 23,45 mg/1000g de contenido de nitrógeno nítrico. Tabla 4.11 Resultados de la prueba de Tukey al 5% de contenido de nitrógeno nítrico en los tratamientos., el nitrógeno nítrico se comporta de manera inversa dado que prácticamente no existe al comienzo detectándose al final del proceso, quizás como consecuencia de la mineralización del nitrógeno orgánico, pasando a amonio y oxidándose a nitrato. (Soliva, López. 2004).

Tabla 4.12 Resultados de las prueba de Tukey al 5% de contenido de nitrógeno amoniacal en los tratamientos.

Tratamientos	mg/1000g Nitrógeno amoniacal	Rango
T1 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	2,72	d
T2 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza	3,74	c
T3 - Lechuguin 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo	3,82	c

T4 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	3,91	c
T5 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	3,99	b
T6 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo	3,76	c
T7 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	3,58	c
T8 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	3,90	c
T9 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo	4,21	a

Elaboración: El estudio, 2014

El tratamiento con menor contenido de nitrógeno amoniacal fue el tratamiento que resulta de la mezcla de 90% de lechuguines con 10% de lenteja de agua con la adición de aditivo de compostaje (suero de quesería al 100%), con un valor de 2,72 mg/1000g. Tabla 4.12, por lo que la concentración de nitrógeno, al contrario de lo que sucede con otros macronutrientes como fósforo y potasio, no aumenta con el proceso, sino que disminuye en algunos casos. Una pequeña parte de él es inorgánico, encontrándose inicialmente en forma de amonio; va desapareciendo conforme avanza el proceso de compostaje, quedando al final del proceso valores muy bajos.

Todos estos cambios se llevan a cabo especialmente en la fase de compostaje. La fase de maduración prácticamente no tiene incidencia sobre la mayoría de ellos, puesto que la actividad de los microorganismos es mínima y la pérdida de peso por mineralización es pequeña y contribuye a obtener una materia orgánica más humificada, que no se perderá en gran medida al aplicarla al suelo. (Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. INGACAL. Apdo. 10 – 15080 La Coruña, España)

4.2.9 Fósforo total de la materia orgánica compostada

El análisis de varianza para la variable Fósforo total del compost Tabla 4.13, detectó diferencias altamente significativas para Tratamientos, Mezclas, por lo que aceptamos la hipótesis alternativa, lo que indica que las diferentes concentraciones utilizadas y los aditivos tuvieron muchas influencia en la composición de los tratamientos.

Tabla 4.13 Análisis de ADEVA para la variable contenido de fósforo total.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab5%	Ftab1%	Significancia
Total	35	8,92	0,25				
Tratamiento	8	7,62	0,95	19,79	2,31	3,26	**
FA (mezcla)	2	5,20	2,60	54,04	3,35	5,49	**
FB (aditivo)	2	0,15	0,07	1,52	3,35	5,49	ns
Error experimental	27	1,30	0,05				

Elaboración: El estudio, 2014

ns no significativo
 ** Significativo al 1%
 Promedio: 2.99 mg/1000g

Para conocer cuál de los tratamientos en estudio presentó mejores efectos así como cuál de los niveles de estudio presenta mejores contenidos de fósforo total se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 4.14 Resultado de la prueba de Tukey al 5% de contenido de fósforo total en los tratamientos.

Tratamientos	mg/1000g Fosforo total	Rango
T1 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	3,98	a
T2 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza	3,57	b
T3 - Lechuguin 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo	3,01	d
T4 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	2,78	e
T5 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	3,02	d
T6 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo	3,14	c
T7 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	2,37	f
T8 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	2,72	e
T9 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo	2,68	e

Elaboración: El estudio, 2014

En un compost a base de *E. crassipes*, eses de ganado vacuno y restos vegetales se encontró que el nivel de fósforo era de 0,17% (Rodríguez, 2013). El abono obtenido en la presente investigación de contenido de fósforo total presenta valores significativos para el tratamiento **T1** que se generó con la mezcla de 90% de lechuguines y 10% en peso de

lenteja de agua, con adición de aditivo acelerador de compostaje (suero de quesería al 100%) llegando a alcanzar 3,98 mg/1000g de contenido de fosforo total de tal forma que se encuentra en el rango dictado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (2013). que va desde 0.3% hasta 1% Tabla 4.14.

El fósforo se puede afectar por la acidez del suelo ya que el Aluminio y el Hierro tienen la capacidad de formar compuestos poco solubles para la planta, pero puede ser beneficioso ya que reduce o elimina el efecto de toxicidad de estos elementos, de tal manera que la planta se ve beneficiada para su adecuado desarrollo y su aprovechamiento de los otros nutrientes que aporta el abono (FAO, 1990).

4.2.10 Contenido de potasio en el compost

El análisis de varianza para la variable Contenido de potasio del compost Tabla 4.15, detectó diferencias altamente significativas en Tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa, eso quiere decir que tanto la mezcla y los aditivos tienen incidencia en el contenido de potasio.

Tabla 4.15 Análisis de ADEVA para la variable contenido de potasio.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab5 %	Ftab1 %	Significancia
Total	35	5,83	0,17				
Tratamiento	8	5,30	0,66	33,87	2,31	3,26	**
FA (mezcla)	2	4,36	2,18	111,47	3,35	5,49	**
FB (aditivo)	2	0,15	0,08	3,94	3,35	5,49	*
Error experimental	27	0,53	0,02				

Elaboración: El estudio, 2014

* Significativo al 5%

** Significativo al 1%

Promedio: 1.47 %

CV: 13.10%

Para conocer cuál de los tratamientos presentó mayores porcentajes de potasio se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 4.16 Resultado de la prueba de Tukey al 5% de contenido de potasio en los tratamientos.

Tratamientos	% Potasio	Rango
T1 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	1,91	b
T2 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza	1,89	b
T3 - Lechuguin 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo	2,04	a
T4 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	1,26	d
T5 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	1,74	c
T6 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo	1,12	e
T7 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	1,19	e
T8 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	1,07	e
T9 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo	1,08	e

Elaboración: El estudio, 2014

En los resultados obtenidos se encontró que el porcentaje de potasio en el compost presenta valores significativos para el tratamiento **T3** que se generó con la mezcla de 90% de lechuguines y 10% en peso de lenteja de agua, sin adición de aditivo acelerador de compostaje llegando a alcanzar 2,04% de potasio, porcentaje que según la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Chile, 2013, está en los rangos adecuados. La diferencia que en la investigación de Enríquez, 2013, en donde utiliza *E. crassipes* como base para obtención de abono llega a obtener 0,17% de potasio, lo que indica que los valores de potasio dependen de las concentraciones de factores como humedad y cantidad y calidad de desechos, por lo que en ésta investigación se utiliza *E. crassipes* y la diferencia es la adición de *Lemna sp* especie acuáticas que contiene grandes concentraciones de macronutrientes. Tabla 4.16.

El Potasio, juega un papel vital en la síntesis de carbohidrato y de proteínas y por consiguiente en la estructura de la planta ya que mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad, las plantas bien provistas de potasio sufren menos de enfermedades. (Román, Martínez, Pantoja, 2013).

4.2.11 Recuento de coliformes totales

El análisis de varianza para la variable Recuento de coliformes totales del compost Tabla 4.17 detectó diferencias significativas en Tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa, en donde los factores como proporciones y adición de aditivos tienen influencia directa en la cantidad de patógenos del compost.

Tabla 4.17 Análisis de ADEVA para la variable contenido de coliformes totales.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab5%	Ftab1%	Significancia
Total	35	77,78	2,22				
Tratamiento	8	25,07	3,13	1,61	2,31	3,26	*
FA (mezcla)	2	1,70	0,85	0,44	3,35	5,49	ns
FB (aditivo)	2	6,31	3,15	1,62	3,35	5,49	*
Error experimental	27	52,71	1,95				

Elaboración: El estudio, 2014

ns no significativo
 * Significativo al 5%
 ** Significativo al 1%
 Promedio: 13.63 UFC/g
 CV: 10.57%

Para conocer cuál de los tratamientos en estudio presentó mejores efectos así como cuál de los niveles de estudio presenta mayores contenidos de coliformes totales se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 4.18 Resultados de la prueba de Tukey al 5% de contenido de coliformes totales en los tratamientos

Tratamientos	UFC/g Coliformes Totales	Rango
T1 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	13,56	c
T2 - Lechuguin 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de melaza	13,80	c
T3 - Lechuguin 90% + 10% Lenteja de agua, sin aditivo	12,57	c
T4 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	13,21	c
T5 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	12,64	c
T6 - Lechuguin 80% + 20% Lenteja de agua, sin aditivo	15,15	a
T7 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 100%	13,44	c
T8 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua + Suero de quesería 50% + 50% solución al 5% de melaza	13,21	c
T9 - Lechuguin 70% + 30% Lenteja de agua, sin aditivo	14,83	b

Elaboración: El estudio, 2014

El tratamiento con menor recuento de coliformes totales la mezcla de 90% de lechuguines con 10% sin aditivo, con un valor de 12,57 UFC/g. Tabla 4.18.

