

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“PRODUCCIÓN DE COMPOST EMPLEANDO PILAS AIREADAS
POR VOLTEO, COMO UN MÉTODO DE TRATAMIENTO DE LODO
RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
“UNITRAR”; Y SU EVALUACIÓN EN EL MEJORAMIENTO DE
SUELOS”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO**

**PRESENTADO POR:
DELGADO CHUECAS, IVAN
CHIMA CERDÁN, CÉSAR DAVID**

**LIMA, PERÚ
2007**

A mi adorada madre, por todo su apoyo y dedicación.
A mi novia, por su paciencia, comprensión y espera.
A mis hermanos y familia, por todo lo que recibí de ellos en todos estos años.

Iván Delgado Chuecas

A Dios que me dio las fuerzas para el logro de esta meta.
A mis padres Manuel y Fanny por su apoyo y dedicación.
A mi amada esposa Jennifer por todo su amor e impulso.
A mi tía Dionicia por su preocupación y apoyo.
A mis hermanos y familia por su comprensión.

César David Chima Cerdán

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a Dios y todas aquellas personas que, a nivel personal, profesional y académico, nos han apoyado y acompañado a lo largo del tiempo en el que realizamos este trabajo.

Nuestro mayor agradecimiento al Dr. Martín Delgado Junchaya, Sra. Y familia por habernos dedicado su tiempo para asesorarnos, por brindarnos las facilidades de infraestructura como laboratorio, movilidad y por las gestiones realizadas que nos permitieron adquirir materiales y espacio en donde desarrollar el trabajo experimental.

Particularmente al ingeniero Pedro Lujan de la Universidad Nacional de Trujillo, por habernos proporcionado un espacio en el área de Hidroponía, en donde se realizó el experimento, por las facilidades que nos ofreció, sin cuya colaboración este trabajo hubiera sido difícil. También agradecemos su colaboración al ingeniero Químico Ernesto Wong, por toda la asesoría brindada en las determinaciones químicas hechas en este trabajo y por poner a disposición su laboratorio.

Al señor Jacinto, le agradecemos por toda la colaboración que nos prestó durante el manejo de las pilas.

A nuestra asesora, Ing. Rosa Yaya un especial agradecimiento por sus consejos durante el desarrollo de este trabajo.

Queremos enfatizar nuestro agradecimiento a nuestras familias, parejas y amigos que han sabido prescindir de nosotros durante este tiempo que duró la investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en el tratamiento de lodos residuales de aguas residuales por medio del método de compostaje. El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia del proceso en la higienización del lodo y evaluar también la calidad del producto final “el Compost” como un sustrato orgánico que puede ser utilizado como mejorador del suelo para fines agrícolas. Se entiende por compostaje la degradación bioquímica de una mezcla de residuos orgánicos, con un material de soporte como pasto, viruta, aserrín, papel, otros, en condiciones controladas de temperatura, humedad, pH, aireación.

El producto obtenido o “compost” es generalmente utilizado como mejorador y/o acondicionador de suelos degradados.

El trabajo experimental consistió en el diseño y operación de tres tipos de pilas de volteo, cada una con tres repeticiones, las mismas que tienen entre su composición lodos residuales provenientes de la Planta de Tratamiento Aguas Residuales de la Universidad Nacional de Ingeniería “UNITRAR”. Las nueve pilas se operaron entre los meses de Octubre del 2006 a Enero del 2007, en la ciudad de Trujillo donde la temperatura ambiental tomada durante los 105 días que duró el proceso, oscilo entre los 18°C y los 30°C. Los tres tipos de pila tuvieron el mismo volumen de lodo residual y la misma cantidad de material de soporte. El primer tipo de pila operó con lodo de digestión anaeróbica proveniente del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (31.6 %), poda de pasto (2.6%) y broza de espárrago (65.8 %), el segundo tipo de pila operó con lodo proveniente de la Laguna Facultativa (31.6%), poda de pasto (2.6 %) y broza de espárrago (65.8 %) y finalmente el tercer tipo de pila operó con lodo proveniente del Estanque donde crían peces (33.3 %), poda de pasto (2.6 %) y broza de espárrago (64.1 %) (todos los % son en peso en base húmeda). Las pilas alcanzaron una temperatura máxima promedio interna que osciló entre 50.24°C y 56.22°C.

Después de un período de maduración de 25 días el compost que se obtuvo resulto benéfico al suelo pero para usar con restricción ya que si bien se logro disminuir la concentración de Coliformes Totales y Termotolerantes, no se logro higienizar los lodos en su totalidad.

INDICE	Páginas
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
V. MARCO TEORICO	4
1.0 DEFINICION ¿QUÉ ES EL COMPOSTAJE?	4
2.0 VENTAJAS Y DESVENTAJAS GENERALES DEL COMPOSTAJE	6
3.0 ORGANISMOS ASOCIADOS AL COMPOSTAJE	6
3.1 Macroorganismos	6
3.2 Microorganismos	8
3.2.1 Tipos de microorganismos	9
4.0 QUÍMICA Y BIOLOGÍA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	11
5.0 FACTORES FISICOS Y QUÍMICOS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE	13
5.1 Sustrato	13
5.2 Relación Carbono : Nitrógeno (C/N)	14
5.3 Temperatura	16
5.4 Humedad	19
5.5 Ph	20
5.6 Aireación	21
6.0 TECNICAS DE COMPOSTAJE	22
7.0 DEFINICION ¿QUÉ ES EL COMPOST?	23
8.0 PROPIEDADES DEL COMPOST	24
9.0 ¿CUÁNDO ESTA LISTO EL COMPOST?	28
9.1 Calidad y madurez del compost	28
10.0 COMPORTAMIENTO DEL SUELO	29
11.0 DISEÑO DE LA PILA	30

VI

VI.	HIPOTESIS Y OBJETIVOS	32
VII.	TRABAJO EXPERIMENTAL	33
1.0	MATERIALES DE LA PILA	33
1.1	Lodo Residual	33
1.2	Material de soporte, acondicionamiento o llenante	33
2.0	ANÁLISIS	35
3.0	TOMA DE MUESTRA	35
3.1	Materiales empleados	37
4.0	METODOLOGIA APLICADA	38
5.0	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL	39
5.1	Determinaciones Químicas y Físicas	39
5.2	Análisis Microbiológicos y parasitológicos	40
	• <i>Inspección preliminar – Inspección directa</i>	40
	• <i>Inspección preliminar – Coloración Gram</i>	42
	• <i>Coliformes Totales</i>	42
	• <i>Coliformes Termotolerantes</i>	43
	• <i>Presencia o ausencia de parásitos</i>	43
6.0	UBICACIÓN	43
7.0	CODIFICACIÓN DE LAS PILAS	44
8.0	DISEÑO DE LA PILA	46
9.0	DISTRIBUCION DE LAS PILAS	50
10.0	PARAMETROS CONTROLADOS DURANTE EL PROCESO	52
10.1	Temperatura ambiental y temperatura interna de la pila	52
10.2	Humedad	81
10.3	Aireación mediante el Volteo	81
11.0	VERIFICACION DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	81
11.1	Prueba de Germinación	81
11.2	Prueba de condición nutricional del sustrato	94
12.0	RESULTADOS DEL PROCESO	108
12.1	Análisis parasitológicos	108
12.2	Análisis microbiológico	109

VII

	12.2.1 Coliformes Totales.	109
	12.2.2 Coliformes Termotolerantes	111
13.0	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	113
13.1	Presencia de Parásitos	113
13.2	Coliformes Totales	113
13.3	Coliformes Termotolerantes	114
14.0	CONCLUSIONES	115
14.1	CONCLUSION GENERAL	115
14.2	CONCLUSIONES ESPECIFICAS	115
	a) Con respecto al proceso de compostaje	115
	b) Con respecto al diseño de mezcla de la pila	116
	c) Con respecto a la forma y dimensión de la pila	117
	d) Con respecto a los parámetros controlados durante el proceso	117
	e) Con respecto al período de maduración y calidad del Compost obtenido	118
	f) Con respecto a la presencia de parásitos en los Compost	120
	g) Con respecto a los Coliformes Totales presentes en el Compost	120
	h) Con respecto a los Coliformes Termotolerantes presentes en el Compost	120
	i) Con respecto al Compost obtenido	121
15.0	RECOMENDACIONES	122
VIII.	ANEXOS	126
1.0	NITRÓGENO TOTAL	127
2.0	CARBONO ORGANICO TOTAL	132
3.0	pH	142

VIII

3.0	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA O RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	145
5.0	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO	148
6.0	COLIFORMES TOTALES	151
7.0	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	158
8.0	REPORTE ARROJADO POR EL POR EL Software SPSS WINDOWS 9.0 EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE GERMINACIÓN	165
9.0	REPORTE ARROJADO POR EL POR EL Software SPSS WINDOWS 9.0 EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE CONDICION NUTRICIONAL	166
10.0	ALGUNAS DEFINICIONES IMPORTANTES	168
VIX.	BIBLIOGRAFÍA	173

INDICE	Páginas
Foto 1 : Residuos vegetales obtenidos por la poda de jardines	34
Foto 2 : Follaje del tipo broza de espárrago	34
Foto 3 : Muestras de cuatro litros para caracterización inicial	35
Foto 4 : Toma de muestra de los lodos del R.A.F.A a h=1.50 m	36
Foto 5 : Toma de muestra en las Lagunas Facultativas en diferentes puntos	36
Foto 6 : Toma de muestra en el Estanque de peces	37
Foto 7 : En la observación microscópica por medio del lente de inmersión se distinguen las colonias de bacterias Gram Positivas (coloración morada) y Gram Negativas (coloración Rosada	42
Foto 8 : Área donde se instalaron las pilas	44
Foto 9 : Codificación de las pilas	45
Foto 10 : Distribución de las pilas	50
Foto 11 : Colocación de compost en vasos plásticos de 250 ml para la prueba de germinación	82
Foto 12 : Siembra de semillas <i>Vigna Sinensis</i> (fréjol Bocón) en vasos con sustrato orgánico	83
Foto 13 : Siembra de semillas <i>Vigna Sinensis</i> (fréjol Bocón) en vasos con algodón para los testigos	84
Foto 14 : Prueba de Germinación y sus tres repeticiones	85
Foto 15 : Suministro de agua estéril, indispensable para la prueba de Germinación	86
Foto 16 : Prueba de Germinación LOTE I	87
Foto 17 : Prueba de Germinación LOTE II	89
Foto 18 : Prueba de Germinación LOTE III	90
Foto 19 : Desarrollo de Plantines a los 7 días	95
Foto 20 : Medición de altura de los Plantines	96

Foto 21 :	Diferencia de altura de plantines del LOTE I según el tipo de sustrato obtenido por cada lodo tratado	100
Foto 22 :	Diferencia de altura de plantines del LOTE II según el tipo de sustrato obtenido por cada lodo tratado.	101
Foto 23 :	Diferencia de altura de plantines del LOTE III según el tipo de sustrato obtenido por cada lodo tratado.	102
Fotos 24,25,26:	Secado de muestras poniendo a la estufa por 3 días a 80° C, para determinación de Nitrógeno Total	128
Foto 27 :	Pesado de aprox. 1.0 gr. de muestra mas 0.5 gr. de mezcla catalizadora (K ₂ S ₀ 4 + CuSO ₄ en relación 10:1)	128
Foto 28 :	Se le agrega 10 ml de H ₂ SO ₄ y se lleva a digestión por una hora	129
Fotos 29,30,31:	Después de la digestión las muestras toman una coloración lechosa característica	129
Fotos 32,33,34:	Se agrega agua destilada hasta llegar a 50 ml y se filtra a través de papel de filtro Watts	130
Foto 35 :	5gr de Hidróxido de Bario en un Litro de agua para preparar el agua de Barita	133
Fotos 36,37,38:	Secado de muestras poniendo a la estufa por 3 días a 80° C, para determinación de Carbono Orgánico Total	133
Foto 39 :	Navecillas donde se colocan las muestras a analizar	134
Fotoa 40,41:	Horno calentando y liberación de oxígeno para iniciar el proceso de combustión	134
Foto 42 :	Absorción de del anhídrido carbónico durante la combustión	
Foto 43 y 44:	Extraer 10 ml de agua de barita de los absorbedores y valorar con ácido clorhídrico	135
Foto 45 :	Calibración del pH-metro	143
Foto 46 :	Dilución 1:2 de muestra con agua destilada, se toma 25 gr de muestra y se le agrego 50 ml de agua destilada	144
Foto 47 :	Determinación del pH por medio de la toma de lectura del pH-metro	144
Foto 48 :	Conductímetro	146

Foto 49 :	Dilución 1:2 de muestra con agua destilada, se toma 25 gr. de muestra y se le agrego 50 ml de agua destilada	146
Foto 50 :	Filtrado de las muestras.	147
Foto 51 :	Determinación del valor de conductividad	147
Foto 52 :	Toma de muestra de tres puntos: parte superficial, media y fondo	148
Foto 53 y 54 :	Colocación de muestra en láminas porta objetos previamente rotuladas	148
Foto 55 :	Secado de muestra en láminas porta objetos con mechero de alcohol.	149
Foto 56 :	Materiales para la coloración Gram., violeta genciana, lugol, alcohol acetona y safranina	149
Foto 57 :	Coloración de las Gram Positivas	150
Foto 58 :	Coloración de las Gram Negativas. Posteriormente se hace la observación microscópica por medio del lente de inmersión (100X)	150
Foto 59 :	Preparación del Caldo Brilla y colocación del mismo en tubos de ensayo	152
Fotos 60 y 61:	Preparación de la muestra, 10 gr de muestra y se le agrega 100 ml de solución salina. Preparación de diluciones, se toma 10 ml y se completa con 100 ml de solución salina. Se hacen 4 diluciones de la misma forma	153
Foto 62 :	Colocación de 1 ml de cada dilución de la muestra en tubos	153
Foto 63 :	Se lleva a la estufa por 48 horas a una temperatura constante de 35°C para Coliformes Termo Totales	154
Foto 64 :	Presencia de gas en los tubos de ensayos para la determinación de Coliformes Totales	154
Foto 65 :	Preparación del Caldo Brilla y colocación del mismo en tubos de ensayo	159
Fotos 66 y 67:	Preparación de la muestra, 10 gr de muestra y se le agrega 100 ml de solución salina. Preparación de diluciones, se toma 10 ml y se completa con 100 ml de solución salina. Se hacen 4 diluciones de la misma forma.	160

XII

Foto 68 :	Colocación de 1 ml de cada dilución de la muestra en tubos	160
Foto 69 :	Se lleva a la estufa por 48 horas a una temperatura constante de 45°C. para Coliformes Termo tolerantes	161
Foto 70 :	Presencia de gas en los tubos de ensayos para la determinación de Coliformes Fecales	161

INDICE		Páginas
Figura 1	Proceso de compostaje	5
Figura 2 :	Evolución de la temperatura durante el compostaje. El tiempo en días es referencial, dependerá de que tan óptimas sean las condiciones durante el proceso	18
Figura 3 :	Distribución de las pilas en el suelo.	51
Figura 4 :	Acá se representa los 5 puntos de toma de temperatura en cada pila	52