Los hongos tienen mucha importancia en la degradación de la materia orgánica, sobre todo de la celulosa, que es una de las partes más resistentes de la materia orgánica, representando el 60% de su masa total. Los hongos se destruyen mayormente cuando la temperatura está a 55°C, por lo que algunos pueden permanecer en estado de latencia, reactivándose en la etapa de enfriamiento del compost.

4.3 Guía de manejo de compostaje

La importancia del manejo integral de lechuguín (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna sp*) mediante el proceso de elaboración de compost, se presenta mediante la guía de compostaje dirigida a la Asociación de Regantes de Chaltura que será utilizada como material de apoyo.



Figura 4.2 Piscina de tratamiento con lechuguín

Elaboración: El estudio, 2014



Figura 4.3 Piscinas con tratamiento de lenteja de agua

Elaboración: El estudio, 2014

4.3.1 Compostaje con plantas acuáticas

El compostaje es la forma ideal de reciclar y devolver los restos orgánicos al lugar de donde provienen originariamente.

Es un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica en presencia de oxígeno; en el que intervienen microorganismos aerobios, dando como resultado de este proceso un enmendador de suelos cuyas características nutricionales son fundamentales para la recuperación y fertilidad de los suelos.

Este grupo de plantas es capaz de retener cantidades considerables de nutrientes, que presentan una alta productividad y una alta tasa de crecimiento, por lo tanto una fuente de biomasa para uso en la producción de compost.

Realizando compost con los restos de lechuguin y lenteja de agua no se necesita comprar abonos ni sustratos, habrá menos acumulación de desechos orgánicos en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Por lo tanto, el reciclaje de lechuguin y lenteja de agua es una estrategia de manejo de malezas acuáticas para mejorar la salud del suelo por su alto contenido orgánico que hace que sea una fuente potencial para la producción de abono, enmarcándose dentro de un plano social, económico y ambiental lo que permite la sostenibilidad en beneficio de la Asociación de Regantes de Chaltura.

El compost obtenido de los desechos de plantas acuáticas se puede emplear para mejorar y fortalecer el suelo de arbustos, césped, árboles y los cultivos de tomate riñón, maíz, etc., ya que el compost vigoriza la tierra y favorece la actividad de la vida microbiana, evita la erosión y en general potencia la actividad biológica del suelo.

4.3.2 Fundamentos teóricos del compostaje

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aerobias y con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una apropiada transformación higiénica de los restos orgánicos iniciales en un material asimilable por las plantas.

4.3.3 Fases del compostaje

Según la temperatura generada durante el proceso, se identifican cuatro etapas principales en un compostaje, éstas se dividen según la temperatura en:

- **Mesófila**

En esta etapa existe la presencia de bacterias y hongos mesofílicos dado a su actividad metabólica que realizan, hay un aumento de la temperatura de hasta 21-38°C, favoreciendo la aparición de hongos mesofílicos más tolerantes a las variaciones de pH. En esta etapa se debe de mantener la humedad entre 40% y 60%, dado que el agua distribuye los nutrientes por toda la masa.

Descompone:

- Azúcares
- Almidón → libera energía y eleva la temperatura en el interior
- Proteínas
- Grasas

Duración: 1-6 días

- **Termófila**

En esta etapa la temperatura sigue ascendiendo hasta llegar a valores de 38°C, trayendo como consecuencia la muerte de las poblaciones de bacterias y hongos mesofílicos, apareciendo las bacterias, hongos y actinomicetos termofílicos, su actividad microbiana genera calor haciendo que la temperatura aumente, por lo que el pH incrementa hasta estabilizarse, permaneciendo constante hasta el final de proceso. El compost se va tornando un color oscuro.

Duración: Séptimo día

- **Etapa de enfriamiento**

Una vez que los nutrientes y la energía comienzan a disminuir, la actividad de los microorganismos termofílicos disminuye, por lo que la temperatura también lo hace hasta llegar a la temperatura ambiente 15-17 °C, provocando la muerte de estos y reapareciendo los microorganismos mesofílicos, con el proceso hasta que toda la energía sea utilizada.

Duración: 8 días

- **Maduración**

En esta etapa la temperatura y el pH se estabilizan, si es el caso que el pH sea ácido (inferior a 7), el compost nos indica que todavía no está maduro. El color del producto final debe ser negro o marrón oscuro y su olor a tierra de bosque, no visualizando algunas partículas de los residuos iniciales.

Duración: 26 días

4.3.4 Parámetros importantes del compostaje

- **pH (7,05)**

En los primeros días del proceso, el pH se acidifica (inferior a 7) por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza (superior a 7) el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

- **Conductividad Eléctrica 1,63 mS/cm**

Es un indicador de la salinidad del compost y no debe ser superior a 2 mS/cm, para no provocar toxicidad a las plantas.

4.3.5 Nutrientes del compost

Los nutrientes del compost forman parte de una estructura la cual está unida a otras moléculas orgánicas que armonizan y facilitan la liberación y posterior absorción de los nutrientes por parte de las plantas.

Los nutrientes en el suelo, se dividen en macro- y micro- nutrientes, en función de las cantidades que la planta necesite. Los macronutrientes primarios son Nitrógeno, Fósforo y Potasio, y los secundarios son Magnesio, Azufre y Calcio.

Los micronutrientes son requeridos en cantidades muy pequeñas, pero generalmente son importantes para el metabolismo vegetal y animal.

- **El Nitrógeno, N (1,05%)**

Es el motor del crecimiento de la parte aérea de la planta (hojas, tallos), es responsable del color verde de las plantas ya que está involucrado en todos los procesos principales de su desarrollo.

Un buen aporte de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes (Román, *et, al.*2013).

- **El Fósforo, P (3,98 mg/1000g)**

Juega un papel importante en la transferencia de energía, por lo que es esencial en la eficiencia de la fotosíntesis (Román, *et, al.*2013).

- **El Potasio, K (2,04%)**

Es decisivo en el desarrollo de toda la planta, posibilita que las raíces y los tallos sean fuertes y las semillas, frutos y hojas grandes y colabora con la circulación de otros nutrientes alrededor de la planta. El potasio mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades (Román, *et, al.*2013).

Tabla 4.19 Contenido de N, P y K

Nutriente	% en compost
Nitrógeno	1,05%
Fosforo	3,98 mg/1000g
Potasio	2,04%

Elaboración: El estudio, 2014

- **Contenido de materia orgánica (18.14%):** debe oscilar entre valores de 5 y 20 % (Román, *et.al*, 2013) y depende de la transformación de la materia orgánica durante el proceso.
- **Carbono/nitrógeno (9,59%)** sirve como indicador del grado del avance del proceso y es de vital importancia realizar una prueba inicial de la relación y al final para obtener un mejor proceso.

4.3.6 Herramientas recomendadas para la elaboración de compost

Las herramientas que se utilizan en el proceso de compostaje son:

- **Pala:** para agregar material (lechuguin y lenteja de agua), voltear y sacar el compost terminado.



Figura 4.4 Material y herramientas

Elaboración: El estudio, 2014

- **Tijeras de podar, trituradora, moto guadaña:** para conseguir conseguir un tamaño de partícula adecuado, de 2,5 cm a 5,0 cm (capítulo 2).



Figura 4.5 Picadora

Elaboración: El estudio, 2014

- **Regadera, manguera:** para mantener una correcta humedad en el material en el proceso de compostaje.



Figura 4.6 Regadera

Elaboración: El estudio, 2014

- **Termómetro de alcohol:** para la medición de la temperatura del material durante el proceso.



Figura 4.7 Termómetros de alcohol

Elaboración: El estudio, 2014

- **Tamiz:** Para el cernido del material al finalizar el proceso de compostaje y separar elementos gruesos que aún no se han descompuesto.



Figura 4.8 Tamiz

Elaboración: El estudio, 2014

- **Otros:** materiales que ayudan en la labor como los rastrillos, carretillas.