INDICE DE TABLAS	Páginas
Tabla 1 : Fototoxicidad como indicador de la madurez de un Compost	29
Tabla 2: Metodologías empleadas para determinaciones químicas y Físicas	38
Tabla 3 : Metodologías empleadas para análisis microbiológico y parasicológico	39
Tabla 4 : Resultados de las determinaciones químicas y físicas iniciales	39
Tabla 5 : Resultado de la prueba de Coliformes Totales a los lodos residuales	42
Tabla 6 : Resultado de prueba de Coliformes Termotolerantes a los lodos residuales	43
Tabla 7 : Resultado de presencia o ausencia de parásitos en los lodos residuales	43
Tabla 8 : Relación de transformación de los materiales de las mezcla	46
Tabla 9 : Prueba de valores para determinar el diseño de mezcla de las pilas donde se empleará el lodo procedente del R.A.F.A.	46
Tabla 10 : Prueba de valores para determinar el diseño de mezcla de las pilas donde se empleará el lodo procedente de las Lagunas Facultativas	47
Tabla 11: Prueba de valores para determinar el diseño de mezcla de las pilas donde se empleará el lodo procedente de los Estanques de cría de peces	48
Tabla 12 : Composición de las pilas M1-1, M1-2, M1-3	49
Tabla 13 : Composición de las pilas M2-1, M2-2, M2-3	49
Tabla 14 : Composición de las pilas M3-1, M3-2, M3-3	50
Tabla 15 : Temperaturas tomadas en la pila M1-1	53
Tabla 16 : Temperaturas tomadas en la pila M1-2	56
Tabla 17 : Temperaturas tomadas en la pila M1-3	59
Tabla 18 : Temperaturas tomadas en la pila M2-1	62
Tabla 19 : Temperaturas tomadas en la pila M2-2	65

Tabla 20 :	Temperaturas tomadas en la pila M2-3	68
Tabla 21 :	Temperaturas tomadas en la pila M3-1	71
Tabla 22 :	Temperaturas tomadas en la pila M3-2	74
Tabla 23 :	Temperaturas tomadas en la pila M3-3	77
Tabla 24 :	Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE I	86
Tabla 25 :	Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE II	88
Tabla 26 :	Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE III	89
Tabla 27 :	Resultados promedios de la Prueba de Germinación	91
Tabla 28 :	Datos para realizar el Análisis Estadístico de la Prueba de Germinación	92
Tabla 29 :	Seno del arco de los valores en % expuestos en la Tabla 28	93
Tabla 30 :	Resultados del Análisis de Varianza de la Prueba de Germinación empleando el Software SPSS WINDOWS 9.0	93
Tabla 31:	Datos obtenidos de la medición de altura de los plantines a los 7 días en el LOTE I	96
Tabla 32 :	Datos obtenidos de la medición de altura de los plantines a los 7 días en el LOTE II	97
Tabla 33:	Datos obtenidos de la medición de altura de los plantines a los 7 días en el LOTE III	98
Tabla 34 :	Resultados promedios de la Prueba de condición nutricional del sustrato	99
Tabla 35 :	Datos para realizar el Análisis Estadístico de la Prueba de Condición Nutricional del Sustrato	104
Tabla 36 :	Resultados del Análisis de Varianza de la prueba de Condición Nutricional del Sustrato empleando el Software SPSS WINDOWS 9.0	105
Tabla 37 :	Resultados de la prueba de DUNCAN aplicado a la prueba de Condición Nutricional del Sustrato empleando el Software SPSS WINDOWS 9.0	106

Tabla 38 :	Resultado del análisis parasitológico en las muestras de Compost a base del lodo M1 (R.A.F.A)	108
Tabla 39 :	Resultado del análisis parasitológico en las muestras de Compost a base del lodo M2 (Laguna Facultativa)	109
Tabla 40 :	Resultado del análisis parasitológico en las muestras de Compost a base del lodo M3 (Estanque de Peces)	109
Tabla 41	Resultado de la prueba de Coliformes Totales en las muestras de Compost a base del lodo M1 (R.A.F.A)	109
Tabla 42 :	Resultado de la prueba de Coliformes Totales en las muestras de Compost a base del lodo M2 (Lagunas Facultativas)	110
Tabla 43 :	Resultado de la prueba de Coliformes Totales en las muestras de Compost a base del lodo M3 (Estanque de Peces)	110
Tabla 44 :	Comparación de la concentración de Coliformes Totales en los Lodos que se trataron, con el Promedio Aritmético y Geométrico de cada uno de los tratamientos realizados respectivamente)	111
Tabla 45 :	Resultado de la prueba de Coliformes Termotolerantes en las muestras de Compost a base del lodo M1 (R.A.F.A)	111
Tabla 46 :	Resultado de la prueba de Coliformes Termotolerantes en las muestras de Compost a base del lodo M2 (Lagunas Facultativas)	112
Tabla 47 :	Resultado de la prueba de Coliformes Termotolerantes en las Muestras de Compost a base del lodo M3 (Estanque de Peces)	112
Tabla 48 :	Comparación de la concentración de Coliformes Termotolerantes en los Lodos que se trataron, con el Promedio Aritmético y Geométrico de cada uno de los tratamientos realizados respectivamente	113
Tabla 49 :	Determinación del peso molecular de C_nH_{2n+2} .	136
Tabla 50 :	Determinación deL Carbono Orgánico Total	136
Tabla 51 :	Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M 1	139
Tabla 52 :	Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M 2	139
Tabla 53 :	Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M 3	140
Tabla 54 :	Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M 4	140

XVII

Tabla 55 :	Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M 5	141
Tabla 56 :	Comparación de los resultados de los dos métodos usados en la determinación de carbono Orgánico Total	141
Tabla 57 :	Determinación de Coliformes Totales de las muestras de Lodo	155
Tabla 58 :	Determinación de Coliformes Totales de las muestras M1-1, M1-2, M1-3	155
Tabla 59 :	Determinación de Coliformes Totales de las muestras M2-1, M2-2, M2-3	156
Tabla 60 :	Determinación de Coliformes Totales de las muestras M3-1, M3-2, M3-3	156
Tabla 61 :	Comparación de los resultados iniciales y finales para Coliformes Totales	157
Tabla 62 :	Determinación de Coliformes Termotolerantes de las muestras de Lodos	162
Tabla 63 :	Determinación de Coliformes Termotolerantes de las muestras M1-1, M1-2, M1-3	162
Tabla 64 :	Determinación de Coliformes Termotolerantes de las muestras M2-1, M2-2, M2-3	163
Tabla 65 :	Determinación de Coliformes Termotolerantes de las muestras M3-1, M3-2, M3-3	163
Tabla 66 :	Comparación de los resultados iniciales y finales para Coliformes Termotolerantes	164

INDICE DE GRAFICOS		Páginas
Grafico 1	: Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M1-1 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo	53
Grafico 2	: Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M1-2 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo	56
Grafico 3	: Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M1-3 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo	59
Grafico 4	: Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M2-1 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo	62
Grafico 5	: Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M2-2 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo	65
Grafico 6	: Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M2-3 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo	68
Grafico 7	: Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M3-1 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo	71
Grafico 8	: Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M3-2 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo	74
Grafico 9	: Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M3-3 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo	77
Grafico 10	: Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE I	87
Grafico 11	: Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE II	88

Grafico 12	:	Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE III	90
Grafico 13	:	Altura promedio de plantines del LOTE I	97
Grafico 14	:	Altura promedio de plantines del LOTE II	98
Grafico 15	:	Altura promedio de plantines del LOTE III	99
Grafico 16	:	Resultados promedios de la Prueba de condición nutricional del sustrato	100

I. INTRODUCCIÓN

La practica del compostaje viene de mucho tiempo atrás, aunque está siendo re descubierto y potenciado con nuevos aportes bio tecnológicos. A principios del siglo XX el ingles Sir Albert Howard fue probablemente el primer agricultor que tuvo un acercamiento científico al compostaje en la India (Rodale, 1946). Establecía que la elaboración de compost tenía por objeto digerir materiales frescos de origen agrícola, antes de ser incorporados, de manera de evitar que las bacterias terminaran su proceso en el suelo, a expensas del nuevo cultivo.

La necesidad de preservar vertederos, manipular grandes volúmenes de residuos orgánicos de forma que se evite la contaminación, y al mismo tiempo la obtención de un producto final re utilizable, ha desarrollado en los países industrializados una importantísima actividad compostadora (Grupo Emisión,2006).

La conversión en compost de los residuos orgánicos es una técnica conocida y de fácil aplicación, que permite tratar de manera racional, económica y segura, diferentes residuos orgánicos y conservar los nutrientes presentes en estos residuos, aprovechándolos en agricultura.

La palabra **compost** viene del latín componer (juntar), por lo tanto, es la unión de restos orgánicos que sufren una transformación a través de la oxidación biológica secuencial que convierte materia orgánica heterogénea en un producto homogéneo. Es una descomposición que ocurre bajo condiciones controladas realizada por microorganismos (bacterias, hongos y actinomycetes), que liberan energía por la actividad metabólica y, gracias a una serie de reacciones bioquímicas, agua, anhídrido carbónico y sales minerales (ver figura 1).

Se utiliza el término descomposición, en vez de estabilización, porque no siempre se puede asegurar que la estabilización de la materia orgánica sea total. La llamamos biológica, y mejor dicho, microbiológica, para diferenciarla de otros procesos de descomposición física o química. Se habla de condiciones controladas, sobretodo de temperatura, humedad y contenido de O₂, para diferenciarla de la putrefacción incontrolada que tiene lugar en los vertederos. Se define aerobia, porque es necesaria la aportación de oxígeno para conseguir temperaturas más altas, acelerar el proceso, eliminar olores y la mayoría de agentes patógenos, parásitos o molestos, como semillas indeseables, y para

diferenciarla de la descomposición anaerobia, sin O₂, cuyo proceso es más lento y se lleva a cabo, principalmente, para la obtención de metano.

El producto final obtenido en el proceso de compostaje se puede utilizar como enmienda orgánica en el suelo, con el fin de mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de intercambio catiónico, eliminar patógenos y así, aumentar el crecimiento de las plantas (Chafetz *et al.*, 1996).

En la actualidad el tratamiento de los lodos residuales por medio del compostaje no es una práctica común en nuestro país, pero si es común hacer compost empleando otros insumos como un medio de reuso del desecho orgánico, dándole así un valor agregado.

II. ANTECEDENTES

La Planta de Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional de Ingeniería es una Planta Piloto de tratamiento cuyo objetivo principal es el estudio y desarrollo de tecnologías en el campo de aguas residuales en el Perú.

Esta planta combina procesos de tratamiento anaerobios conformado por el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente, y procesos de tratamiento Facultativo (aerobio y anaerobio), conformado por dos Lagunas de Estabilización facultativas. Generando un efluente apto para ser utilizado en Acuicultura y en el riego de áreas verdes.

Más que dejar los lodos en el lecho de secado, en la Planta de Tratamiento no se practica ningún tipo de proceso para estabilizar los lodos residuales y menos un proceso que permita su reuso.

Dentro de los "REUSOS" que en la actualidad nos proporciona la Planta de Tratamiento tenemos la "Piscicultura" que se practica en tres estanques de peces de sección trapezoidal donde se cultivan peces de la especie Tilapia del Nilo y finalmente el "Riego de áreas verdes" que se realiza aproximadamente con el 34 % de la producción total de la planta y se aplica a las áreas verdes del campus universitario y de los distritos vecinos.

Lo que no se ha implementado todavía en esta Planta de Tratamiento es el reuso de los lodos residuales, generados por el tratamiento de las aguas residuales, como mejorador de suelos de cultivos.

En la actualidad los brigadistas que apoyan en la Planta de Tratamiento han realizado algunos trabajos con los lodos, como sembrar directamente sobre los mismos, donde obtuvieron como resultado que las plantas crecieron más rápido en los lodos provenientes de los estanques, esto posiblemente sea por que dichos lodos han pasado por un mayor proceso de estabilización y pueden aportar mayor cantidad de nutrientes.

III. JUSTIFICACION

Hoy en día la disposición de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales está asociado con el objetivo primordial de mejorar la calidad ambiental. Sin embargo, la disposición se ha convertido en un problema difícil y costoso. Es por esto que el tratamiento de lodos por medio del compostaje ha sido vista como una alternativa que puede proporcionarnos un método, ambientalmente aceptable, para manejar estos productos de desecho.

Existen dos factores importantes que han permitido pensar en una futura reutilización agrícola de estos lodos (previo tratamiento), en primer lugar, el costo elevado de los fertilizantes químicos comerciales; además de que el uso excesivo y exclusivo de fertilizantes inorgánicos tal como se ha venido practicando en los últimos años, ha contribuido al deterioro de algunas propiedades físicas y físico-químicas del suelo, al aumento de la erosión y a la contaminación de los sistemas agrícolas. Por lo anterior, podría pensarse que estos lodos residuales de origen doméstico contribuiría a un mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de estos suelos. Y en segundo lugar, si nosotros calculamos, de manera aproximada, el valor económico de los lodos como fertilizantes podríamos decir que su utilización agrícola sería un ahorro importante de nitrógeno, fósforo y en menor cuantía de potasio de los fertilizantes comerciales consumidos. En este sentido se puede sugerir, que dentro de una economía nacional de recursos limitados con base importante en el reciclaje, materiales como los lodos residuales de origen doméstico no se pueden desechar.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los lodos se definen como desechos peligrosos por lo que deben disponerse en confinamientos controlados. Según antecedentes, el tratamiento de lodos y su disposición corresponden a operaciones costosas de una planta de tratamiento de aguas residuales. Es por esto que se presenta al compostaje como una alternativa económicamente viable y ambientalmente segura para la estabilización y evacuación final de lodos de aguas residuales, para su posterior uso como acondicionador de suelos.

Los lodos provenientes de P.T.A.R. en general, concentran materia orgánica no estabilizada, contaminantes como patógenos, metales pesados y tóxicos orgánicos que se han removido del agua durante su depuración. Una problemática es que la mayor parte de los lodos generados en los procesos son vertidos en los sistemas de alcantarillado, en cuerpos de aguas superficiales o bien dispuestos en basureros a cielo abierto, sin que se tomen las medidas de protección adecuadas para evitar la contaminación del suelo, de los cuerpos receptores y del acuífero, provocando un problema ambiental y de salud pública mayor del que se pretende resolver.

V. MARCO TEORICO

1.0 DEFINICION ¿QUÉ ES EL COMPOSTAJE?

Muchas definiciones de compostaje se pueden encontrar en la literatura, las cuales varían en cuanto al enfoque, prioridades y especificaciones. Algunas de estas son:

- Conversión biológica bajo condiciones controladas, de material de desecho en un producto higiénico, rico en humus y relativamente estable que acondiciona el suelo y nutre las plantas (Mathur, 1991).
- Proceso bioxidativo controlado que (1) involucra un sustrato orgánico heterogéneo; (2) evoluciona pasando a través de una fase termofílica y una liberación temporal de fitotoxinas; y (3) permite la producción de dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada (Zucconi, 1987 citado por Mathur, 1991).

- Descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos en condiciones controladas (INTEC, 1997).
- Fermentación aeróbica de una mezcla de materiales orgánicos en condiciones específicas de aireación, humedad, temperatura y nutrientes, y con la intervención de bacterias, hongos y numerosos insectos detritívoros (Labrador, 1996).