Figura 4.9 Balanza eléctrica

Elaboración: El estudio, 2014

- **Equipo de protección personal:** equipo a utilizar en las labores de cosecha



Figura 4.10 Equipo de protección personal

Elaboración: El estudio, 2014

4.3.7 Elaboración de compost

4.3.7.1 Cosecha de lechugin y lenteja de agua

Para un adecuado manejo de la cosecha se debe conocer bien: Cuando cosechar y cuanto cosechar. Ortiz, (2009) indica que “se mantendrá una cobertura completa y manto denso de lechugin y lenteja de agua, con espacio para el crecimiento, que garantizan una máxima concentración de ion amonio y un pH adecuado, obteniéndose velocidades de crecimiento, en base húmeda, entre 130 y 200 g/m²-día”.

4.3.7.2 Cosecha

El lechugin y la lenteja deben ser cosechadas con una frecuencia mínima de dos veces por semana. La densidad, o el peso de biomasa fresca por metro cuadrado del cultivo, determinan la cantidad y frecuencia requerida para la cosecha en un rango de densidades de trabajo entre 100 y 120 g/m² (Ortiz, 2009).

Se observa en la imagen las actividades a desarrollar, nótese que se presenta al operador con uniforme y equipo de protección completo Figura 4.11 Labor de cosecha.



Figura 4.11 Labor de cosecha

Elaboración: El estudio, 2014

Estos vegetales tienen un crecimiento rápido, por lo que deben ser removidas semanalmente, mediante la utilización de herramientas especialmente diseñadas para este propósito y desalojadas, principalmente al área de compostaje.

4.3.7.3 Ecurrimiento

Realizar una capa entre 25 y 40 cm con el material vegetal cosechado en una pendiente de 25% para obtener en un 40-50% de humedad (3-4 días de escurrimiento) para el transporte a las composteras logrando evitar así la pudrición y malos olores en el proceso del compost.



Figura 4.12 Ecurrimiento del material vegetal

Elaboración: El estudio, 2014

4.3.7.4 Selección del área a compostaje

En un lugar donde esté protegido de la lluvia para evitar el exceso de humedad, evitar vientos fuertes, poca pendiente (evitar problemas de lixiviados) y tenga facilidad para la realización de los volteos se recomienda realizarla de manera intercalada con espacios entre las pilas.



Figura 4.13 Área de compostaje

Elaboración: El estudio, 2014

4.3.7.5 Pesaje

Los residuos orgánicos que se cosechan se pesan utilizando balanzas para obtener registros de la cantidad del material que ingresa al área de compostaje y cuanto se obtiene de abono.



Figura 4.14 Pesaje

Elaboración: El estudio, 2014

4.3.7.6 Trituración

Transcurridos 3 días cuando la mezcla ha disminuido su contenido de humedad, se los tritura al máximo con la utilización de la moto guadaña para acelerar su periodo de descomposición a un tamaño aproximado de 2,0 cm a 5,0 cm.



Figura 4.15 Trituración de lenteja y lechuguin

Elaboración: El estudio, 2014

4.3.7.7 Descarga

Se depositan los residuos en el área de compostaje con una extensión de 50m de largo por 2m de ancho, se esparcen y se mezclan hasta obtener una muestra homogénea de 100%, es decir, una proporción de 90 % de lechuguin y 10% de lenteja de agua.



Figura 4.16 Descarga del material vegetal

Elaboración: El estudio, 2014

4.3.7.8 Volteo

Estas pilas se voltean la primera vez transcurridos los primeros 10 días de iniciar el proceso de descomposición para después realizar los volteos pasando 2 días por semana. Esto depende de las condiciones climáticas, de la humedad y el aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer un volteo. Se agrega el suero de leche (aproximadamente 48 litros de suero) y/o la melaza (aproximadamente 1, 25 kg de melaza más 25 litros de agua más 24 litros de suero) y se controla la humedad y temperatura.

4.3.8 Control de temperatura, humedad y pH.

Temperatura: si no se dispone de un termómetro, se puede utilizar una barra de metal o de madera, si no se tiene de metal.



Figura 4.17 Labor de volteo para manejo de aireación del material

Elaboración: El estudio, 2014

La barra se introduce en distintos puntos de la pila y manualmente se comprueba un aproximado de la temperatura según la fase de compostaje y observando las temperaturas recomendadas en cada fase.



Figura 4.18 Registro de datos de temperatura

Elaboración: El estudio, 2014

Con la consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante la fase termofílica, la humedad, la aireación y el tamaño de partícula, se destruyen las bacterias patógenas y parásitas presentes en los residuos en proceso de descomposición.

En esta fase se da la higienización del material. En las fases siguientes podría ocurrir una re-contaminación del material debido a varios factores, como por ejemplo, la utilización de

utensilios contaminados con material fresco, como una pala para el volteo, o añadiendo material fresco después de la fase termófila (Román, *et.al*, 2013).

Humedad: se realiza la llamada “técnica del puño cerrado”, que consiste en introducirla mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o añadir material secante (aserrín o paja). Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua.



Figura 4.19 Evaluación de la humedad en el proceso de compostaje

Elaboración: El estudio, 2014

Acidez o pH: Si el compost está húmedo pero no encharcado, se puede insertar una tira indicadora de pH en el compost. Se deja reposar durante unos minutos para absorber el agua, y se lee el pH mediante la comparación del color.

Comprobación que ha finalizado el compostaje (en fase de maduración): para comprobar que el compost ha entrado en fase de maduración, el material aun húmedo no debe aumentar de temperatura nuevamente a pesar de que se realice el volteo, eso demuestra que el proceso ha terminado, ya que la temperatura promedio varía entre el 15-17°C, es decir temperatura ambiente.

4.3.8.1 Tamizado

Una vez que se ha comprobado que el material del compost está maduro (aproximadamente después un mes y medio), se recoge el compost y se deposita en la zaranda, para luego ser tamizado con el fin de eliminar los elementos gruesos, el material

grueso que no pasa a través de la zaranda (más grueso que 2 a 5 cm) volverá al área de compostaje para cumplir una doble función, seguir descomponiéndose y servir como inoculante de bacterias compostadoras e compostaje.



Figura 4.20 Material grueso

Elaboración: El estudio, 2014



Figura 4.21 Tamizado del extracto

Elaboración: El estudio, 2014



Figura 4.22 Material fino

Elaboración: El estudio, 2014

4.3.8.2 Seguimiento a las labores de campo

Para seguir las labores de compostaje en campo, es recomendable usar una hoja de registro diaria de las actividades durante todo el proceso de compostaje y poder controlar los parámetros más importantes como temperatura, riego, humedad, volteo y el responsable de cada labor.

Tabla 4.20 Hoja de registro para las compost

N° DE PILA

FECHA DE INICIO

N° DÍA	TEMPERATURA	RIEGO	HUMEDAD	VOLTEO	FECHA	RESPONSABLE

4.3.9 Problemas Comunes

Los problemas más comunes durante el proceso de compostaje pueden afectar negativamente la asimilación de los nutrientes por parte de las bacterias descomponedoras, en la siguiente tabla se muestran las soluciones que se puede aplicar.

Tabla 4.21 Problemas comunes durante el proceso de compostaje

Problemas	Soluciones
Temperatura no sube	Añadir césped o restos de fruta o verdura
Temperatura muy alta	Voltear y regar con cierta frecuencia
Material frio y húmedo	Voltear y si es posible poner aserrín o ramas secas
Material frio y seco	Regar con más frecuencia
Mal olor	No poner agua, remover y colocar cal o paja
Gusano blanco	Reducir el agua, voltear y mezclar con residuos secos
Velo blanco	Son hongos, buena señal son beneficiosos

Elaboración: El estudio, 2014

4.3.10 Producción Mensual

En el mes produce un promedio de 2,295 kg de residuos orgánicos y se obtiene cerca de 900 kg de compost, lo que da un rendimiento del 40%.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se concluye que para los tratamientos se acepta la hipótesis alternativa, lo que indica que tanto las diferentes proporciones de Lechuguín (*E. crassipes*) Lenteja (*Lenma sp*) tienen efecto sobre el pH, conductividad, nitrógeno total, nitrógeno mineral, fósforo, potasio y recuento de coliformes fecales.
- Los aditivos (suero de leche y melaza) previenen la proliferación de insectos o plagas, además como medida de prevención de malos olores en la descomposición del material vegetal.
- En el análisis bromatológico de la *Lenma sp* demuestra tener la más alta cantidad de proteína con un valor de 33.27%, a diferencia de la que *E. crassipes*, que presenta un valor de 22.67%, demostrando que *Lenma sp* podría ser de alto potencial como alimento dentro de la dieta de consumo animal.
- En la composición química de las plantas acuáticas (*E. crassipes* y *Lemna sp*) predomina la cantidad de agua, resultado que se comprueba ya que su contenido de materia seca, está entre 8.71% y 5.93%, respectivamente.
- Los valores obtenidos de la relación carbono/nitrógeno, se encuentran dentro del rango permisible siendo 9.59%, lo cual que indica la estabilidad de que la degradación irá disminuyendo lentamente en el tiempo, ayudando a establecer la culminación del proceso de compostaje.
- En cuanto al tiempo de descomposición de los tratamientos, se determina que los mejores tratamientos fueron T7, T8 y T9, que representan la proporción de 70% de lechuguin más 30% de lenteja, obteniendo el 30% del material descompuesta y se

observó que la adición de suero y/o melaza no tuvo mayor influencia en el tiempo de descomposición.