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

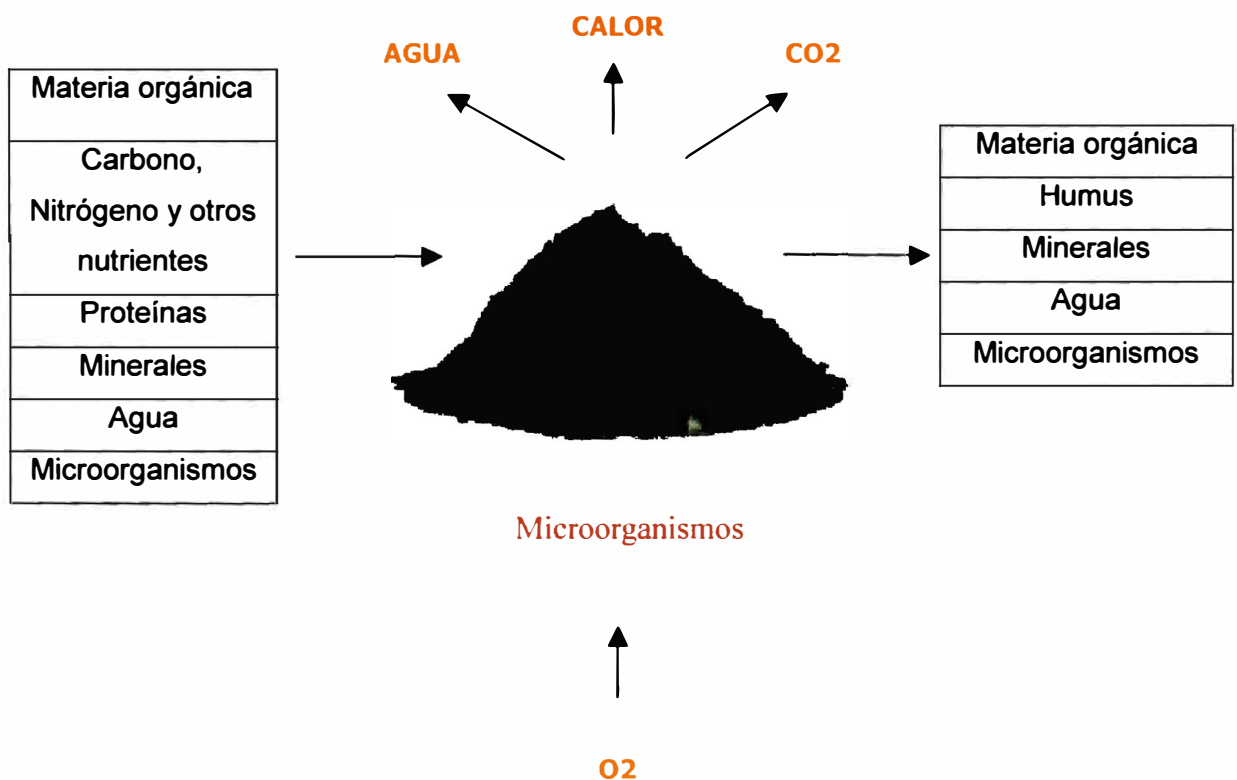


Figura . 1 Proceso de compostaje

2.0 VENTAJAS Y DESVENTAJAS GENERALES DEL COMPOSTAJE

• Ventajas

- Es un sistema de reciclaje, con una útil revalorización del residuo.
- Optimiza los recursos existentes en cada zona al aprovechar los residuos que se producen en ella.
- Reducción de volumen de residuos.
- Ahorro económico en abonos químicos.
- Producto comercializable.
- Disminuye las necesidades de materia orgánica de los suelos y contribuye a su recuperación.
- Disminuye la contaminación por metales pesados presentes en los residuos, ya que el compostaje reduce la disponibilidad de éstos, posiblemente debido a la formación de complejos o a la adsorción por sustancias húmicas (Korboulewsky *et al.*, 2002).

• Desventajas

- Alta inversión inicial si el volumen a tratar es elevado.
- Disponibilidad de terreno dependiendo también del volumen a tratar.

3.0 ORGANISMOS ASOCIADOS AL COMPOSTAJE

Durante las etapas del compostaje diferentes tipos de organismos actúan según las condiciones que se presentan. Una diversa población se desarrolla en respuesta a diferentes niveles de temperatura, humedad, oxígeno y pH dentro de la pila de compostaje.

3.1 Macroorganismos

Participan en la degradación de los distintos residuos, los cuales cumplen la función de romper los materiales. Logran que las partículas tengan una mayor superficie de contacto, facilitando la acción de los microorganismos (hongos, bacterias, y los actinomicetes).

Algunos de estos son gusanos, ácaros depredadores, escarabajos, ciempiés, entre otros.

Los macro organismos son los organismos visibles involucrados en transformar material orgánico en compost. Son más activos en las etapas maduras de compostaje, cuando las temperaturas descienden pero la descomposición no es completa. Los microorganismos descomponen la materia orgánica químicamente, y los macro organismos, que están más arriba en la cadena alimenticia, descomponen excavando, moliendo, masticando, digiriendo, mamando y batiendo.

Las hormigas son insectos y se alimentan sobre una variedad de materiales en el compost. Pueden traer hongos y minerales tal como potasio y fósforo al compost. Los ciempiés comen vegetación en descomposición y se enrollarán en una pelota cuando están en peligro.

Los caracoles y los limacos son moluscos. Los caracoles tienen una concha espiral con una cabeza distinta y un pie retráctil. Los limacos no tienen concha. Ambos viven de vegetales vivos, pero se les encuentra con frecuencia en el montón de compost.

Los nematodos son los invertebrados más abundantes en el suelo. Algunos viven sobre la materia orgánica en descomposición, mientras otros son predadores sobre otros nematodos, bacterias, algas, protozoos y esporas de hongos.

Los ácaros de fermentación, también llamados ácaros de molde, son transparentes, y se alimentan sobre levaduras de materia orgánica. Estos ácaros son capaces de resistir las condiciones anaerobias por períodos moderados de tiempo, y pueden ser un buen indicador de estas condiciones en el compost.

Insectos pequeños, distinguibles por su capacidad para saltar cuando se les perturba son principalmente comedores de hongos, aunque también comen nematodos y plantas.

Las arañas se alimentan de insectos e invertebrados pequeños. Los ciempiés tienen cuerpos aplanados y segmentados con un par de patas en cada

segmento, en total 15 o más pares son consumidores terciarios, alimentándose de invertebrados de su tamaño o mayores.

Las moscas son insectos que alimentan sobre casi cualquier tipo de material orgánico. También actúan como aero transportadores de bacterias. A dondequiera que aterricen, depositan bacterias.

Los gusanos de tierra son macro organismos importantes, y los mayores compostadores en la pila de compost. Consumen bacterias, hongos, protozoo y materia orgánica (Grupo Emison,2006).

3.2 Microorganismos

Los microorganismos responsables del compostaje degradan un amplio rango de compuestos desde complejas proteínas y carbohidratos a aminoácidos y azúcares simples.

Las condiciones químicas y físicas del medio afectan marcadamente las actividades de éstos.

La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en su proliferación y sobre vivencia. Durante el proceso existe una continuidad de microorganismos, desde los que tienen una temperatura óptima muy baja hasta los que tienen una temperatura óptima muy alta, es posible distinguir los *mesófilos*, con una temperatura óptima dentro de los límites regulares (15 - 45°C) y *termófilos*, con una temperatura óptima alta (45 – 70°C).

La descomposición inicial es llevada a cabo por microorganismos mesófilos, los cuales rápidamente actúan sobre los compuestos solubles y de fácil degradación. El calor que producen causa que la temperatura del compost comience a aumentar rápidamente, llegando a los 40°C, lo que provoca que los microorganismos mesófilos se conviertan en menos competitivos y comiencen a actuar los termófilos, los cuales descomponen los compuestos más resistentes que poseen un mayor contenido de celulosas y hemicelulosas (D. Avendaño, 2003).

Las termófilas trabajan rápidamente y no viven mucho tiempo, de tres a cinco días a la mayoría.

3.2.1 Tipos de microorganismos

- **Bacterias:** Son las más pequeñas y numerosas; corresponden a un 80 –90% de los billones de microorganismos típicos encontrados en el compost (Trautmann y Olynciw, 2000).

Las bacterias son las principales responsables de la descomposición y de la generación de calor. Las bacterias mesófilas cumplen un rol importante durante la primera etapa de compostaje, principalmente por su habilidad de crecer rápidamente en proteínas solubles y otros sustratos fácilmente disponibles (Miller, 1991). Durante la segunda etapa, cuando las temperaturas son mayores a 40°C comienzan a predominar las bacterias termófilas. La población bacteriana presente durante el proceso pertenece principalmente al genero *Bacillus*, siendo las principales especies: *B. brevis*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B.licheniformes*, *B.spharicus*, *B subtilis* (Strom, 1985 citado por Pinto, 2001).

Toleran temperaturas de hasta 55°C, pero decrecen drásticamente a los 60°C o más.

Cuando las condiciones son desfavorables, estos microorganismos forman endosporas para sobrevivir, las cuales son resistentes al calor y a la desecación. Una vez que el compost se enfría, bacterias mesófilas nuevamente predominan, siendo la recolonización dependiente del tipo de esporas generadas en las etapas anteriores y a las condiciones existentes en la masa de compostaje.

- **Actinomycetes:** Son microorganismos parecidos a los hongos, pero actualmente son considerados como bacterias filamentosas. Como otras bacterias, éstos carecen de núcleo, pero forman una estructura ramificada de filamentos (micelio), análoga a la que forman los hongos filamentosos (Brock y Madigan, 1991).

Los Actinomycetes siguen en número a las bacterias. Asumen la dirección durante las etapas finales de descomposición, y son frecuentemente productores de antibióticos que inhiben crecimiento bacteriológico. Son especialmente importantes en la formación de humus, liberando carbón, nitrógeno de nitrato y amonio, haciendo alimentos disponibles a plantas (Grupo Emison,2006).

Los filamentos que forman se observan comúnmente en los primeros 10 a 15 cm. de la pila (Trautmann y Olynciw, 2000).

Algunas especies aparecen durante la etapa termófila y otras son más importantes durante la etapa de enfriamiento o maduración, donde solo quedan los materiales más resistentes.

En el compostaje juegan un rol importante en la degradación de compuestos orgánicos complejos como materiales leñosos, paja y aserrín (Labrador, 1996).

Las condiciones óptimas para su desarrollo son ambientes húmedos pero aerobios, (Chen y Griffin, 1966, citado por Miller, 1991) con un pH neutro o ligeramente alcalino (Lacey, 1973, citado por Miller, 1991).

El característico olor a tierra del suelo es causado por los actinomicetes, del género *Streptomyces*, los cuales producen una serie de metabolitos llamados geosminas. (Brock y Madigan, 1991, 1991). Los actinomicetes que comúnmente se encuentran en el compost son: *Actinobifida chromogena*, *Micrbispora bispora*, *Micropolyspora faeni*, *Nocardia sp.*, *Streptomyces rectus*, *S. thermofuscus*, *S. thermovulgaris*, *S. violaceus-ruber*, *Thermoactinomyces vulgaris*, *T. sacchari*, *Thermonospora curvata*, *T. viridis* (Fergus, 1964 citado por Pinto 2001).

- **Hongos:** Los hongos son menores en número que las bacterias o Actinomicetes, pero con mayor masa. Los hongos son los organismos simples que carecen de pigmento fotosintético (clorofila). Las células individuales tienen un núcleo rodeado por una membrana y pueden agruparse en filamentos largos, llamados hifas. Los hongos viven sobre el material muerto y obtienen energía degradando el material orgánico. Atacan el material más resistente, poseen un rol limitado en el compostaje, excepto en la etapa de maduración, cuando las temperaturas son moderadas y los sustratos son predominantemente celulosa y lignina (Eastwood, 1952; Chang, 1967; Chang y Hudson, 1967; De Bertoldi *et al.*, 1983 citado por Miller, 1991).

Estos son excluidos de las fases tempranas de altas temperaturas, sólo algunos pueden soportar temperaturas mayores a 55°C.

La máxima tasa de crecimiento y de respiración de los hongos son de una magnitud menor que las de las bacterias (Mathur, 1991).

4.0 QUÍMICA Y BIOLOGÍA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Como ya hemos comentado, el compostaje es un proceso dinámico debido a las actividades combinadas de una amplia gama de bacterias y hongos, ligados a una sucesión de ambientes.

A lo largo del proceso van apareciendo formas resistentes de los microorganismos cuando las condiciones de temperatura hacen imposible su actividad. Diferentes especies de microorganismos pueden sucederse o coincidir en el tiempo, su procedencia puede ser a través de la atmósfera, del agua, del suelo o de los mismos residuos. Una población comienza a aparecer mientras otras están en su máximo o ya están desapareciendo, complementándose las actividades de los diferentes grupos.

En la primera etapa aparecen bacterias y hongos mesófilos con predominio de las primeras. Cuando la temperatura llega a 45 °C, aparecen bacterias y hongos termófilos y los primeros Actinomycetes. Por encima de los 70° cesa la actividad microbiana. Al bajar de nuevo la temperatura, reaparecen las formas activas, detectándose también la actividad de protozoos, miriápodos, etc. (Grupo Emison,2006).

Las bacterias se encuentran distribuidas por toda la pila, mientras que los hongos y Actinomycetes están situados a 5-15 cm. de la superficie, dándole un aspecto grisáceo característico (Grupo Emison,2006).

Para lograr reproducirse y crecer, los microorganismos deben degradar los residuos para la formación de energía y sintetizar nuevo material celular. Mediante la respiración se obtiene una gran cantidad de ATP y permite la finalización del compost en un menor tiempo.

Existen dos tipos de respiración, la aeróbica y la anaeróbica, en ésta última los microorganismos utilizan aceptores de electrones diferentes al oxígeno como nitrato (NO₃), sulfato (SO₂-) y carbonatos (CO₃-2) para la obtención de energía, lo cual trae como consecuencia problemas de olor.

Una serie de reacciones se llevan acabo durante el compostaje, las cuales además de liberar energía, forman una serie de intermediarios orgánicos que sirven como punto de partida de otras reacciones

Los microorganismos presentes, producen enzimas extracelulares (proteasa, amilasas, lipasas, etc) que digieren los materiales insolubles, de manera de ser transformados a solubles, para finalmente ser utilizados al interior de la célula como nutrientes para su crecimiento. (Alexander, 1977)

La actividad de los microorganismos comprometida en el compostaje está dirigida a la síntesis de protoplasma el cual contiene 50%C, 5%N y 0.25-1%P en base a materia seca (Alexander, 1977)

Los microorganismos en general utilizan 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno (Waskman, 1938 citado por Mathur, 1991).

Bacterias, actinomicetes y hongos asimilan el carbono y nitrógeno en forma distinta. En una población de microorganismos 5-10% del carbono del sustrato es asimilado por las bacterias, 15-30% por los actinomicetes y 30-40% por los hongos. Ambos, bacterias y actinomicetes tiene una relación C:N protoplasmática de 5:1, mientras que los hongos tienen una relación de 10:1 (Alexander, 1977 y Miller, 1991).

Los organismos de la descomposición son los implicados en la subdivisión del material orgánico. Las bacterias son el microorganismo primario de la descomposición. Llegan con los residuos, y comienzan el proceso descomponiendo el material orgánico para su propio alimento. Las bacterias crecen y se multiplican en condiciones favorables, y mueren cuando se crean las condiciones más favorables para otras. Las bacterias, los Actinomicetes y los hongos consumen los residuos directamente y se conocen como compostadores de primer nivel son ayudados por organismos más grandes (gusanos, ácaros, escarabajos, larvas y moscas), que también consumen residuos directamente. (Grupo Emison,2006).

Los microorganismos de primer nivel de la descomposición son comidos por los del segundo nivel tales como tijeretas, ácaros, escarabajos, protozoos y rotíferos. Los del tercer nivel comen a los del primer y segundo nivel e incluyen ciempiés, escarabajos, hormigas y ácaros (Grupo Emison,2006).

En general, las temperaturas conseguidas en el proceso, junto con la competencia por los nutrientes y la producción de fermentos (antibióticos) que

impiden su desarrollo, llegan a eliminar los microorganismos patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas llegados con los residuos (Grupo Emison).

5.0 FACTORES FÍSICOS Y QUÍMICOS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

En el proceso de compostaje el principio básico más importante es el hecho de que se trata de un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, y por tanto, se ve afectado por todos los factores que afectan su desarrollo. Entre estos factores están:

Sustrato, aireación, contenido de humedad, temperatura, pH y la relación C:N, condiciones que determinarán el desarrollo exitoso del proceso y la obtención de un producto final de alta calidad.

5.1 Sustrato

La obtención de un buen compost depende fundamentalmente de la composición y preparación de la materia orgánica inicial, también se deben considerar las características físicas del material, ya que tienen gran influencia sobre el proceso, pudiendo afectar el grado de descomposición y en algunos casos la habilidad de la pila de mantener las condiciones aeróbicas. Las características principales a considerar son:

- **Porosidad:** Relacionada con la aireación e influye en la resistencia al paso de aire a través de la pila.
- **Tamaño de las partículas.** La actividad microbiana ocurre generalmente en la superficie de las partículas orgánicas, por lo tanto el tamaño de éstas debe ser menor, de manera de aumentar el área superficial, y así favorecer la actividad de los microorganismos y la tasa de descomposición. El tamaño ideal es de 2 a 5 cm. (INTEC, 1997).