- Se determina que con los tratamiento con una proporción de 90% de lechuguin más 10% de lenteja, existen macroelementos como: nitrógeno (0.5%), fósforo (0.3%) y potasio (0.4%) de los cuales constituyen la base de todo fertilizante orgánico.
- Con los estudios realizados se logró diseñar y elaborar una Guía de manejo de compostaje, facilitando a los beneficiarios de la asociación de regantes para el uso del recurso en la actividad agrícola.

5.2 RECOMENDACIONES

- Por la composición del lechuguin y lenteja de agua, se recomienda seguir con la investigación para la transformación en abonos orgánicos que ayuden a mejorar la calidad del suelo agrícola.
- Se debe utilizar aditivos (suero de leche y melaza) con la finalidad de prevenir la proliferación de insectos o plagas, además como medida de prevención de malos olores en la descomposición del material vegetal.
- Hacer el estudio para la elaboración de alimentos balanceado con la utilización de *Lemna sp* porque demuestra ser un alto potencial como alimento dentro de la dieta animal.
- Se recomienda tomar en cuenta la cantidad de biomasa destinada a la producción de compost de las especies acuáticas lechuguin y lenteja de agua, ya que por su alto contenido de humedad se convertiría en una desventaja en la elaboración del compost.
- Es conveniente utilizar proporciones de 70% de lechuguin más 30% de lenteja de agua, para obtener en menor tiempo de descomposición; a diferencia que si se utiliza proporciones de 90% de lechuguin más 10% de lenteja de agua para obtener mayor cantidad de macroelementos.
- Se recomienda que la Asociación de regantes, siga de forma sistemática las indicaciones que se encuentran en la guía de elaboración de compostaje; además, obtener información actualizada sobre procesos de elaboración de compost.
- Es conveniente realizar los análisis de metales pesados en el sustrato del compostaje, ya que no se han realizado estudios al respecto.

- Con el fin de optimizar las labores de triturado de lechuguin (*E. crassipes*) se recomienda la adquisición de una máquina picadora, con lo que se estaría disminuyendo la mano de obra manual.

BIBLIOGRAFÍA

- Abid, N. S. (2006). *Detrimental effects of olive mill wastewater on the composting process of agricultural wastes*. Waste Management.
- Acosta, Y. P. (2004). Índice de humificación y prueba de fitotoxicidad en residuos orgánicos de uso agrícola potencial. *Fac. Agron*, 21(4), 185-194.
- Alarcón, P. (2012). *Plantas invasoras acuáticas y culícidos: un binomio peligroso*. *Invasive aquatic plants and culicids: a dangerous duo*. Esp. Hist. Nat. Sec. Biol.
- ARROYAVE, M. P. (2004). *La lenteja de agua (lemna minor l.)*. Recuperado el 15 de septiembre de 2014, de http://www.academia.edu/4158322/LA_LENTEJA_DE_AGUA_Lemna_minor_L._UNA_PLANTA_ACU%C3%81TICA_PROMISORIA_MAR%C3%8DA_DEL_PILAR_ARROYAVE_RESUMEN
- Barañaño, P. T. (2004). Tratamiento de las Aguas Servidas: . *Situación en Chile*. *Ciencia y Trabajo*, 111-117.
- Barrena, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnica respirométrica en el seguimiento del proceso. Trabajo para optar al grado de Doctor en Ciencias y Tecnologías ambientales*. España: Universidad de Barcelona.
- Barrena, R. V. (2006). Prediction of temperature and thermal inertia effect in the maturation stage and stockpiling of a large composting mass. 26: 953-959.
- Barrena, R. V. (2006). The use of respiration indices in the composting process: a review. 37-47.
- Bernal, M., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M., & Cegarra, J. (1998). *Maturity y stability parameters of composts prepared with a wide range of organics wastes*.
- Cáceres, R. F. (2006). *Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies*. Waste Management.
- Castaldi, P., Alberti, G., Merella, R., & Melis, P. (2005). *Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity*. Waste Management.
- Costa, F., García, C., Hernández, T., & Polo, A. (1995). *Residuos orgánicos urbanos: manejo y utilización* (Segunda ed.). España: Ed. CSIC.

- Curt Fernández de la Mora, M. D. (2009). *Fitodepuración en humedales* . Recuperado el 16 de marzo de 2014, de http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%201%20a%202.pdf
- Escobar, F., Sánchez, J., & Azero, A. (2008). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *3(5)*, 390-410.
- F.X, M. (1995). Posibles usos de los residuos orgánicos en agricultura: Abono, enmienda orgánica y sustrato de cultivo. En *Reutilización de residuos urbanos en agricultura* (págs. 26-46). Barcelona, España: ornadas Técnicas.
- Garces K, G. R. (2002). Fotografías tomadas des sistema de descontaminación de aguas sevidas de la Finca Pecuaria Integrada de la Uniersidad de EARTH. Costa Rica.
- Gobierno Municipal de Antonio Ante. (2008). “*Plan de Gestión Integral de Desechos Sólidos del Cantón Antonio Ante Provincia de Imbabura*. Ordenanza Municipal del Cantón Antonio Ante, Atuntaqui, Ecuador.
- Jaramillo, G. y. (2008). *Aprovechamiento de los Residuos Orgánicos en Colombia*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Llagas Chafloque, W. A., & Gómez, E. G. (enero - junio de 2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM minas metal . *Instituto de Investigación Fc.*, *21(17)*, 85-96.
- Martínez, R. M., A., L. M., van Konijnenburg, A., & Pellejero, G. (2010). *Evaluación del compostaje de los residuos del procesamiento de la cebolla*. ;. Dpto. Agronomía – Universidad Nac. Universidad Nacional del Comahue; EEA Valle Inferior - INTA.
- Méndez, F. (2011). *Díptico, Planta de Tratamiento aguas residuales – Plantas Acuáticas*. Cuenca, Ecuador.
- Ministerio de Agricultura. (25 de Octubre de 2006). Fuentes de la presente edición del reglamento de la normativa de la producción orgánica agropecuaria en el Ecuador. *Acuerdo 302 (Registro Oficial 384)*.
- Puerta, S. (2007). “*Evaluación física, química y microbiológica del proceso del compostaje de residuos sólidos urbanos, con microorganismos nativos y comerciales en el municipio de Venecia*. Tesis de Maestría en Biotecnología, Medellín, Colombia.
- Sánchez, B., Ruiz, M., & Ríos, M. (2005). En e. l. *Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud*. Aragua: AgronomíaTrop.

- Toro, F. (2005). Áreas potenciales para la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales de la VI Región de Chile. En T. p. Chile. Santiago; Chile: Universidad de Chile.
- Varnero, M., Rojas, C., & Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *R.C.Suelo Nutr*, 7(1), 28-37.
- W., M. (2009). *Uso racional del agua*. Cuba: Universidad Cienfuegos.
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., & Bertoldo, M. (1981). Biocycle. *Evaluating toxicity of immature compost*(2), 54-57.

ANEXOS

Anexo A Fotografías del proceso de obtención de abono de lenteja de agua y lechuguín



Foto 1. Montaje de las camas de compostaje



Foto 2. Construcción de las camas de compost



Foto 3. Ensayo de pesos



Foto 4. Biomasa de lechuguín y lenteja

Anexo B Criterios de remediación o restauración

CRITERIOS DE REMEDIACIÓN O RESTAURACIÓN (VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS)

SUSTANCIA	Unidades (Concentración en Peso Seco)	USO DEL SUELO			
		Agrícola	Residencial	Comercial	Industrial
Parámetros Generales					
Conductividad	mmhos/cm.	2	2	4	4
pH		6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8

Tomado de: TULSMA (texto unificado de Legislación, saneamiento de medio ambiente) (Anexo 6)

Anexo C Resultados de análisis de laboratorio de suelo

Anexo C. Parámetros físico - químicos



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCION 002-CONEA-2010-129-DC.
Resolución No. 001-073-CEAACES-2013-13

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos
Reporte

Informe No: 0125 - 2014
Análisis solicitado por:
Número de muestra(s):
Fecha de recepción de las muestras:

Sra. Daniela Conaco
Diez y Ocho Muestras de Campos
16 de junio de 2014

Ibarra, 20 de junio de 2014

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T1R2R4	T1R2R6	T6R1R2	T6R2R6	T6R1R4	T6R2R6	
Materia Orgánica	%	13,28	11,80	13,18	1,88	13,07	13,0	Clonación Densidad
pH	-----	7,00	7,78	7,43	7,88	7,20	7,38	Carbón activo
Conductividad (sat. 25°C)	mS/cm	2,70	2,33	2,38	2,08	2,30	1,78	Carbón activo
Nitrógeno Total	%	0,08	0,28	0,20	0,22	0,22	0,78	Kjeldahl
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄ -N)	mg/1000 g	0,00	7,00	18,28	18,78	16,00	18,08	Desviación Método AOAC 9412
Nitrógeno Nitroso (N-NO ₂ -N)	mg/1000 g	10,1	0	8,18	8,00	18,28	10,8	Desviación Método AOAC 9412
Fósforo Total (P)	mg/1000 g	17,80	12,80	11,67	18,00	8,00	8,73	Validación método
Fósforo (D)	%	8,00	2,00	2,88	8,20	8,80	0,20	Desviación Método
Presencia Coliformes Totales	UFC/g	100	100	100	180	100	100	SOLO WEB 10

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T1R2R4	T1R2R6	T6R1R2	T6R2R6	T6R1R4	T6R2R6	
Materia Orgánica	%	10,10	11,80	0,21	0,18	2,21	10,10	Clonación Densidad
pH	-----	0,88	7,80	7,07	7,20	0,80	7,81	Carbón activo
Conductividad (sat. 25°C)	mS/cm	2,21	2,08	2,20	2,18	2,00	8,00	Carbón activo
Nitrógeno Total	%	0,21	0,27	0,81	0,27	0,20	0,70	Kjeldahl
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄ -N)	mg/1000 g	14,87	16,08	17,20	18,67	12,80	11,74	Desviación Método AOAC 9412
Nitrógeno Nitroso (N-NO ₂ -N)	mg/1000 g	117	8,8	10,18	0	0	18,8	Desviación Método AOAC 9412
Fósforo Total (P)	mg/1000 g	0,88	7,77	8,18	8,00	8,81	8,81	Validación método
Fósforo (D)	%	0,870	2,20	2,08	2,00	0,20	0,87	Desviación Método
Presencia Coliformes Totales	UFC/g	100	100	160	180	100	100	SOLO WEB 10

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado						Método de ensayo
		T1R2R4	T1R2R6	T6R1R2	T6R2R6	T6R1R4	T6R2R6	
Materia Orgánica	%	18,62	10,17	11,8	10,88	13,7	7,60	Clonación Densidad
pH	-----	0,80	7,18	0,20	7,28	0,88	0,20	Carbón activo
Conductividad (sat. 25°C)	mS/cm	8,21	8,08	2,20	8,08	8,20	8,00	Carbón activo
Nitrógeno Total	%	0,27	0,21	0,20	0,21	0,20	0,87	Kjeldahl
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄ -N)	mg/1000 g	10,20	16,81	18,70	11,10	16,00	18,88	Desviación Método AOAC 9412
Nitrógeno Nitroso (N-NO ₂ -N)	mg/1000 g	108,1	0	101,8	108,1	881,0	18,10	Desviación Método AOAC 9412
Fósforo Total (P)	mg/1000 g	6,28	7,77	8,00	8,80	2,20	8,80	Validación método
Fósforo (D)	mg/1000 g	0,87	0,80	0,20	0,20	0,18	0,80	Desviación Método
Presencia Coliformes Totales	UFC/g	180	180	100	180	100	100	SOLO WEB 10

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Nota: Las muestras T1R2R4, T6R2R6, T6R1R2 y T7R2R4, con resultado 0, no se detecta el nitrato, sino que su valor se encuentra más abajo del límite de detección del método utilizado para su cuantificación, AquaVite Method AOAC 9412 (límite de detección 1 ppm), además, en la matriz se encuentran interferentes difíciles de eliminar o que no se valoraron porque no se solicitaron tales como: Calcio y Cloruro en una concentración de hasta 100 ppm, Sulfato férrico y Nitrato en cualquier concentración. Parámetros que deslucen análisis para determinar sus concentraciones y establecer una dinámica entre los componentes presentes.

Sra. José Luján Moreno
Técnico de laboratorio

Anexo C. Relación carbono/nitrógeno



ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS
Km 1, Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340
Tel. -Fax 2690694
QUITO - ECUADOR

NOMBRE DEL PROPIETARIO: DANIELA DONOSO
NOMBRE DEL REMITENTE: GALO PABÓN
NOMBRE DE LA GRANJA: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
LOCALIZACIÓN: ATUNTAQUI - ATUNTAQUI - IMBABURA

FECHA DE MUESTREO : 06/06/2014
FECHA INGRESO AL LABORATORIO: 09/10/2014
FECHA DE SALIDA DE RESULTADOS: 20/10/2014

PARROQUIA _____ CANTÓN _____ PROVINCIA _____

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ABONOS ORGÁNICOS

No. Laborat.	Identificación	pH	R C/N	R C.E.	g/100g. (%)					mg/kg. (ppm)						
					N TOTAL	P	K	Ca	Mg	S	M.O	B	Zn	Cu	Fe	Mn
808	Compost		9.59		1.00							18.14				

METODOLOGÍA USADA:

PH y CE al 10%
Materia Orgánica por pérdida por calcinación - Método A.O.A.C.

C.E. = Conductividad eléctrica dS/m = decisiemens/metro
M.O. = Materia orgánica



RESPONSABLE LABORATORIO

[Signature]
LABORATORISTA

Anexo C.3 Análisis bromatológico de lenteja

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/B/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS	

Informe N°: LN-B-E14-177
Fecha emisión Informe: 22/10/2014

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Daniela Donoso

Dirección: Atuntaqui

Teléfono: 2907472

Correo Electrónico: ---

Provincia: Imbabura

Cantón: Antonio Ante

N° Orden de Trabajo: B-14-DSL-1498

N° Factura/Documento: 19427

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Lenteja		Conservación de la muestra: Refrigeración	
Lote: ---		Tipo de envase: Funda plástica	
Provincia: Imbabura		Coordenadas: X: ---	
Cantón: Antonio Ante		Y: ---	
Parroquia: ---		Altitud: ---	
Muestreado por: Daniela Donoso			
Fecha de muestreo: 08-10-2014		Fecha de inicio de análisis: 13-10-2014	
Fecha de recepción de la muestra: 09-10-2014		Fecha de finalización de análisis: 22-10-2014	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	EXPRESIÓN	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO	FORMULACIÓN TEÓRICA
B140567	Lenteja	Humedad	Gravimétrico PEE/B/01	%	94,07	----
		Materia Seca		%	5,93	----
		Proteína (N X 6,25)	Kjeldahl PEE/B/02	%	33,27	----
		Grasa	Soxhlet PEE/B/03	%	1,76	----
		Cenizas	Gravimétrico: PEE/B/04	%	12,05	----
		Fibra	Gravimétrico PEE/B/05	%	19,80	----
		ENN*	Cálculo	%	33,12	----

ENN* = Elementos no nitrogenados

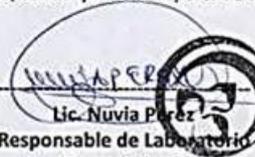
Analizado por:

Nuvia Pérez y Jorge Irazábal

Observaciones: Los resultados de proteína, grasa, ceniza y fibra se reportan en base a materia seca.