Por otra parte, cuando las partículas son demasiado pequeñas y compactas, la circulación del aire a través de la pila se ve dificultada, disminuyendo la disponibilidad de oxígeno y por ende la actividad microbiana.

- **Estructura:** Habilidad de las partículas de resistir compactación. Como se puede ver los sustratos cumplen un rol importante dentro de la elaboración del compost.

Es muy importante realizar una mezcla de materiales inicial óptima. Es raro que un sólo material residual tenga todas las características requeridas para un compostaje eficaz.

Por tanto, es necesario mezclarlo con otros materiales, en proporciones adecuadas, para obtener una mezcla con las características necesarias para llevar a cabo el proceso de compostaje

5.2 Relación Carbono /Nitrógeno (C:N)

El equilibrio carbón y nitrógeno se conoce como la relación de transformación de carbono/nitrógeno. . La relación carbono/nitrógeno describe cuánto carbón contiene un material con relación al nitrógeno.

De los muchos elementos requeridos para la descomposición microbiana, el carbono y el nitrógeno son los más importantes.

El carbono proporciona una fuente de energía y además constituye aproximadamente el 50% de la masa de células microbiana (Brock y Madigan, 1991).

El nitrógeno es un componente crucial de las proteínas, de los ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas y de las coenzimas necesarias para el crecimiento y la funcionalidad de la célula. Una célula bacteriana típica tiene de 12 a 15% de nitrógeno (en peso seco) (Brock y Madigan, 1991).

A nivel práctico, la relación de transformación es un indicador de la velocidad de descomposición y permite una determinación del tiempo de compostaje, siempre y cuando las condiciones de humedad, aireación y temperatura sean las óptimas.

Teóricamente, para una buena actividad microbiana la razón inicial ideal de carbono y nitrógeno (C:N) es del orden de:

- 25: 1 a 35: 1. (Jairo Alberto Romero Rojas, febrero 2004)
- 25: 1 a 30: 1 (INTEC , 1997)

- 20: 1 a 30: 1 (Grupo Emison, 2006).

El balance entre la inmovilización del nitrógeno y la mineralización se encuentra fuertemente influido por la relación C:N de la materia orgánica degradada.

Con una relación mayor a 30, disminuye la actividad biológica por no existir el suficiente nitrógeno para el crecimiento óptimo de las poblaciones microbianas, produciéndose una inmovilización de ésta (NH_4^+ o NO_3^-); sin embargo, si la materia orgánica a compostar es poco biodegradable, la lentitud del proceso tendrá esta causa, y no la falta de nitrógeno. (Raviv *et al.*, 2002)

Con valores menores a 30 no afecta al proceso de compostaje pero el nitrógeno se encontrará en exceso y puede perderse como amoníaco (NH_3) (malos olores) (Raviv *et al.*, 2002). Dado que uno de los objetivos del compostaje es la conservación de nutrientes, no podemos permitir esta pérdida.

La mezcla de distintos residuos con diferentes relaciones C:N puede solucionar el problema (Grupo Emison, 2006).

En caso que la relación C:N inicial es muy alta, existe la posibilidad de utilizar aditivos (fuentes de nitrógeno). Estas sustancias adicionales permiten ajustar la relación C:N sin alterar el contenido de humedad. Se pueden utilizar fertilizantes como urea, sulfato de amonio, entre otros (Graves, 2000). Teniendo en cuenta que si se adicionan fuentes que contienen sulfato o calcio, existe el riesgo que aumente la conductividad eléctrica debido a que se relaciona la conductividad eléctrica con el contenido de iones sulfato, calcio y magnesio. (Inbar *et al.*, 1993) A medida que el compostaje avanza, el cociente C:N disminuye gradualmente llegando a alcanzar valores entre 10 y 12 en el producto final "compost". Esto ocurre ya que gran parte del carbono es continuamente liberado (CO_2), mientras que la mayoría del nitrógeno es reciclado, lo que refleja la descomposición de la materia orgánica y su estabilización (Chafetz *et al.*, 1996).

5.3 Temperatura

La temperatura es un factor importante en el proceso de compostaje, refleja la actividad biológica de los microorganismos, siendo una de las condiciones ambientales determinante de la rapidez con la cual los materiales son metabolizados (Alexander, 1977)

Es fundamental en la maduración del compost, ya que la elevación de la temperatura durante el proceso refleja una actividad microbiana óptima y un equilibrio entre la aireación, humedad y composición de la mezcla (Labrador, 1996).

La retención de la temperatura y la continua generación de calor están influenciadas por las temperaturas ambientales lo que se relaciona con el tamaño de la pila (capacidad de aislamiento), contenido de agua y relación C:N de sus constituyentes, siendo así que los de menor relación C:N alcanzan mayores temperaturas (Mathur, 1991).

La temperatura varía en función de la actividad microbiana, dividiendo al proceso en dos periodos principalmente: (1) activo compostaje y (2) maduración.

(1) Activo compostaje:

Se caracteriza por una gran actividad de los microorganismos y grandes variaciones en la temperatura.

Inicialmente, los residuos se encuentran a temperatura ambiente, los microorganismos crecen y la temperatura sube considerablemente alcanzando a los pocos días los 45°C, esta primera fase se denomina mesotérmica, actúan especialmente bacterias mesófilas, las cuales degradan el material de fácil descomposición.

La segunda fase es la termofílica, con temperaturas que van desde los 45 a 70°C, en esta fase la micro fauna mesófila es sustituida por la termófila (resistentes a altas temperaturas) y el material más difícil de descomponer comienza a ser degradado.

Si existen condiciones óptimas de humedad y ventilación se producen visibles emanaciones de vapor de agua.

La temperatura máxima en esta fase, no debe superar los 70°C. La configuración geométrica de las pilas es un factor importante que afecta el comportamiento de la temperatura, si esta es inadecuada se pueden alcanzar

temperaturas demasiado altas (letales para los microorganismos), siendo necesario reducir las dimensiones para permitir la pérdida de calor y controlar la evolución de la temperatura (Madrid y Castellanos, 1997).

El manejo de la temperatura requiere cuidado y control. ya que así como la alta temperatura es capaz de sanitizar patógenos, también puede terminar con los microorganismos benéficos, las enzimas responsables de la degradación se desnaturalizan y se convierten en no funcionales, provocando que los microorganismos no puedan nutrirse de manera adecuada (Graves , 2000), mientras que otras no actúan por estar en forma de spora.

Las altas temperaturas también son conducentes a una pérdida evaporativa excesiva de agua y emanación de olores (Mathur, 1991)

Normalmente en esta etapa, se logran destruir semillas de malezas, esporas de hongos y algunas fitotoxinas que posteriormente significarían un problema al adicionar el compost al suelo (INTEC, 1997).

El CO₂ se produce en volúmenes importantes que difunden desde el centro a la superficie de la pila. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos, dado que concentraciones altas de CO₂ resultan letales para las larvas (Graves, 2000).

La reducción de patógenos puede ser efectivamente lograda a través del compostaje. Los dos mecanismos de destrucción son la muerte por temperatura y el antagonismo biológico (Makawi, 1980; Millner *et al.*, 1987 citado por Miller, 1991).

La sanitización del material esta directamente relacionado con la temperatura. Para alcanzar efectivamente la sanitización del material se deben cumplir dos condiciones principalmente: (1) Todo el material tiene que estar expuesto a las condiciones letales y (2) La exposición a altas temperaturas debe ser de por lo menos dos horas, de manera de maximizar su efectividad (Graves, 2000). Para alcanzar una reducción significativa de los patógenos durante el compostaje, se debe tener una temperatura mayor a 55°C por lo menos cuatro horas (Trautmann y Olyncin, 2000).

(2) Maduración

La etapa de maduración o de estabilización, se encuentra marcada por una baja tasa de actividad microbiana, al agotarse los sustratos se produce una caída

gradual de la temperatura, la cual se iguala a la del medio ambiente, lo que indica el término de la elaboración del compost.

Durante esta etapa los productos resultantes de la etapa de activo compostaje se estabilizan, lo que involucra una descomposición más avanzada de ácidos orgánicos, una disminución de los compuestos resistentes y la formación de compuestos húmicos.

Se debe continuar con un manejo apropiado de la humedad y oxígeno para la mantención de la actividad microbiana (Graves, 2000). Se considera finalizado el proceso cuando la pila después de repetidos volteos vuelve a presentar una temperatura similar a la ambiental.

En la figura 2 se puede observar la evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje.

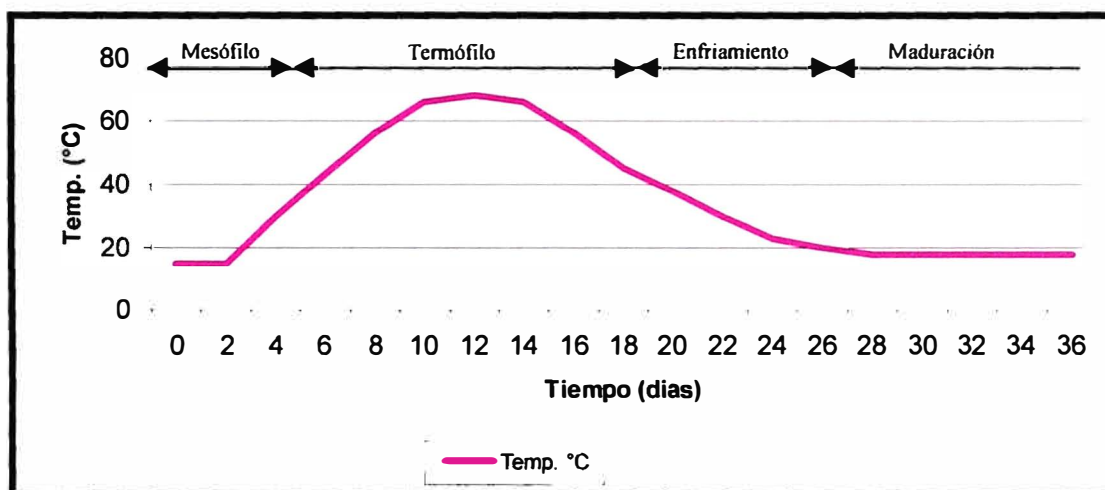


Figura 2. Evolución de la temperatura durante el compostaje. El tiempo en días es referencial, dependerá de que tan óptimas sean las condiciones durante el proceso.

Termogénesis

La temperatura en cualquier punto de la pila durante el compostaje se encuentra en función de cuánto calor está siendo producido por los microorganismos con respecto al que se está perdiendo por conducción, convección, enfriamiento evaporativo o calentamiento sensible del aire.

La **conducción** es limitada como mecanismo de transferencia ya que la conductividad térmica del compost es baja, aunque puede llegar a ser importante en pilas pequeñas con una alta relación superficie - volumen.

El **enfriamiento evaporativo** tiene un gran potencial de remover calor de la pila.

Una gran cantidad de calor se utiliza para el cambio de estado líquido a vapor.

Durante el proceso se pierde gran cantidad de agua, principalmente a través del proceso de enfriamiento evaporativo, lo que se traduce en una disminución de la masa total de la pila, en aproximadamente un 49% (Harper *et al.*, 1992).

La aireación del compost puede remover grandes cantidades de calor a través de este mecanismo (Miller, 1991).

Y por último la **convección** no limita el ascenso de la temperatura, excepto en las zonas superiores y externas de la pila de compost.

5.4 Humedad

Los microorganismos necesitan agua como medio para transportar los nutrientes y otros elementos a través de la membrana celular. El agua es esencial para disolver y transportar los nutrientes y sustratos que los organismos pueden absorber sólo como solución (Mathur, 1991). Es requerida para necesidades fisiológicas, solución de sustratos y sales, como medio de colonización bacterial y es determinante para el intercambio gaseoso (Pinto, 2001).

La humedad óptima del compostaje se puede situar alrededor del 30 a 55% aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. El contenido de humedad ideal para el compostaje debe considerar una adecuada humedad para las necesidades fisiológicas de los microorganismos y un adecuado flujo de oxígeno para mantener las condiciones aeróbicas.

Cuando la humedad es excesiva (mayor a 65%) la proliferación microbiana es suprimida, no por la sobreabundancia de agua sino debido a que disminuye el intercambio gaseoso y por lo tanto existe menor disponibilidad de oxígeno, generando un ambiente anaeróbico (Alexander, 1977).

Por último se debe considerar la producción metabólica de agua. La producción de agua metabólica puede ser de un rango entre 0,29 a 0,71 kg por kg de materia seca perdida. (Harper *et al.*, 1992).

5.5 pH

Es un parámetro importante para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos.

Influye en el proceso debido a su acción sobre los microorganismos. En general, los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6-7,5).

Los microorganismos tienen distintos requerimientos de pH, el rango ideal se encuentra entre 6,5 y 8,0 (Graves, 2000)

Los niveles de pH varían en respuesta a los materiales utilizados en la mezcla inicial y a la producción de varios productos y compuestos intermedios producidos durante el compostaje.

Durante el proceso de compostaje se producen diferentes fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro. Al comienzo y como consecuencia del metabolismo fundamentalmente bacteriano, los complejos carbonados fácilmente degradables, se transforman en ácidos orgánicos, provocando que el pH descienda. Luego los niveles aumentan como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando valores más altos (alrededor de 8,5), lo cual coincide con el máximo de actividad de la fase termófila (Guerra *et al.*, 2001). Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica (Graves, 2000).

Problemas asociados:

El exceso de iones OH⁻ provoca la volatilización del amoníaco (NH₃). El amoníaco se encuentra en equilibrio con el amonio (NH₄⁺) hasta valores cercanos a 9, sin embargo cuando éste es mayor, comienza a aumentar el NH₃⁺ y por ende la volatilización. Altos niveles de pH también provocan la formación de precipitados (insoluble) de elementos biológicos esenciales como cobre (Cu) y zinc (Zn) (Mathur, 1991).

En el otro extremo, una excesiva acidez (H⁺) puede causar la liberación de iones bases esenciales, como calcio (Ca) y magnesio (Mg) de los organismos, y metales tóxicos como aluminio (Al), manganeso (Mn) y cobre (Cu) o de la materia orgánica (Mathur, 1991). También las condiciones muy ácidas son perjudiciales para los microorganismos, particularmente para las bacterias.

5.6 Aireación

Es un factor importante en el proceso de compostaje y, por tanto, un parámetro a controlar.

El oxígeno es esencial para el metabolismo, la respiración de los microorganismos aerobios y para oxidar las moléculas orgánicas presentes en los residuos.

La aireación por volteo tiene por objetivos:

- Mezclar los materiales de manera de homogeneizar la mezcla y su temperatura. Después de cada volteo, la temperatura disminuye de 5 a 10°C, subiendo de nuevo si el proceso no ha acabado.
- Soltarlos la mezcla para evitar su compactación.
- Creación de nuevas superficies de ataque para los microorganismos
- Aportar el oxígeno suficiente a los microorganismos y
- Permitir al máximo la evacuación del dióxido de carbono producido.

El estatus del oxígeno en una masa de compostaje está dado por las tasas de utilización y suministro (Pinto, 2001).

La aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados (mayor al 5%) durante el proceso, teniendo en cuenta, además, que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso. Al principio de la actividad oxidativa, la concentración de oxígeno en los espacios porosos es cerca de 15-20% (similar a la composición normal del aire), y la concentración de CO₂ entre 0.5-5%. A medida que progresa la actividad biológica, la concentración de oxígeno baja y la de CO₂ aumenta. (Harper *et al.*, 1992)

Se pueden presentar durante la etapa de enfriamiento un aumento en la utilización de oxígeno debido presumiblemente al uso de sustratos restantes o productos inestables por nuevas poblaciones microbianas (Harper *et al.*, 1992)

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

Una aireación excesiva también puede contribuir a la volatilización del amoníaco (Graves, 2000).