Anexo Gráficos: NA

Anexo Documentos: NA


 Lic. Nuvia Pérez
 Responsable de Laboratorio
 Bromatología

AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASEGURAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO
 LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA
 TUMBACO - ECUADOR

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

Anexo C. 4. Análisis bromatológico de lechuguín

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/B/09-FO01
		Rev. 2
	INFORME DE ANÁLISIS	Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-B-E14-178
 Fecha emisión Informe: 22/10/2014

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Daniela Donoso

Dirección: Atuntaqui

Teléfono: 2907472

Correo Electrónico: ---

Provincia: Imbabura

Cantón: Antonio Ante

N° Orden de Trabajo: B-14-DSL-1498

N° Factura/Documento: 19427

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Lechuguín	Conservación de la muestra: Refrigeración	
Lote: ---	Tipo de envase: Funda plástica	
Provincia: Imbabura	Coordenadas:	X: ---
Cantón: Antonio Ante		Y: ---
Parroquia: ---		Altitud: ---
Muestreado por: Daniela Donoso		
Fecha de muestreo: 08-10-2014	Fecha de inicio de análisis: 13-10-2014	
Fecha de recepción de la muestra: 09-10-2014	Fecha de finalización de análisis: 22-10-2014	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	EXPRESIÓN	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO	FORMULACIÓN TEÓRICA
B140568	Lechuguín	Humedad	Gravimétrico PEE/B/01	%	91,29	----
		Materia Seca		%	8,71	----
		Proteína (N X 6,25)	Kjeldahl PEE/B/02	%	22,67	----
		Grasa	Soxhlet PEE/B/03	%	1,12	----
		Cenizas	Gravimétrico: PEE/B/04	%	11,43	----
		Fibra	Gravimétrico PEE/B/05	%	16,16	----
		ENN*	Cálculo	%	48,62	----

ENN* = Elementos no nitrogenados

Analizado por:

Nuvia Pérez y Jorge Irazábal

Observaciones: Los resultados de proteína, grasa, ceniza y fibra se reportan en base a materia seca.

Anexo Gráficos: NA

Anexo Documentos: NA


Lic. Nuvia Pérez
 Responsable de Laboratorio
 Bromatología


AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASEGURAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO
 LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA
 TUMBACO - ECUADOR

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

Anexo D Hojas de cálculo de diseño experimental (parámetro materia orgánica)

Anexo D.1 Contenido de materia orgánica

	R1	R2	R3	R4	SUMA	MEDIA	
T1	A1B1	3,62	3,62	3,52	3,52	14,26	3,57
T2	A1B2	2,38	2,38	2,33	2,33	9,43	2,36
T3	A1B3	2,36	2,36	4,01	4,01	12,75	3,19
T4	A2B1	3,26	3,26	3,44	3,44	13,42	3,35
T5	A2B2	2,59	2,59	2,45	2,45	10,08	2,52
T6	A2B3	2,39	2,39	3,96	3,96	12,69	3,17
T7	A3B1	3,73	3,73	3,27	3,27	13,99	3,50
T8	A3B2	3,66	3,66	3,30	3,30	13,92	3,48
T9	A3B3	3,63	3,63	2,82	2,82	12,91	3,23
					113,44	3,15	

	B1	B2	B3	SUMA	MEDIA
A1	14,26	9,43	12,75	36,44	3,04
A2	13,42	10,08	12,69	36,18	3,02
A3	13,99	13,92	12,91	40,82	3,40
SUMA	41,68	33,42	38,35		
MEDIA	3,47	2,79	3,20		

FC
357,4825765

SCT
12,17742345

SCt
5,921909881

SCExp
6,255513571

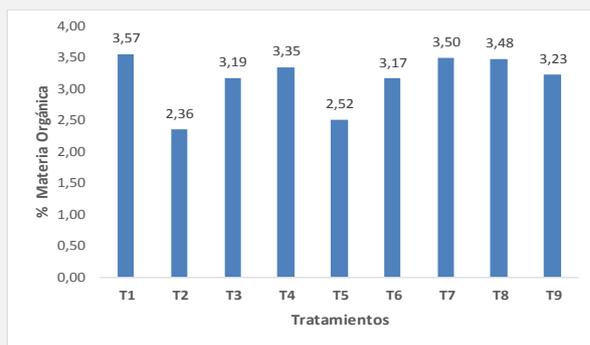
FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab5%	Ftab1%	Significancia
Total	35	12,18	0,35				
Tratamiento	8	5,92	0,74	3,20	2,31	3,26	*
FA	2	1,13	0,57	2,45	3,35	5,49	ns
FB	2	2,88	1,44	6,21	3,35	5,49	**
Interacción AxB	4	8,17	2,04	8,81	2,73	4,11	**
Error experimental	27	6,26	0,23				

CV 13,83

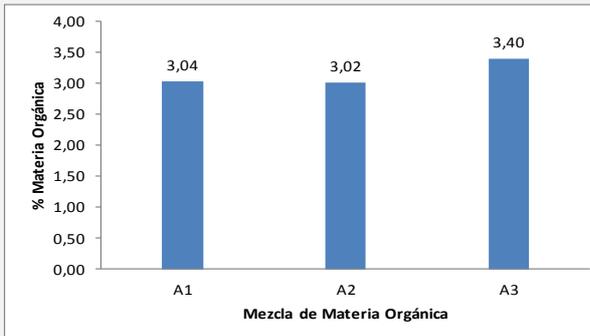
DATOS DE LABORATORIO

A1B1	12,58	12,58	11,86	11,86
A1B2	5,18	5,18	4,93	4,93
A1B3	5,07	5,07	15,60	15,60
A2B1	10,16	10,16	11,36	11,36
A2B2	6,21	6,21	5,49	5,49
A2B3	5,21	5,21	15,15	15,15
A3B1	13,42	13,42	10,17	10,17
A3B2	12,90	12,90	10,38	10,38
A3B3	12,70	12,70	7,46	7,46

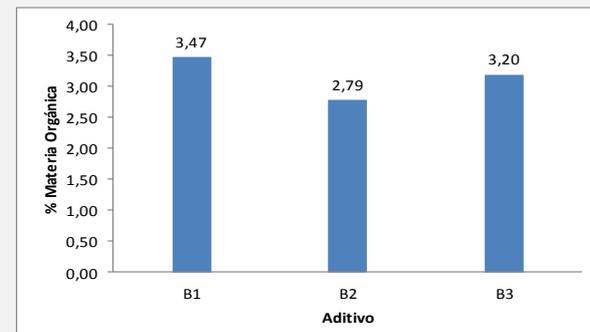
Tratamientos	% Materia Orgánica	Rango
T1	3,57	a
T2	2,36	b
T3	3,19	a
T4	3,35	a
T5	2,52	b
T6	3,17	a
T7	3,50	a
T8	3,48	a
T9	3,23	a



Mezcla	% Materia Orgánica	Rango
A1	3,04	b
A2	3,02	c
A3	3,40	a



Aditivo	% Materia Orgánica	Rango
B1	3,47	a
B2	2,79	c
B3	3,20	b



Tratamientos	% Materia Org	Rango
Lechuguín 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	3,57	a
Lechuguín 90 % + 10 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de mela	2,36	b
Lechuguín 90 % + 10 % Lenteja de agua, sin aditivo	3,19	a
Lechuguín 80 % + 20 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	3,35	a
Lechuguín 80 % + 20 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de mela	2,52	b
Lechuguín 80 % + 20 % Lenteja de agua, sin aditivo	3,17	a
Lechuguín 70 % + 30 % Lenteja de agua + Suero de quesería 100 %	3,50	a
Lechuguín 70 % + 30 % Lenteja de agua + Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de mela	3,48	a
Lechuguín 70 % + 30 % Lenteja de agua, sin aditivo	3,23	a

Mezcla	% Materia Orgánica	Rango
A1 - Lechuguín 90 % + 10 % Lenteja de agua	3,04	b
A2 - Lechuguín 80 % + 20 % Lenteja de agua	3,02	c
A3 - Lechuguín 70 % + 30 % Lenteja de agua	3,40	a

Aditivo	% Materia Orgánica	Rango
B1 - Suero de quesería 100 %	3,47	a
B2 - Suero de quesería 50 % + 50 % solución al 5 % de mela	2,79	c
B3 - Sin aditivo	3,20	b

Anexo E. Valores y medias

Anexo E. 1. Datos pH

	R1	R2	R3	R4	SUMA	MEDIA	
T1	A1B1	7,66	7,66	7,73	7,73	30,78	7,70
T2	A1B2	7,45	7,45	7,33	7,33	29,56	7,39
T3	A1B3	7,50	7,50	7,59	7,59	30,18	7,55
T4	A2B1	6,93	6,93	7,36	7,36	28,58	7,15
T5	A2B2	7,07	7,07	7,25	7,25	28,64	7,16
T6	A2B3	6,96	6,96	7,31	7,31	28,54	7,14
T7	A3B1	6,86	6,86	7,18	7,18	28,08	7,02
T8	A3B2	6,56	6,56	7,53	7,53	28,18	7,05
T9	A3B3	6,93	6,93	6,61	6,61	27,08	6,77
					259,62	7,21	

Anexo E.2. Datos de conductividad eléctrica

	R1	R2	R3	R4	SUMA	MEDIA	
T1	A1B1	1,81	1,81	1,73	1,73	7,08	1,77
T2	A1B2	1,76	1,76	1,78	1,78	7,08	1,77
T3	A1B3	1,75	1,75	2,29	2,29	8,07	2,02
T4	A2B1	1,66	1,66	1,61	1,61	6,52	1,63
T5	A2B2	1,77	1,77	1,92	1,92	7,39	1,85
T6	A2B3	1,77	1,77	1,98	1,98	7,51	1,88
T7	A3B1	2,08	2,08	2,05	2,05	8,25	2,06
T8	A3B2	1,74	1,74	1,88	1,88	7,24	1,81
T9	A3B3	2,00	2,00	1,88	1,88	7,76	1,94
					66,91	1,86	