6.0 TECNICAS DE COMPOSTAJE

No existe el "mejor" sistema para compostar: Hay muchas maneras, cada una con ventajas y desventajas. Las técnicas de compostaje varían principalmente de acuerdo a las condiciones de aireación, período de volteo y calidad requerida en el producto final. La elección de cualquiera de ellas va a depender de los objetivos planteados, inversión, disponibilidad de terreno, complejidad operacional y el potencial para generar problemas medioambientales del producto que desea elaborar.

La técnica que se empleará en este trabajo de investigación es un sistema abierto de pilas aireadas por volteo. En este sistema el material se amontona en pilas (puede ser del tipo alargadas) al aire libre o en galpones. El tamaño y la forma de las pilas (triangular o trapezoidal) dependerán del clima, material utilizado y la maquinaria disponible (este ultimo en caso de pilas de gran tamaño).

Este sistema considera el volteo de las pilas ya sea en forma manual o mecánica. Las pilas deben ser volteadas en forma regular, ya sea con maquinas especialmente destinadas a este fin (volteadoras), cargadores frontales o en forma manual, existiendo en los dos últimos casos, si el volumen es muy grande, un mayor riesgo de no lograr un mezclado apropiado del material en proceso.

Este método tiene por ventajas:

- Permitir el compostaje de un gran volumen de residuos.
- Si se maneja bien todo el proceso, se obtendrá un tratamiento eficiente del lodo y un producto final de calidad.
- La aireación permite un mejor secado y separación del material que las pilas estáticas

Pero tiene como desventajas que:

- Es susceptible a efectos climáticos.
- Requiere una mayor cantidad de labores debido al volteo que hay que hacer.
- Se necesita mucha área para trabajar con volúmenes considerables y
- Si no se tiene los cuidados pertinentes, habrá producción de malos olores.

7.0 DEFINICION ¿QUÉ ES EL COMPOST?

Es un material de color oscuro, con un agradable olor a mantillo del bosque. Puede definirse el compost como el producto que se obtiene al someter la materia orgánica a un proceso de degradación aerobia que la transforma en una mezcla estable, lo más homogénea posible y que guarde una relación entre sus componentes que le confieran un buen valor agronómico

El compost se obtiene por la transformación biológica de la materia orgánica que contienen los residuos. De esta transformación resulta una enmienda orgánica de características importantes, que sitúan al compost en un lugar destacado en la fertilización de todo tipo de terrenos agrícolas, tanto por la mejora del suelo como soporte fisicoquímico, como en relación con la capacidad de retención de agua y otras características que aumentan su fertilidad inicial.

Abonar no es lo mismo que fertilizar; al fertilizar mejoramos las propiedades del suelo para aprovechar al máximo la aplicación de los nutrientes contenidos en los abonos

El compost se clasifica como un acondicionador del suelo más que como abono. Para ser clasificado como abono tendría que tener niveles más altos de nitrógeno, potasio y fósforo (Grupo Emison).

El compost puede almacenarse por mucho tiempo sin que se alteren sus propiedades, pero es necesario que mantenga siempre cierta humedad, la óptima es de 40%. La cantidad que debe aplicarse varía según el tipo de planta y su tamaño.

La producción de humus es el resultado final del compostaje. El humus es la vida del suelo y debe estar presente en él para ser fértil. La mayoría de los nutrientes de los minerales del suelo permanecerán no asimilables por las plantas en los suelos pobres o carentes de humus.

El compost, debido al humus contenido y otras propiedades, es más valioso para el suelo que los estiércoles u otros residuos orgánicos. Éstos son aplicados al suelo en un intento por incrementar el contenido de humus, pero en general esto no sucede. Los estiércoles, incorporados o en superficie, al no haber sufrido los procesos degradativos del compostaje, pierden nutrientes, y éstos, principalmente el nitrógeno, son lixiviados contaminando gravemente las capas freáticas. Además, pueden estar contaminados con insectos, bacterias o semillas que no deberían retornar a los cultivos.

8.0 PROPIEDADES DEL COMPOST

La aplicación de compost no daña el equilibrio del suelo, induce un gran número de efectos positivos en la biología del suelo, en las condiciones físicas y químicas de éste.

El compost presenta una textura física particular, de baja densidad (del orden de 0,5 g/cc) y baja resistencia mecánica. Por lo tanto, su incorporación permite mejorar la estructura del suelo, reduciendo problemas de compactación y susceptibilidad de erosión; además, incrementar la capacidad de retención de agua, así como también el intercambio gaseoso, favoreciendo el desarrollo radical (Varnero, 2001). Los suelos arenosos retendrán mejor el agua mientras que los arcillosos desaguarán más rápido con el aporte del compost. El mejor drenaje permite al agua fluir a capas más profundas en vez de encharcar la superficie y correr por la línea de pendiente. También ayuda al crecimiento de raíces que retienen el suelo (Grupo Emison).

Mejora la actividad biológica del suelo, actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización, es decir, que agrega material orgánico al suelo proveyendo alimento para gusanos de tierra y microorganismos benéficos para las plantas.

Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros, se incrementa y diversifica la flora microbiana.

Sobre las propiedades químicas del suelo, la materia orgánica, aumenta el poder tampón al igual que la capacidad de intercambio catiónico (Labrador, 1996).

Al ser utilizado como fertilizante posee la propiedad de liberar los nutrientes de manera lenta, lo que puede ser favorable en ecosistemas en que la pérdida de nitrógeno por lixiviación es probable.

La materia orgánica aporta macro nutrientes (N, P, K) y micro nutrientes. El contenido nutritivo de un compost de alta calidad debe ser aproximadamente 6,8 a 13 kg de nitrógeno/ton de compost, alrededor de 2,2 a 4,5 kg de fósforo/ton y 13 kg de potasio. El calcio, magnesio se encuentran en condiciones moderadas mientras que el azufre y otros micro nutrientes son altos (Parnes, 1990).

El compost incorpora al terreno micro y oligo elementos (cobre, magnesio, cinc, manganeso, hierro, boro, etc.) que son muy necesarios para la actividad y desarrollo vegetativo de las plantas, esto lo convierte en un fertilizante completo, aportando a las plantas sustancias necesarias para su metabolismo. Otra característica importante es que reduce la necesidad de pesticidas químicos al producir plantas saludables que son menos atacables por plagas de insectos, enfermedades y heladas. Se puede utilizar a altas dosis sin contraindicaciones, ya que no quema las plantas, ni siquiera las más delicadas (Grupo Emison).

El compost también cumple un rol de supresor de enfermedades, a través mecanismos biológicos como antibiosis, parasitismo y competencia por microorganismos antagónicos son probablemente los responsables por la prevención del desarrollo de enfermedades (Gorodecki y Hadar, 1990).

Los ácidos resultantes de los procesos de degradación de la materia orgánica disuelven parte de los productos minerales del suelo y los hacen aprovechables para la nutrición de las plantas. La acción microbiana favorece la desaparición del efecto residual de la aplicación de herbicidas y otros productos fito sanitarios (Grupo Emison).

El nitrógeno contenido en el compost se encuentra en forma asimilable por las raíces, con la ventaja de ser retenido en el horizonte A - B (capa cultivable del suelo), evitando ser arrastrado por las aguas de lluvia o de riego a capas más profundas fuera del alcance del sistema radicular. La modificación que induce en la población microbiana del suelo la hace más apta para fijar el nitrógeno atmosférico.

Actúan sobre los nutrientes macromoleculares, llevándolos a estados directamente asimilables por las plantas, lo cual se manifiesta en notables mejoras de las cualidades organolépticas de frutos y flores y mejor resistencia a los agentes patógenos.

Acelera el desarrollo radicular y los procesos fisiológicos de brotación, floración, madurez, sabor y color. Al mejorar el estado general de las plantas aumenta su resistencia al ataque de plagas y patógenos y la resistencia a las heladas.

La acción microbiana del compost hace asimilable para las plantas materiales inertes como fósforo, calcio, potasio, magnesio, así como micro y oligoelementos (Grupo Emison)

Además, contiene hormonas, sustancias reguladoras del crecimiento y promotoras de las funciones vitales de las plantas. Está compuesto principalmente por carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, encontrándose también una gran cantidad de microorganismos (Grupo Emison).

El compost acabado agrega estos elementos y otros, pero es de efectos más lentos que los fertilizantes químicos, y aumenta la disponibilidad de estos elementos en el suelo. El compost cumple un rol trascendente al corregir y mejorar las condiciones físicas, químicas, biológicas de los suelos.

En resumen:

- Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre.
- Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente nitrógeno.
- Estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder de tampón.
- Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.
- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos y ligando los sueltos arenosos.
- Mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación.
- Reduce la erosión del suelo.
- Incrementa la capacidad de retención de humedad.
- Confiere un color oscuro en el suelo ayudando a la retención de energía calorífica.
- Es fuente de energía la cual incentiva a la actividad microbiana.
- Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros, se incrementa y diversifica la flora microbiana.

Por otro lado, un número de problemas medio ambientales pueden estar envueltos en la aplicación de compost. Puede existir un aumento en la lixiviación de nitratos a las aguas superficiales y subterráneas, en el caso que sean aplicados en exceso y dependiendo del material de origen utilizado, una acumulación de metales pesados o contaminantes orgánicos en el suelo, una absorción indeseada de sustancias por los cultivos y la posibilidad que los contaminantes pueden penetrar en los alimentos (Horst *et al.*, 1999). Por tal motivo antes de utilizar el compost hay que hacerle una caracterización dando importancia a aquellas determinaciones que, según el origen y materiales empleados, se sabe que podrían estar presentes en nuestro producto final y son causa de contaminación del suelo y del vegetal.

9.0 ¿CUÁNDO ESTA LISTO EL COMPOST?

La duración del proceso es variable, dependerá de diversos factores como por ejemplo metodología utilizada, materiales iniciales, condiciones climáticas, control de parámetros durante el proceso entre otros.

El grado de finalización del proceso de compostaje puede ser evaluado a través de la medición de varios cambios en las propiedades, químicas, físicas y biológicas de los sustratos.

Cuando después de repetidos volteos de la pila, la temperatura ya no aumenta y se mantiene similar a la temperatura ambiente, se puede deducir que el proceso de compostaje ha terminado. El compost ya terminado es de color oscuro, desmenuzable pero no pulverizado y los olores terrosos.

Éstas son indicaciones que el compost ha estabilizado, o madurado, y que se ha convertido el material orgánico original en humus.

9.1 Calidad y madurez del compost

La calidad del compost esta relacionada a su valor agronómico y comercial como un acondicionador orgánico del suelo. (Degli-Innocenti y Bastioli, 1997; citado por Kapanen y Itavaara, 2001).

Se determina en base a sus características físicas (tamaño de las partículas, textura y color) y químicas como contenido de materia orgánica, humedad, pH, relación carbono/nitrógeno, contenido de sales, presencia de metales, entre otros.

Si estos parámetros son bien manejados se tendrá un compost de buena calidad, con las siguientes características: Libre de contaminación, higienizado, alto potencial fitosanitario, potencial de fertilización, potencial de capacidad de retención de agua, potencial de protección de erosión, libre de malos olores y estabilidad microbiológica (INTEC, 1997).

La estabilidad/madurez es un tema crítico con respecto a la aplicación del compost debido a que un compost inmaduro puede ser perjudicial para el ambiente del suelo y para la planta, ya que continua en proceso de descomposición, lo cual puede inducir a condiciones de anaerobiosis a medida que los microorganismos utilicen el oxígeno para descomponer el material del suelo (Butler *et al.*, 2001). También puede causar una disminución del

crecimiento de la planta y dañar los cultivos debido a la competencia por oxígeno o causar una fitotoxicidad a las plantas debido a la insuficiente biodegradación de la materia orgánica (Brodie *et al.*, 1994; He *et al.*, 1995; Kelling *et al.*, 1994; citado por Wu *et al.*, 2000).

Generalmente, el término “estabilidad” se define como la velocidad o grado de materia orgánica en descomposición. La estabilidad del compost se puede expresar como una función de la actividad microbiológica; puede determinarse por la tasa de toma de O₂, tasa de producción de CO₂, o por la liberación de calor como resultado de la actividad de los microorganismos (Iannotti *et al.*, 1993; Chen y Inbar, 1993 citado por Wu *et al.*, 2000).

El término madurez por otro lado, se refiere al grado de descomposición de sustancias orgánicas fitotóxicas producidas durante el activo período de compostaje (Zucconi *et al.*, 1981; Iannotti *et al.*, 1993; citado por Wu *et al.*, 2000).

Tabla 1. Fototoxicidad como indicador de la madurez de un compost.

% de inhibición de plantas	Clasificación de toxicidad
81-100	Extremadamente tóxico
61-80	Altamente tóxico
41-60	Tóxico
21-40	Moderadamente tóxico
0-20	Ligera toxicidad -No tóxico

Fuente: Grave, R.E. 2000

10.0 COMPORTAMIENTO DEL SUELO

El desarrollo de la edafología (ciencia que estudia los suelos) ha confirmado que no sólo de nitrógeno, potasio y fósforo viven las plantas y que en su crecimiento intervienen otros elementos químicos, así como hormonas, vitaminas, etc. La tierra fértil, en lugar de ser un mero soporte físico inerte, es un complejo laboratorio en el que tienen lugar procesos vivos.

Las tierras o suelos fértiles constan de cuatro componentes: materia mineral, materia orgánica (con abundancia de seres vivos), aire y agua. Todos íntimamente ligados entre sí y originando un medio ideal para el crecimiento de las plantas.

De estos componentes, la materia orgánica representa, en líneas generales, el menor porcentaje, tanto en peso como en volumen. A pesar de ello su importancia es muy grande y no sólo mejora las propiedades físicas y químicas de la tierra, sino el desarrollo de los cultivos.

Los aportes de materia orgánica están sometidos a un continuo ataque por parte de organismos vivos. Como resultado de dicho ataque, son devueltos a la tierra los elementos necesarios para la nutrición de las plantas.

La fracción superior de la tierra de color oscuro, con la materia orgánica muy descompuesta, es el llamado humus. Un puñado contiene millones de microorganismos que lo usan como sustrato. Dentro de la materia orgánica del suelo, el humus representa del 85% al 90% del total; por ello, hablar de materia orgánica del suelo y de la fracción húmica es casi equivalente (Grupo Emisor).

Con los años, ese humus formado, también se transformará en minerales, pero mucho más lentamente. Terminará por desaparecer como humus, pero después de más de 3 años.

11.0 DISEÑO DE LA PILA

La mezcla debe ser homogénea, teniendo especial cuidado en el tamaño del material a utilizar y la variedad de los mismos, para así tener una relación de carbono / nitrógeno apropiada. Se debe realizar pilas de tipo trapezoidal preferentemente, con una altura no mayor a 0.80 - 1.00 m, de ancho no menor a 0.50 m ni mayor a 1.00 – 1.50 m. Estas dimensiones son relativas, la finalidad de las mismas es no tener una pila muy grande que sea difícil de manejar (en cuando al volteo de la misma) y que retenga demasiado el calor, ni tampoco una pila muy pequeña porque esta no retendrá el calor como debería suceder ya que la relación de volumen / área superficial es muy baja. Es bueno que se haga dentro de un cobertizo sin paredes y no a la intemperie ya que el efecto del sol directamente sobre la pila tiende a secarla demasiado en épocas de verano, y la lluvia puede humedecer demasiado la pila en época de invierno.

Si se desea se puede implementar un sistema de drenaje en la base de la pila, de tal forma de recolectar los lixiviados, que pueden ser echados nueva en la pila evitando así la contaminación del suelo.

Para poder lograr una buena relación de transformación (C:N) en la mezcla es necesario tener especial cuidado, lo recomendable es determinar el carbono orgánico total y el nitrógeno total de los materiales que intervendrán en la mezcla, y aplicar un fórmula empírica de promedio ponderado de tal forma de hacer una primera estimación de cuanto y que tipo de material de soporte de debe utilizar, realizar la mezcla con dichos datos obtenidos empíricamente y finalmente determinar analíticamente la relación de transformación de la mezcla ya hecha y de acuerdo al resultado hacer las correcciones pertinentes agregando material que suministre Carbono o Nitrógeno según sea la necesidad a fin de obtener el valor de C:N requerido dentro del rango.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} M_i C_i \%S_i}{\sum_{i=1}^{i=n} M_i N_i \%S_i} \dots\dots\dots (1.1)$$

- Donde:
- R : Razón Carbono / Nitrógeno de la mezcla
 - M : Masa del material i en kg.
 - C : Carbono Orgánico Total del material i en %
 - N : Nitrógeno Total del material i en %
 - %S: Porcentaje de materia seca (%)

V. HIPOTESIS Y OBJETIVOS.

a. Hipótesis :

Trasformar, por medio del compostaje (tratamiento aerobio), un material de desecho con alta carga del tipo orgánico y patógeno (lodos de desecho) en un sustrato utilizable para mejoramiento de suelos agrícolas.

b. Objetivos :

- **Generales :**

- I. Presentar al composteo como un método alternativo y viable para el tratamiento de lodos residuales.
- II. Comprobar que el composteo es un proceso por medio del cual se puede obtener un producto parecido a un sustrato orgánico
- III. Comprobar que la compost sirve para el desarrollo de vegetales
- IV. Evaluar los riesgos para la salud que puedan presentar los vegetales desarrollados.

- **Específicos :**

- I. La conversión biológica del material orgánico putrescible en un compuesto estable.
- II. La destrucción de patógenos o reducción considerable.
- III. Comparar los resultados de todo el proceso aplicado a los lodos provenientes del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A), de las lagunas facultativas y de los estanques y ver cual produce un mejor sustrato orgánico.

VI. TRABAJO EXPERIMENTAL

1.0 MATERIALES DE LA PILA

1.1 Lodo Residual

El lodo residual será obtenido de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales perteneciente a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNITRAR).

Esta planta de tratamiento está ubicada en el distrito de Independencia y capta las aguas residuales de la red de alcantarillado de SEDAPAL, provenientes de los asentamientos humanos de El Ángel y El Milagro.

Las aguas crudas son sometidas a tratamiento por procesos anaerobios y aerobios. Los lodos provenientes del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente, las Lagunas Facultativas y los estanques son transferidos y almacenados en el lecho de secado donde se produce su deshidratación en forma natural.

Se tomará una muestra representativa de lodos provenientes del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), otra de las lagunas facultativas y finalmente de los estanques utilizados para la cría de peces. Se evaluará el proceso de compostaje en cada una de las muestras por separado.

1.2 Material de soporte, acondicionamiento o llenante.

Para el presente estudio se empleó follaje del tipo broza de espárrago y residuos vegetales obtenidos por la poda de jardines. Se optó por este material debido a su constitución química, es decir, son ricos en celulosa (carbono) y también tienen nitrógeno. También porque son materiales de fácil acceso, abundantes y económicos, lo cual le dan un carácter viable al presente trabajo de investigación.



Foto 1: Residuos vegetales obtenidos por la poda de jardines



Foto 2: Follaje del tipo broza de espárrago

2.0 ANÁLISIS:

Todos los análisis de tipo físicos, microbiológicos y parasitológicos fueron realizados en los modernos laboratorios de la Universidad Privada Antenor Orrego ubicada en la ciudad de Trujillo. Dichos análisis estuvieron en manos de personal especializado. Los análisis de tipo químico se realizaron en la Universidad Nacional de Trujillo y se hicieron por duplicado, donde se observó que la diferencia entre los resultados es despreciable. En el caso de los análisis microbiológicos también se hicieron por duplicado y si bien es cierto las diferencias entre los resultados no eran significativas, se tomaron las más desfavorables y para la determinación de parásitos se hicieron tres tipos diferentes de análisis, cada uno por duplicado para determinar presencia o ausencia.

3.0 TOMA DE MUESTRA

En la parte inicial del presente trabajo se tomó el equivalente a cuatro litros de muestra de cada uno de los lodos a tratar. Esto con la finalidad de hacer una caracterización inicial del tipo microbiológico, parasitológico y químico de tal forma de conocer las condiciones iniciales.



Foto 3: Muestras de cuatro litros para caracterización inicial.

Posteriormente, cuando ya se hizo el diseño de las pilas, se tomaron el equivalente a diez galones de muestra de cada uno de los lodos a tratar ya para efectuar el proceso del compostaje.



Foto 4: Toma de muestra de los lodos del R.A.F.A a $h=1.50$ m



Foto 5: Toma de muestra en las Lagunas Facultativas en diferentes puntos.



Foto 6: Toma de muestra en el Estanque de peces.

3.1.- Materiales empleados

- 3 galoneras de 4 litros cada una.
- 6 galoneras de 5 galones cada una.
- 2 pares de guantes de hule.
- 1 embudo grande de plástico.
- 1 balde de plástico de 4 litros.
- 1 extensión para toma de muestra con botellas de vidrio.
- 1 cinta adhesiva.
- 1 par de botas musleras.
- 1 rollo de papel toalla.
- 1 paquete de 10 unidades de bolsas de plástico.
- 1 plumón de tinta indeleble.
- 1 balsa.

4.0 METODOLOGIA APLICADA

a).- Dentro de las determinaciones químicas realizadas se consideraron:

- Nitrógeno Total
- Carbono Orgánico Total
- pH
- Conductividad Eléctrica (Presencia de sales minerales).

Para los cuales se emplearon las metodologías descrita en la tabla 2:

Tabla 2: Metodologías empleadas para determinaciones químicas y físicas.

Parámetro	Método Analítico
Nitrógeno Total	Método de <i>KJELDAHL</i>
Carbono Orgánico Total	Método Volumétrico, combustión directa en corriente de oxígeno.
pH	Preparación de la muestra relación lodo agua 1:2 y extracto de saturación (Richards, 1974) y análisis potenciométrico.
Conductividad Eléctrica	Preparación de la muestra relación lodo agua 1:2 y extracto de saturación (Richards, 1974) y análisis con conductímetro.
% de materia seca	Secado de muestra y toma de diferencia de peso de la misma.

b).- Con respecto a los análisis microbiológicos y parasitológicos se consideraron:

- Inspección preliminar de microorganismos.
- Coliformes Totales NMP / 100 ml.
- Coliformes Termo tolerantes NMP / 100 ml.
- Presencia o ausencia de parásitos.

Para los cuales se emplearon las metodologías descritas en la tabla 3:

Tabla 3: Metodologías empleadas para análisis microbiológico y parasitológico.

Parámetro	Metodología
Inspección Preliminar	Inspección Directa al Microscopio y coloración GRAM
Coliformes Totales	Recuento mediante fermentación en tubos múltiples (NMP)
Coliformes Termo tolerantes	Recuento mediante fermentación en tubos múltiples (NMP)
Presencia o ausencia de Parásitos	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección directa al microscopio • Aislamiento mediante solución salina • Centrifugación de muestra e identificación directa.

5.0 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL

5.1 Determinaciones Químicas y Físicas.

Los resultados de las determinaciones químicas y físicas iniciales se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4: Resultados de las determinaciones químicas y físicas iniciales.

Determinaciones Muestra	N.Total. %	C. total %	pH	Materia Seca %	C.E. (miliciemens / cm)
M1 (R.A.F.A)	6.51	45.31	5.61	11.55	2.8 mC/cm
M2 (Laguna Facultativa)	4.93	21.97	6.23	11.18	3.1 mC/cm
M3 (Estanque de Peces)	5.05	36.28	6.38	6.26	2.8 mC/cm
M4 (Poda de Pasto)	1.59	77.26	—	87.32	—
M5 (Broza de espárrago)	2.02	70.00	—	70.29	—

5.2 Análisis Microbiológicos y parasitológicos.

- **Inspección preliminar – Inspección directa:**

Lo que se encontró fue:

1. Muestra M1 proveniente del R.A.F.A.:

- Del tipo parasitológico:
 - i. Huevos de Ascaris (en muy poca concentración max 1 por campo)
 - ii. Huevos de Trichuris (en muy poca concentración max 1 por campo)
 - iii. Huevo de Tenia (en muy poca concentración max 1 por campo)
- Protozoos:
 - i. Quistes de Giardia (en muy poca concentración max 2 por campo)
- Algunos hongos
- Una pequeña variedad de larvas donde predomina la larva de Ascaris.

2. Muestra M2 proveniente de la Laguna Facultativa:

- Del tipo parasitológico:
 - i. Huevos de Uncinaria (en muy poca concentración max 1 por campo)
- Protozoos:
 - i. Quistes de Entamoeba Coli
 - ii. Quistes de Giardia
 - iii. Paramecium (común en aguas estancadas)
 - iv. Balantidium coli
- Algas :
 - i. Euglena
 - ii. Diatomeas
 - iii. Borticela

- iv. Decmilia
- v. Chlammydomona
- vi. Boricera
- Algunos Acaros (en muy pequeña concentración)
- Una pequeña variedad de larvas.

3. Muestra M3 proveniente del Estanque de Peces:

- Del tipo parasitologico:
 - i. Huevos de Uncinaria (en muy poca concentración max 1 por campo)
- Protozoos:
 - i. Quistes de Entamoeba Coli
 - ii. Paramecium
 - iii. Ameba
- Algas:
 - i. Chlammydomona
 - ii. Diatomea
 - iii. Chaetoceros (clorofita)
 - iv. Agmenelum (clorofita)
 - v. Phafus

- **Inspección preliminar – Coloración Gram.:**

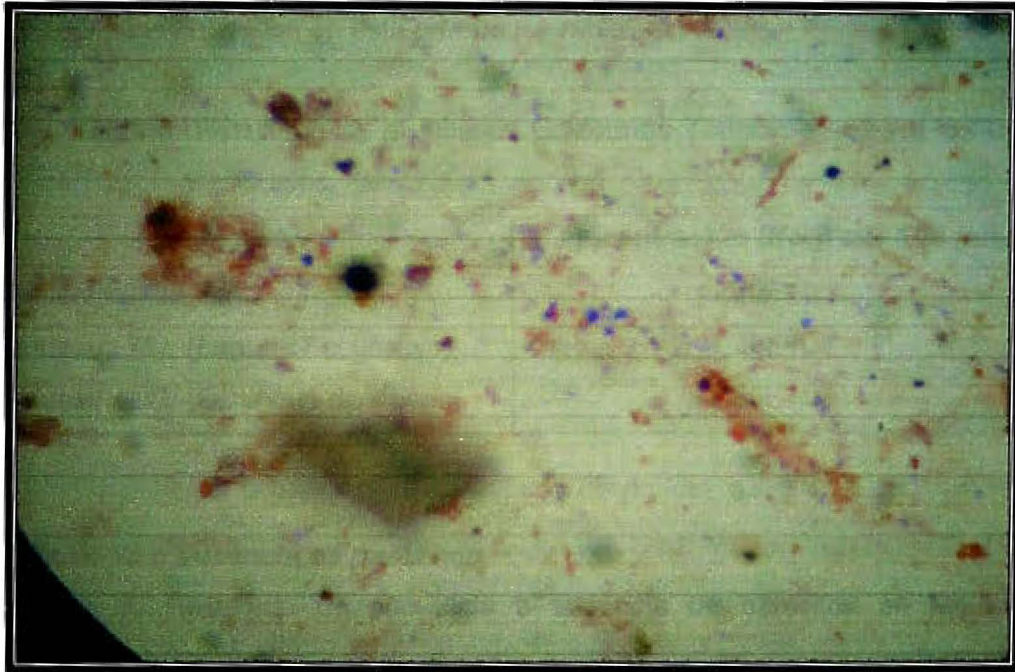


Foto 7: En la observación microscópica por medio del lente de inmersión se distinguen las colonias de bacterias Gram Positivas (coloración morada) y Gram Negativas (coloración rosada).

- **Coliformes Totales:**

Los resultados obtenidos en esta prueba microbiológica fueron los siguientes:

Tabla 5: Resultado de la prueba de Coliformes Totales a los lodos residuales.

Muestra	Concentración (NMP por 100 ml)
Muestra M1 (R.A.F.A)	1.60E+10
Muestra M2 (Laguna Facultativa)	2.80E+08
Muestra M3 (Estanque de Peces)	3.50E+06

- **Coliformes Termotolerantes:**

Los resultados obtenidos en esta prueba microbiológica fueron los siguientes:

Tabla 6: Resultado de prueba de Coliformes Termotolerantes a los lodos residuales.

Muestra	Concentración (NMP por 100 ml)
Muestra M1 (R.A.F.A)	1.60E+05
Muestra M2 (Laguna Facultativa)	1.30E+04
Muestra M3 (Estanque de Peces)	3.30E+03

- **Presencia o ausencia de parásitos**

Tabla 7: Resultado de presencia o ausencia de parásitos en los lodos residuales.

Muestra	Presencia
Muestra M1 (R.A.F.A)	<ul style="list-style-type: none"> • Huevos de Ascaris • Huevos de Trichuris • Huevo de Tenia
Muestra M2 (Laguna Facultativa)	<ul style="list-style-type: none"> • Huevos de Uncinaria
Muestra M3 (Estanque de Peces)	<ul style="list-style-type: none"> • Huevos de Uncinaria

6.0 UBICACIÓN

Las pilas estuvieron ubicadas en el área de hidroponía de la Universidad Nacional de Trujillo, estas estuvieron sobre tierra en una zona que las protegía del intemperismo. Se realizó sobre tierra debido a que eso facilita la presencia de algunos microorganismos de importancia como lo son los Actinomyces, microorganismos que se encuentran de manera natural en el suelo y algunos otros organismos de menor incidencia pero también de importancia.



Foto 8: Área donde se instalaron las pilas.

7.0 CODIFICACIÓN DE LAS PILAS

Se realizaron tres repeticiones por cada tipo de tratamiento, es decir que en total fueron nueve pilas a nivel de laboratorio.

a).- Justificación de las repeticiones:

Se hicieron tres repeticiones por cada tratamiento con la finalidad de que en caso los resultados de proceso sean satisfactorios, poder aplicar una fórmula estadística y poder obtener así la confiabilidad del proceso.

Para codificar las pilas se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- M1: simboliza la muestra uno (1) que es el lodo del R.A.F.A.
- M2: simboliza la muestra dos (2) que es el lodo de las Lagunas Facultativas.
- M3: simboliza la muestra tres (3) que es el lodo del Estanque de cría de peces.

Siendo así, la codificación que se le dio a las pilas es la siguiente:

- M1-1 : primera repetición de la muestra 1
- M1-2 : segunda repetición de la muestra 1
- M1-3 : tercera repetición de la muestra 1
- M2-1 : primera repetición de la muestra 2
- M2-2 : segunda repetición de la muestra 2
- M2-3 : tercera repetición de la muestra 2
- M3-1 : primera repetición de la muestra 3
- M3-2 : segunda repetición de la muestra 3
- M3-3 : tercera repetición de la muestra 3



Foto 9: Codificación de las pilas.

8.0 DISEÑO DE LA PILA

El montaje de las pilas se realizó mezclando el lodo residual y el material de soporte teniendo en cuenta la humedad y la relación carbono / nitrógeno de la mezcla, según lo descrito en el marco teórico.

Tabla 8: Relación de transformación de los materiales de las mezcla.

Material	Carbono (% peso seco)	Nitrógeno (% peso seco)	Razón C:N
M1 (R.A.F.A)	45.31	6.51	6.96
M2(Laguna Facultativa)	21.97	4.935	4.45
M3(Estanque de Peces)	36.28	5.053	7.18
M4 (Poda de pasto)	77.26	1.59	48.59
M5(Broza de espárrago)	70.00	2.02	34.65

Empleando la ecuación 1.1 descrita en el ítem 11 del Marco Teórico se probaron valores de masa expresados en kilogramos de cada material a mezclar, de tal forma que se cumplan una relación de transformación apropiada en la mezcla. Dicha relación de transformación de mezcla esta representada por la letra "R".

Tabla 9: Prueba de valores para determinar el diseño de mezcla de las pilas donde se empleará el lodo procedente del R.A.F.A.