Anexo E.3. Datos de nitrógeno total

	R1	R2	R3	R4	SUMA	MEDIA	
T1	A1B1	1,06	1,06	1,04	1,04	4,21	1,05
T2	A1B2	0,87	0,87	0,87	0,87	3,48	0,87
T3	A1B3	0,87	0,87	1,13	1,13	3,99	1,00
T4	A2B1	1,00	1,00	1,03	1,03	4,08	1,02
T5	A2B2	0,90	0,90	0,88	0,88	3,55	0,89
T6	A2B3	0,87	0,87	1,12	1,12	3,99	1,00
T7	A3B1	1,08	1,08	1,00	1,00	4,17	1,04
T8	A3B2	1,07	1,07	1,01	1,01	4,16	1,04
T9	A3B3	1,07	1,07	0,93	0,93	4,00	1,00
					35,65	0,99	

Anexo E.4. Datos de nitrógeno amoniacal

	R1	R2	R3	R4	SUMA	MEDIA	
T1	A1B1	2,66	2,66	2,77	2,77	10,88	2,72
T2	A1B2	3,71	3,71	3,77	3,77	14,96	3,74
T3	A1B3	3,87	3,87	3,77	3,77	15,27	3,82
T4	A2B1	3,92	3,92	3,90	3,90	15,63	3,91
T5	A2B2	4,24	4,24	3,74	3,74	15,96	3,99
T6	A2B3	4,04	4,04	3,48	3,48	15,06	3,76
T7	A3B1	3,32	3,32	3,85	3,85	14,33	3,58
T8	A3B2	4,39	4,39	3,41	3,41	15,61	3,90
T9	A3B3	3,89	3,89	4,53	4,53	16,83	4,21
					134,52	3,74	

Anexo E.5. Datos de nitrógeno nítrico

	R1	R2	R3	R4	SUMA	MEDIA	
T1	A1B1	15,80	15,80	15,80	15,80	63,21	15,80
T2	A1B2	9,74	9,74	6,34	6,34	32,14	8,04
T3	A1B3	3,79	3,79	12,55	12,55	32,66	8,17
T4	A2B1	12,55	12,55	1,84	1,84	28,79	7,20
T5	A2B2	7,15	7,15	7,15	7,15	28,59	7,15
T6	A2B3	0,71	0,71	15,36	15,36	32,13	8,03
T7	A3B1	23,45	23,45	23,45	23,45	93,78	23,45
T8	A3B2	10,13	10,13	10,43	10,43	41,12	10,28
T9	A3B3	18,33	18,33	7,68	7,68	52,03	13,01
					404,45	11,23	

Anexo E.6. Datos de fósforo total

	R1	R2	R3	R4	SUMA	MEDIA	
T1	A1B1	4,30	4,30	3,66	3,66	15,90	3,98
T2	A1B2	3,46	3,46	3,67	3,67	14,27	3,57
T3	A1B3	2,99	2,99	3,04	3,04	12,06	3,01
T4	A2B1	2,68	2,68	2,88	2,88	11,11	2,78
T5	A2B2	2,95	2,95	3,09	3,09	12,06	3,02
T6	A2B3	3,07	3,07	3,21	3,21	12,56	3,14
T7	A3B1	2,24	2,24	2,50	2,50	9,49	2,37
T8	A3B2	3,02	3,02	2,42	2,42	10,88	2,72
T9	A3B3	2,40	2,40	2,97	2,97	10,74	2,68
					109,07	3,03	

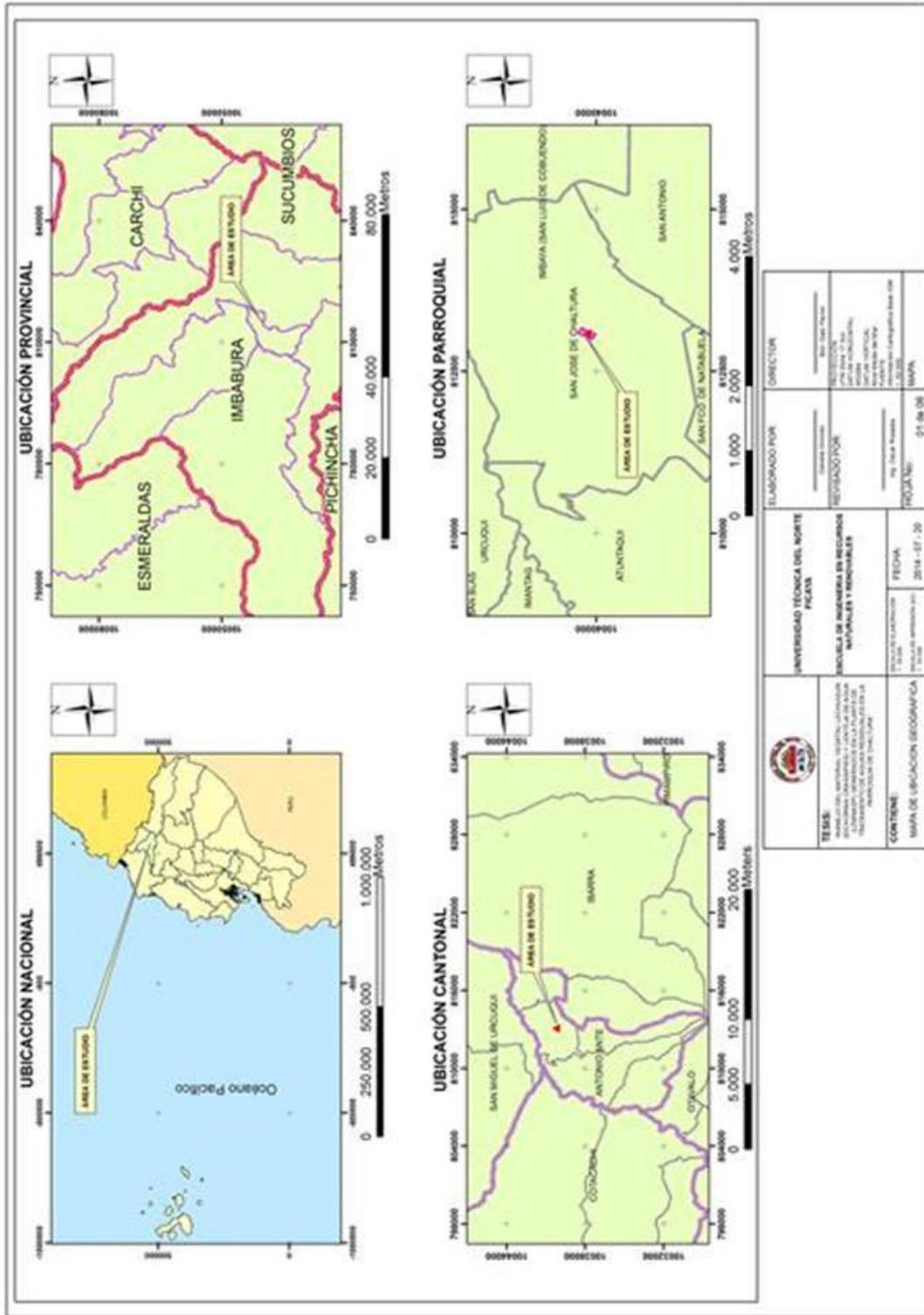
Anexo E.7. Datos de potasio

		R1	R2	R3	R4	SUMA	MEDIA
T1	A1B1	1,98	1,98	1,83	1,83	7,63	1,91
T2	A1B2	1,84	1,84	1,94	1,94	7,56	1,89
T3	A1B3	1,95	1,95	2,12	2,12	8,16	2,04
T4	A2B1	0,94	0,94	1,59	1,59	5,05	1,26
T5	A2B2	1,79	1,79	1,70	1,70	6,98	1,74
T6	A2B3	1,08	1,08	1,17	1,17	4,50	1,12
T7	A3B1	1,17	1,17	1,20	1,20	4,75	1,19
T8	A3B2	1,08	1,08	1,06	1,06	4,27	1,07
T9	A3B3	0,99	0,99	1,16	1,16	4,31	1,08
						53,18	1,48