ITER.	R	LODO DEL RAFA				PODA DE PASTO				BROZA DE ESPARRAGO			
		C1(%)	N1(%)	M1(kg)	S1(%)	C4(%)	N4(%)	M4(kg)	S4(%)	C5(%)	N5(%)	M5(kg)	S5(%)
1	29.64	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	25.00	70.29
2	30.82	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	35.00	70.29
3	31.56	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	45.00	70.29
4	32.05	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	55.00	70.29
5	32.41	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	65.00	70.29
6	32.69	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	75.00	70.29
7	32.90	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	85.00	70.29
8	33.07	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	95.00	70.29
9	33.21	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	105.00	70.29
10	33.33	45.31	6.51	12.00	11.55	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	115.00	70.29

Donde :

- ITER : Iteraciones
- R : Relación de transformación de la mezcla.

- C1 : Carbono Orgánico Total de la muestra 1.
- N1 : Nitrógeno Total de la muestra 1.
- M1 : Peso de la muestra 1.
- S1 : Porcentaje de masa seca de la muestra 1.
- C4 : Carbono Orgánico Total de la Poda de pasto.
- N4 : Nitrógeno Total de la Poda de pasto.
- M4 : Peso de la Poda de pasto.
- S4 : Porcentaje de masa seca de la Poda de pasto.
- C5 : Carbono Orgánico Total de la Broza de espárrago.
- N5 : Nitrógeno Total de la Broza de espárrago.
- M5 : Peso de la Broza de espárrago.
- S5 : Porcentaje de masa seca de la Broza de espárrago.

Tabla 10: Prueba de valores para determinar el diseño de mezcla de las pilas donde se empleará el lodo procedente de las Lagunas Facultativas.

ITER.	R	LODO DE LA LAGUNA FACULTATIVA				PODA DE PASTO				BROZA DE ESPARRAGO			
		C2(%)	N2(%)	M2(kg)	S2(%)	C4(%)	N4(%)	M4(kg)	S4(%)	C5(%)	N5(%)	M5(kg)	S5(%)
1	30.51	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	25.00	70.29
2	31.53	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	35.00	70.29
3	32.15	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	45.00	70.29
4	32.56	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	55.00	70.29
5	32.86	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	65.00	70.29
6	33.08	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	75.00	70.29
7	33.25	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	85.00	70.29
8	33.39	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	95.00	70.29
9	33.51	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	105.00	70.29
10	33.60	21.97	4.94	12.00	11.18	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	115.00	70.29

Donde :

- ITER : Iteraciones
- R : Relación de transformación de la mezcla.
- C2 : Carbono Orgánico Total de la muestra 2.
- N2 : Nitrógeno Total de la muestra 2.
- M2 : Peso de la muestra 2.
- S2 : Porcentaje de masa seca de la muestra 2.
- C4 : Carbono Orgánico Total de la Poda de pasto.
- N4 : Nitrógeno Total de la Poda de pasto.
- M4 : Peso de la Poda de pasto.
- S4 : Porcentaje de masa seca de la Poda de pasto.
- C5 : Carbono Orgánico Total de la Broza de espárrago.

- N5 : Nitrógeno Total de la Broza de espárrago.
- M5 : Peso de la Broza de espárrago.
- S5 : Porcentaje de masa seca de la Broza de espárrago

Tabla 11: Prueba de valores para determinar el diseño de mezcla de las pilas donde se empleará el lodo procedente de los Estanques de cría de peces.

ITER.	R	LODO DEL ESTANQUE DE PECES				PODA DE PASTO				BROZA DE ESPARRAGO			
		C3(%)	N3(%)	M3(kg)	S3(%)	C4(%)	N4(%)	M4(kg)	S4(%)	C5(%)	N5(%)	M5(kg)	S5(%)
1	32.37	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	25.00	70.29
2	32.96	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	35.00	70.29
3	33.31	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	45.00	70.29
4	33.54	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	55.00	70.29
5	33.70	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	65.00	70.29
6	33.82	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	75.00	70.29
7	33.92	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	85.00	70.29
8	33.99	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	95.00	70.29
9	34.05	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	105.00	70.29
10	34.10	36.28	5.05	13.00	6.26	77.26	1.59	1.00	87.32	70.01	2.02	115.00	70.29

Donde :

- ITER : Iteraciones
- R : Relación de transformación de la mezcla.
- C3 : Carbono Orgánico Total de la muestra 2.
- N3 : Nitrógeno Total de la muestra 2.
- M3 : Peso de la muestra 2.
- S3 : Porcentaje de masa seca de la muestra 2.
- C4 : Carbono Orgánico Total de la Poda de pasto.
- N4 : Nitrógeno Total de la Poda de pasto.
- M4 : Peso de la Poda de pasto.
- S4 : Porcentaje de masa seca de la Poda de pasto.
- C5 : Carbono Orgánico Total de la Broza de espárrago.
- N5 : Nitrógeno Total de la Broza de espárrago.
- M5 : Peso de la Broza de espárrago.
- S5 : Porcentaje de masa seca de la Broza de espárrago

Como se puede apreciar en las tablas 9,10 y 11, se ha optado por utilizar 1 kg de poda de pasto y 25 kg de broza de espárrago, obteniéndose una relación de transformación en las pilas que oscila entre 29.64 y 32.37, datos que se encuentran dentro del rango recomendado de 25 a 35 por **Jairo Alberto Romero Rojas (Febrero 2004)**. Debemos recordar que estos datos de relación de transformación son teóricos ya que están siendo calculados utilizando una formula empírica.

Se concluye que la relación de transformación teórica "R" con la cual empiezan en el proceso de compostaje son:

- 29.64 para las pilas diseñadas con el lodo del R.A.F.A
- 30.51 para las pilas diseñadas con el lodo de las Lagunas Facultativas.
- 32.37 para las pilas diseñadas con el lodo del estanque de cría de peces.

Tabla 12: Composición de las pilas M1-1, M1-2, M1-3

Material	Masa (Kg.)	% del material (en base húmeda)	% del material (en base seca)
M1 (R.A.F.A)	12	31.6	6.99
M4 (Poda de pasto)	1	2.6	4.4
M5(Broza de espárrago)	25	65.8	88.61

Tabla 13 Composición de las pilas M2-1, M2-2, M2-3

Material	Masa (Kg.)	% del material (en base húmeda)	% del material (en base seca)
M2 (Laguna Facultativa)	12	31.6	6.78
M4 (Poda de pasto)	1	2.6	4.42
M5(Broza de espárrago)	25	65.8	88.80

Tabla 14: Composición de las pilas M3-1, M3-2, M3-3

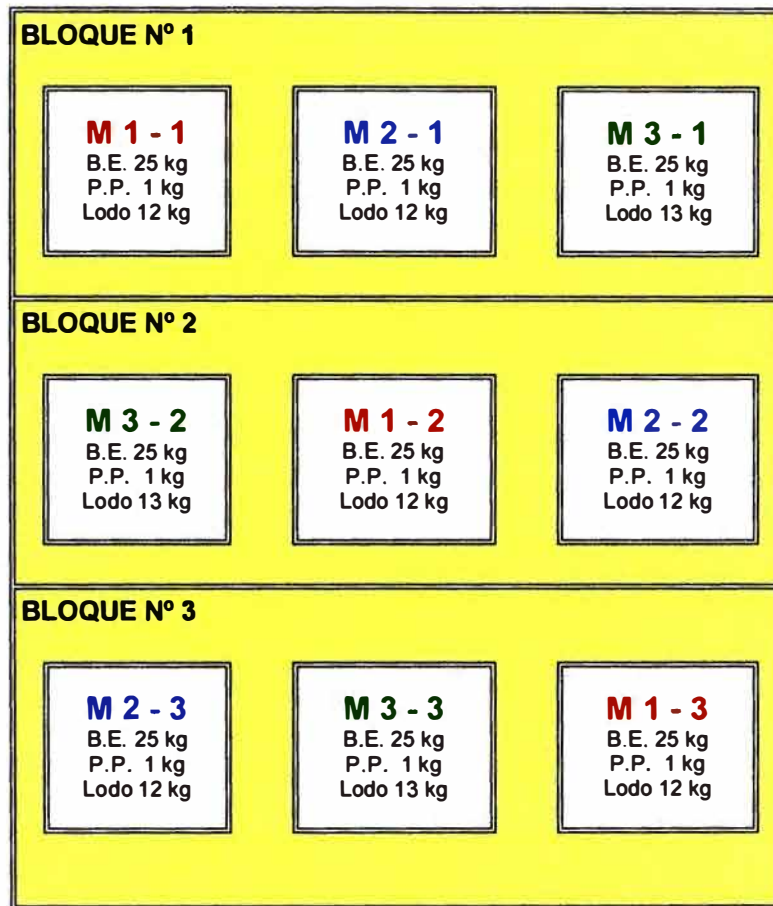
Material	Masa (Kg.)	% del material (en base húmeda)	% del material (en base seca)
M3 (Estanque de Peces)	13	33.3	4.23
M4 (Poda de pasto)	1	2.6	4.53
M5(Broza de espárrago)	25	64.1	91.24

9.0 DISTRIBUCION DE LAS PILAS.

Las pilas fueron distribuidas totalmente al azar, con el objetivo de minimizar cual posible parámetro del medio ambiente que pueda beneficiar o no a algún tratamiento, esto con la finalidad de poder comparar los resultados obtenidos con mayor confiabilidad.



Foto 10: Distribución de las pilas.



Donde :

- M1-1 : Primera repetición de la muestra 1
- M1-2 : Segunda repetición de la muestra 1
- M1-3 : Tercera repetición de la muestra 1
- M2-1 : Primera repetición de la muestra 2
- M2-2 : Segunda repetición de la muestra 2
- M2-3 : Tercera repetición de la muestra 2
- M3-1 : Primera repetición de la muestra 3
- M3-2 : Segunda repetición de la muestra 3
- M3-3 : Tercera repetición de la muestra 3
- B.E. : Broza de espárrago.
- P.P. : Poda de pasto.
- Lodo : Lodo residual.

Figura 3. Distribución de las pilas en el suelo.

10.0 PARAMETROS CONTROLADOS DURANTE EL PROCESO

Durante el proceso del compostaje se controló la temperatura ambiental, la temperatura interna de la pila, la humedad y la aireación por medio del volteo.

10.1 Temperatura ambiental y temperatura interna de la pila.

Se procuró que la toma de temperaturas fuera todos los días. Para poder obtener un dato más certero de la temperatura interna de la pila, esta se tomó en 5 puntos; una en la parte central y una a cada lado de la misma, obteniendo así la temperatura promedio.

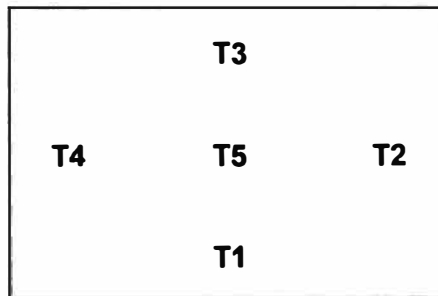


Figura 4. Aca se representa los 5 puntos de toma de temperatura en cada pila

Se realizó la toma de temperatura durante 105 días, tiempo que duró el proceso de compostaje. Como resultado de esta toma de temperaturas se obtuvo la siguiente información:

a) Pila " M1-1 "

Grafico 1 : Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M1-1 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo.

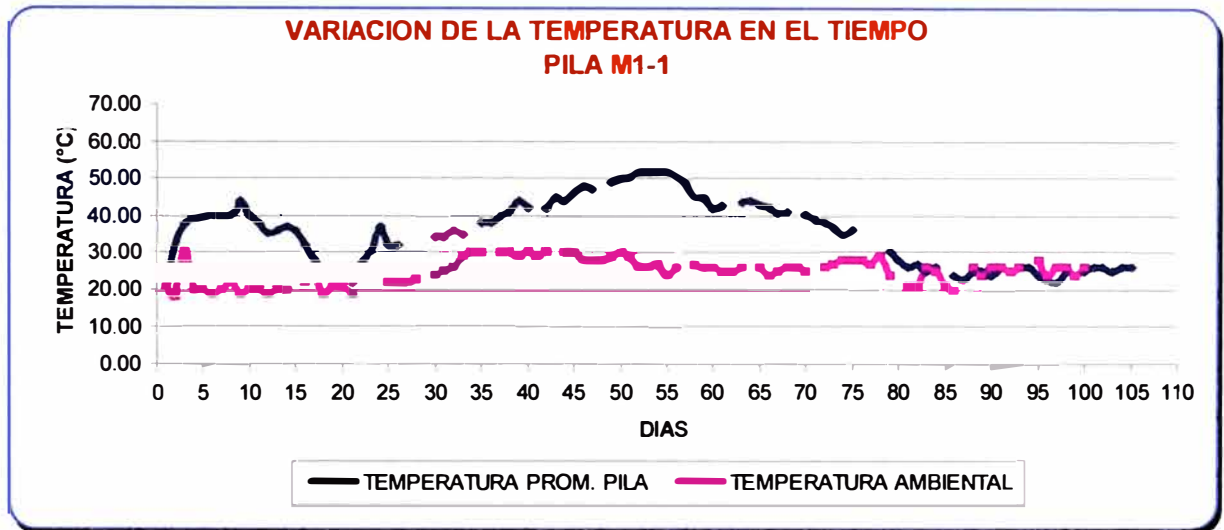


Tabla 15: Temperaturas tomadas en la pila M1-1.

PILA M1-1										
DIA	FECHA	TEMP. AMB °C.	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
1	16-Oct	21	10:00 a.m.	21.00	24.00	22.00	21.00	21.00	21.80	DIA DE INICIO
3	19-Oct	18	10:00 a.m.	39.00	38.00	38.00	37.00	36.00	37.60	
8	24-Oct	30	10:00 a.m.	41.00	43.00	38.00	42.00	38.00	40.40	
9	25-Oct	20	10:00 a.m.	43.00	46.00	43.00	43.00	45.00	44.00	
10	26-Oct	20	10:00 a.m.	40.00	39.00	40.00	39.00	42.00	40.00	
11	27-Oct	19	10:00 a.m.	37.00	36.00	39.00	39.00	38.00	37.80	
12	28-Oct	20	10:00 a.m.	34.00	35.00	36.00	35.00	36.00	35.20	
13	29-Oct	22	10:00 a.m.	35.00	34.00	38.00	36.00	37.00	36.00	DOMINGO
14	30-Oct	19	10:00 a.m.	36.00	37.00	36.50	38.00	38.00	37.10	
15	31-Oct	20	10:00 a.m.	35.50	36.00	37.00	36.50	35.00	36.00	
16	01-Nov	20	10:00 a.m.	32.00	31.50	33.00	31.00	32.00	31.90	
17	02-Nov	19	10:00 a.m.	27.50	27.00	29.00	28.00	28.00	27.90	
18	03-Nov	20	10:00 a.m.	24.00	25.00	24.50	26.00	26.00	25.10	
19	04-Nov	20	10:00 a.m.	21.00	22.00	22.00	22.00	22.50	21.90	
20	05-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
21	06-Nov	22	12:00 p.m.	22.00	22.00	21.00	21.00	22.00	21.60	Colocación plásticos
22	07-Nov	24	12:00 p.m.	26.00	27.50	27.00	26.00	28.00	26.90	