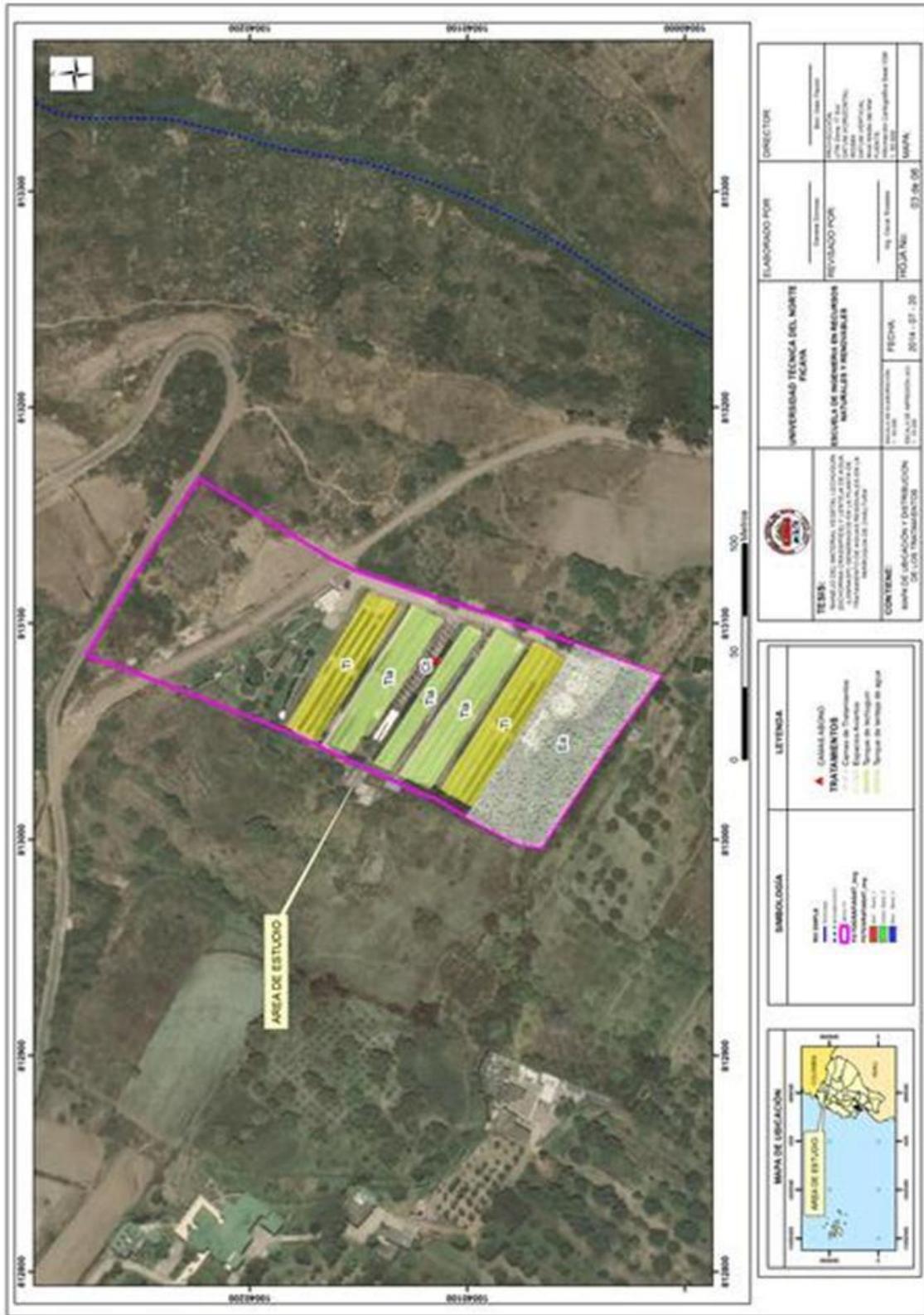
Anexo E.8. Datos de coliformes fecales

		R1	R2	R3	R4	SUMA	MEDIA
T1	A1B1	10,98	10,98	16,14	16,14	54,23	13,56
T2	A1B2	14,16	14,16	13,44	13,44	55,19	13,80
T3	A1B3	10,98	10,98	14,16	14,16	50,27	12,57
T4	A2B1	12,27	12,27	14,16	14,16	52,86	13,21
T5	A2B2	11,85	11,85	13,44	13,44	50,58	12,64
T6	A2B3	16,14	16,14	14,16	14,16	60,60	15,15
T7	A3B1	13,44	13,44	13,44	13,44	53,74	13,44
T8	A3B2	14,16	14,16	12,27	12,27	52,86	13,21
T9	A3B3	15,51	15,51	14,16	14,16	59,34	14,83
						489,66	13,60

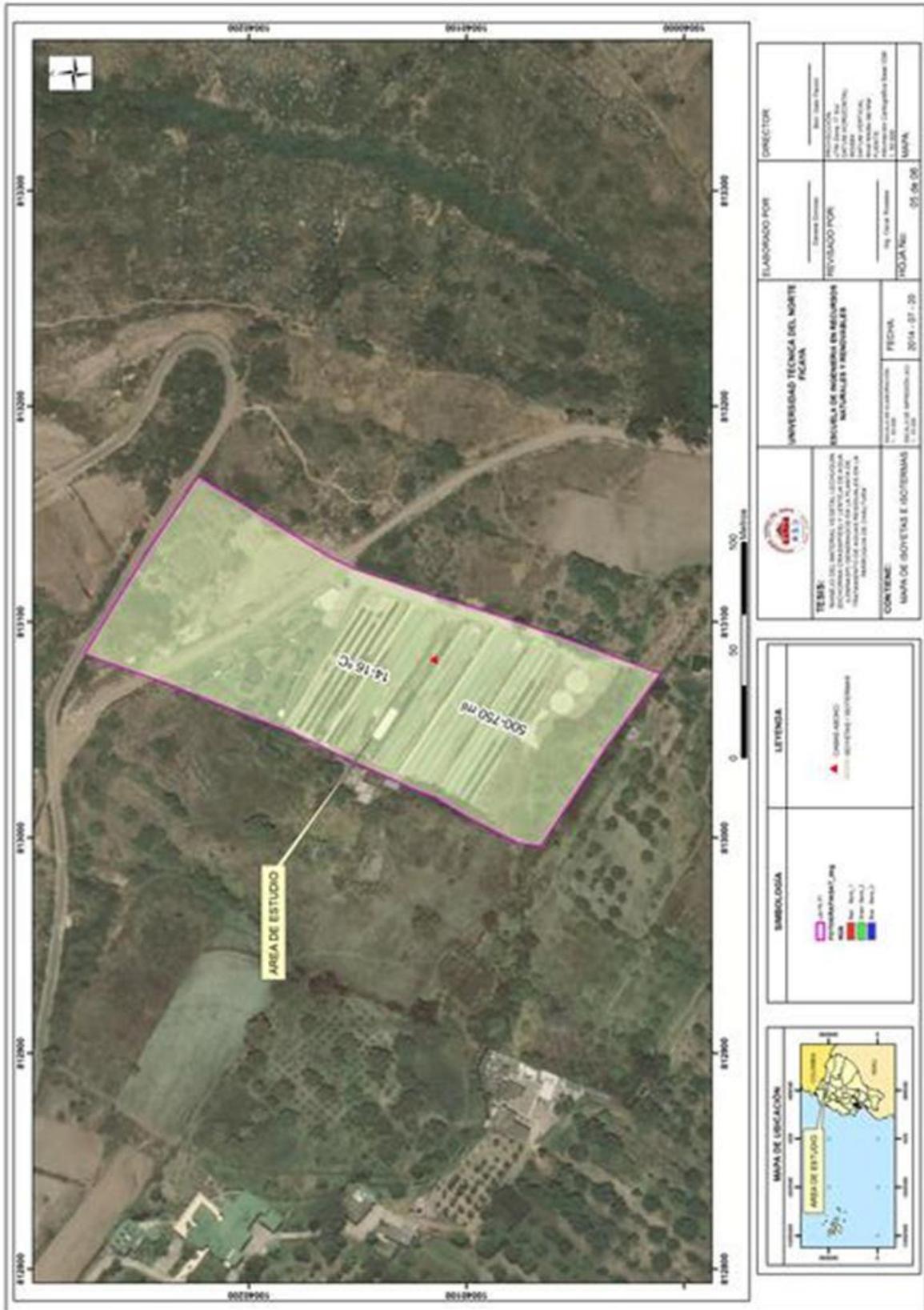
Anexo F Mapas
 Anexo E. 1 Mapas de ubicación



Anexo E. 3 Ubicación de tratamientos



Anexo E. 5 Isoyetas-Isotermas



Anexo E.6 Zonas de vida