PILA M1-1										
DIA	FECHA	TEMP. AMB °C.	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
67	22-Dic	25	12:00 p.m.	40.00	41.00	41.00	40.50	40.00	40.50	
68	23-Dic	26	12:00 p.m.	40.50	41.20	41.00	41.00	41.40	41.02	
69	24-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
70	25-Dic	26	12:00 p.m.	40.00	41.00	39.50	40.00	41.00	40.30	
71	26-Dic	24	12:00 p.m.	39.60	38.50	39.00	38.20	39.00	38.86	
72	27-Dic	25	12:00 p.m.	38.50	38.00	37.60	38.00	38.60	38.14	
73	28-Dic	26	12:00 p.m.	37.00	36.80	37.60	37.00	36.80	37.04	
74	29-Dic	26	12:00 p.m.	34.60	35.00	35.00	35.90	34.50	35.00	
75	30-Dic	25	12:00 p.m.	35.50	36.00	36.40	36.00	36.60	36.10	
76	31-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
77	01-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
78	02-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
79	03-Ene	28	12:00 p.m.	30.00	30.20	30.00	30.40	29.50	30.02	
80	04-Ene	28	12:00 p.m.	27.50	28.00	28.60	28.00	27.80	27.98	
81	05-Ene	28	12:00 p.m.	26.00	26.00	25.40	26.40	26.00	25.96	
82	06-Ene	27	12:00 p.m.	26.40	27.00	27.60	26.70	27.40	27.02	
83	07-Ene	29	12:00 p.m.	25.00	25.00	25.40	24.80	25.00	25.04	
84	08-Ene	24	12:00 p.m.	26.00	26.00	25.80	26.00	26.40	26.04	
85	09-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
86	10-Ene	21	12:00 p.m.	23.80	23.40	24.00	24.50	24.80	24.10	
87	11-Ene	21	12:00 p.m.	23.00	22.80	23.50	22.70	23.00	23.00	
88	12-Ene	26	12:00 p.m.	24.50	24.80	25.00	25.40	25.60	25.06	
89	13-Ene	25	12:00 p.m.	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
90	14-Ene	21	12:00 p.m.	24.00	24.50	23.80	24.00	24.00	24.06	
91	15-Ene	20	12:00 p.m.	26.40	25.80	26.00	25.90	26.00	26.02	
92	16-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
93	17-Ene	26	12:00 p.m.	25.60	26.00	26.20	25.80	26.50	26.02	
94	18-Ene	24	12:00 p.m.	26.20	26.00	25.40	26.00	26.40	26.00	
95	19-Ene	26	12:00 p.m.	24.20	23.80	23.90	24.30	24.00	24.04	
96	20-Ene	26	12:00 p.m.	23.20	23.00	22.90	23.00	23.00	23.02	
97	21-Ene	25	12:00 p.m.	22.00	22.20	21.80	22.00	22.10	22.02	
98	22-Ene	26	12:00 p.m.	24.90	24.80	24.90	25.00	25.40	25.00	
99	23-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
100	24-Ene	28	12:00 p.m.	24.80	25.00	25.20	25.00	25.00	25.00	
101	25-Ene	24	12:00 p.m.	25.90	26.00	26.20	25.80	26.30	26.04	
102	26-Ene	26	12:00 p.m.	26.10	26.00	25.80	26.00	26.00	25.98	
103	27-Ene	26	12:00 p.m.	25.40	24.80	25.00	24.60	25.40	25.04	
104	28-Ene	24	12:00 p.m.	26.10	26.00	26.00	26.10	25.80	26.00	
105	29-Ene	26	12:00 p.m.	26.00	26.20	26.20	25.80	25.90	26.02	

* SL : Sin lectura de temperatura.

b) Pila " M1-2 "

Grafico 2 : Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M1-2 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo.

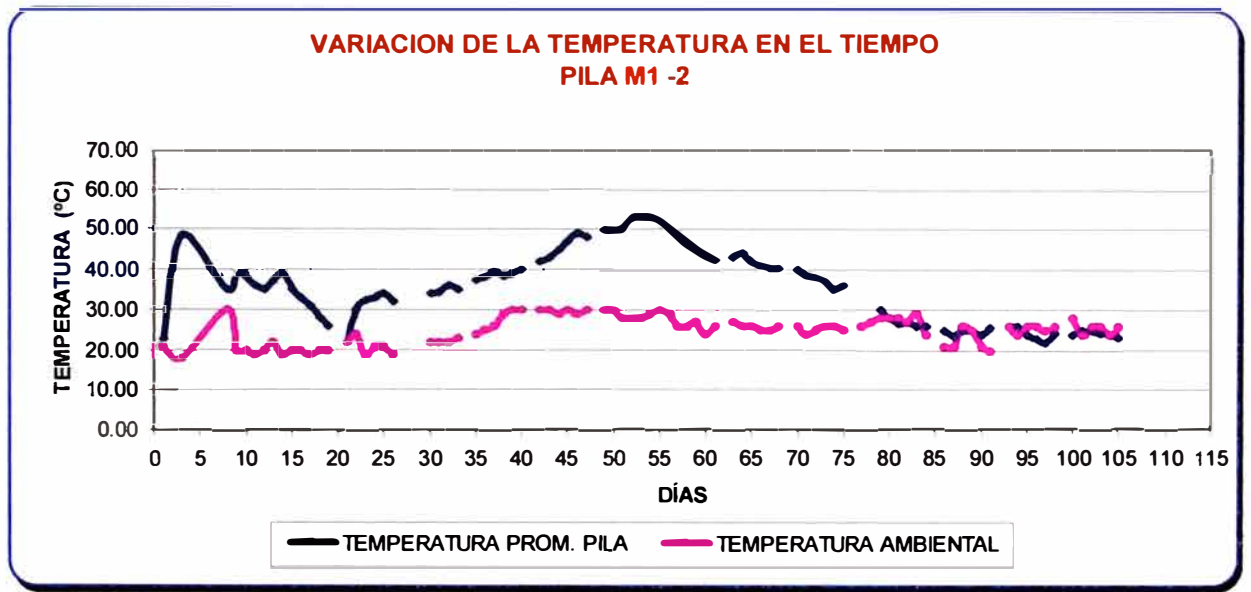


Tabla 16: Temperaturas tomadas en la pila M1-2.

PILA M1-2										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
1	16-Oct	21	10:00 a.m.	24.00	22.00	22.00	20.00	24.00	22.40	DIA DE INICIO
3	19-Oct	18	10:00 a.m.	50.00	48.00	48.00	46.00	50.00	48.40	
8	24-Oct	30	10:00 a.m.	38.00	38.00	32.00	32.00	35.00	35.00	
9	25-Oct	20	10:00 a.m.	40.00	40.50	38.00	36.00	41.00	39.10	
10	26-Oct	20	10:00 a.m.	38.00	38.50	37.90	37.80	38.00	38.04	
11	27-Oct	19	10:00 a.m.	36.00	36.50	35.80	36.00	35.90	36.04	
12	28-Oct	20	10:00 a.m.	35.20	35.10	35.00	34.80	35.00	35.02	
13	29-Oct	22	10:00 a.m.	37.00	37.00	36.70	36.80	37.00	36.90	DOMINGO
14	30-Oct	19	10:00 a.m.	38.40	39.00	39.00	38.70	39.40	38.90	
15	31-Oct	20	10:00 a.m.	35.00	35.80	34.90	34.70	35.00	35.08	
16	01-Nov	20	10:00 a.m.	32.50	33.00	33.00	33.00	33.50	33.00	
17	02-Nov	19	10:00 a.m.	31.00	31.10	30.90	30.70	31.50	31.04	
18	03-Nov	20	10:00 a.m.	27.50	27.90	28.00	28.40	28.00	27.96	
19	04-Nov	20	10:00 a.m.	26.00	26.00	25.40	26.30	26.00	25.94	
20	05-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
21	06-Nov	22	12:00 p.m.	22.00	21.60	22.30	22.00	22.10	22.00	Colocación plásticos

PILA M1-2										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
22	07-Nov	24	12:00 p.m.	29.50	30.20	30.00	30.50	29.80	30.00	
23	08-Nov	19	12:00 p.m.	32.50	32.00	32.00	32.10	32.50	32.22	
24	09-Nov	21	4:30 p.m.	33.00	33.10	32.80	32.50	33.10	32.90	
25	10-Nov	21	10:30 a.m.	33.80	34.20	33.90	34.00	34.00	33.98	
26	11-Nov	19	10:30 a.m.	32.10	32.20	31.80	31.90	32.00	32.00	
27	12-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
28	13-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
29	14-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
30	15-Nov	22	10:30 a.m.	33.50	33.90	34.10	34.00	34.00	33.90	
31	16-Nov	22	10:30 a.m.	34.00	34.50	34.20	34.00	34.10	34.16	
32	17-Nov	22	10:30 a.m.	36.50	36.00	36.20	35.90	35.90	36.10	
33	18-Nov	23	10:30 a.m.	35.00	35.20	34.80	35.00	35.10	35.02	
34	19-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
35	20-Nov	24	12:30 p.m.	37.50	37.40	37.00	37.50	38.00	37.48	
36	21-Nov	25	12:30 p.m.	37.90	38.00	37.80	38.10	38.40	38.04	
37	22-Nov	26	12:30 p.m.	39.50	39.40	39.00	39.80	39.40	39.42	
38	23-Nov	29	12:30 p.m.	38.30	38.40	38.60	38.40	38.50	38.44	
39	24-Nov	30	12:30 p.m.	38.90	38.80	39.00	39.20	39.40	39.06	
40	25-Nov	30	12:30 p.m.	39.80	40.20	40.00	40.00	40.40	40.08	
41	26-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
42	27-Nov	30	12:30 p.m.	41.80	41.70	42.50	42.00	42.30	42.06	
43	28-Nov	30	12:30 p.m.	42.70	43.50	43.00	42.90	42.90	43.00	
44	29-Nov	29	12:30 p.m.	45.00	45.20	45.10	45.30	45.00	45.12	
45	30-Nov	30	12:30 p.m.	47.20	47.30	47.00	47.50	46.80	47.16	
46	01-Dic	29	12:30 p.m.	49.40	48.90	49.50	49.40	48.50	49.14	
47	02-Dic	30	12:30 p.m.	48.10	47.60	47.80	48.00	48.50	48.00	
48	03-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
49	04-Dic	30	12:30 p.m.	49.80	49.60	49.50	49.70	49.60	49.64	
50	05-Dic	30	12:30 p.m.	49.80	50.40	50.10	50.00	50.00	50.06	
51	06-Dic	28	12:30 p.m.	50.10	50.60	49.80	49.70	50.40	50.12	
52	07-Dic	28	12:30 p.m.	52.90	53.40	53.00	53.10	52.90	53.08	PICO EN TEMP.
53	08-Dic	28	12:30 p.m.	53.10	53.10	53.00	52.80	52.80	52.98	PICO EN TEMP.
54	09-Dic	29	12:30 p.m.	52.90	53.40	53.50	53.20	53.30	53.28	PICO EN TEMP.
55	10-Dic	30	12:30 p.m.	52.10	52.00	52.30	51.80	52.00	52.04	DOMINGO
56	11-Dic	29	12:30 p.m.	49.50	50.00	50.10	50.30	50.40	50.06	
57	12-Dic	26	12:30 p.m.	48.50	48.40	48.00	48.20	48.50	48.32	
58	13-Dic	26	12:30 p.m.	46.00	46.00	46.20	45.80	46.30	46.06	
59	14-Dic	27	12:30 p.m.	45.00	45.50	45.10	44.90	45.00	45.10	
60	15-Dic	24	10:00 a.m.	43.10	43.00	43.50	43.70	43.60	43.38	
61	16-Dic	26	10:00 a.m.	42.50	42.60	42.10	41.90	42.80	42.38	
62	17-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
63	18-Dic	27	12:00 p.m.	43.10	43.50	42.50	42.90	43.00	43.00	
64	19-Dic	26	12:00 p.m.	44.30	44.00	44.10	43.80	43.70	43.98	
65	20-Dic	26	12:00 p.m.	41.90	42.00	42.30	42.00	42.40	42.12	

PILA M1-2										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
66	21-Dic	25	12:00 p.m.	40.90	41.00	41.30	41.40	41.20	41.16	
67	22-Dic	25	12:00 p.m.	40.00	40.10	39.70	40.80	40.90	40.30	
68	23-Dic	26	12:00 p.m.	39.90	40.10	40.00	41.00	40.50	40.30	
69	24-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
70	25-Dic	26	12:00 p.m.	40.00	39.80	39.90	40.20	40.50	40.08	
71	26-Dic	24	12:00 p.m.	38.80	38.10	38.40	38.60	38.90	38.56	
72	27-Dic	25	12:00 p.m.	38.10	37.90	37.80	38.20	38.30	38.06	
73	28-Dic	26	12:00 p.m.	37.00	36.80	37.20	37.00	36.80	36.96	
74	29-Dic	26	12:00 p.m.	34.80	35.00	35.20	34.80	34.90	34.94	
75	30-Dic	25	12:00 p.m.	36.10	35.90	35.80	35.70	35.80	35.86	
76	31-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
77	01-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
78	02-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
79	03-Ene	28	12:00 p.m.	29.80	29.90	30.00	30.00	30.00	29.94	
80	04-Ene	28	12:00 p.m.	28.10	28.20	27.80	28.00	28.00	28.02	
81	05-Ene	28	12:00 p.m.	26.70	26.80	26.40	26.40	26.70	26.60	
82	06-Ene	27	12:00 p.m.	27.00	27.40	26.80	26.40	27.40	27.00	
83	07-Ene	29	12:00 p.m.	26.10	26.00	25.80	25.80	25.90	25.92	
84	08-Ene	24	12:00 p.m.	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	
85	09-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
86	10-Ene	21	12:00 p.m.	25.30	25.00	25.40	24.80	24.70	25.04	
87	11-Ene	21	12:00 p.m.	23.90	23.40	23.50	23.80	23.10	23.54	
88	12-Ene	26	12:00 p.m.	25.00	24.90	25.30	24.80	25.00	25.00	
89	13-Ene	25	12:00 p.m.	24.80	24.70	25.40	25.00	25.20	25.02	
90	14-Ene	21	12:00 p.m.	24.20	24.00	23.80	23.70	24.10	23.96	
91	15-Ene	20	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.20	25.90	26.00	25.66	
92	16-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
93	17-Ene	26	12:00 p.m.	25.30	25.80	26.00	26.10	25.70	25.78	
94	18-Ene	24	12:00 p.m.	26.00	26.20	25.80	26.00	25.70	25.94	
95	19-Ene	26	12:00 p.m.	23.90	24.00	24.00	24.10	23.80	23.96	
96	20-Ene	26	12:00 p.m.	23.00	22.90	23.00	23.00	23.30	23.04	
97	21-Ene	25	12:00 p.m.	22.10	22.00	21.80	21.90	21.80	21.92	
98	22-Ene	26	12:00 p.m.	24.00	23.80	24.20	24.50	23.90	24.08	
99	23-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
100	24-Ene	28	12:00 p.m.	23.70	24.20	23.90	24.00	23.90	23.94	
101	25-Ene	24	12:00 p.m.	24.80	25.00	25.20	24.70	24.80	24.90	
102	26-Ene	26	12:00 p.m.	25.00	25.20	24.80	24.70	25.30	25.00	
103	27-Ene	26	12:00 p.m.	24.00	24.00	24.30	24.40	23.80	24.10	
104	28-Ene	24	12:00 p.m.	23.90	23.70	24.00	23.80	24.30	23.94	
105	29-Ene	26	12:00 p.m.	23.00	23.20	23.40	22.90	23.00	23.10	

* SL : Sin lectura de temperatura.

PILA M1-3										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
21	06-Nov	22	12:00 p.m.	22.10	22.40	21.80	22.00	22.20	22.10	Colocación plásticos
22	07-Nov	24	12:00 p.m.	26.00	25.40	26.10	25.60	25.90	25.80	
23	08-Nov	19	12:00 p.m.	28.10	28.90	28.70	29.00	28.90	28.72	
24	09-Nov	21	4:30 p.m.	30.00	30.20	29.90	30.40	30.30	30.16	
25	10-Nov	21	10:30 a.m.	31.10	31.80	30.70	31.60	31.00	31.24	
26	11-Nov	19	10:30 a.m.	30.40	30.90	31.30	30.50	31.50	30.92	
27	12-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
28	13-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
29	14-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
30	15-Nov	22	10:30 a.m.	30.80	31.00	31.50	30.90	31.50	31.14	
31	16-Nov	22	10:30 a.m.	34.20	34.60	33.70	33.90	34.00	34.08	
32	17-Nov	22	10:30 a.m.	35.10	34.90	34.60	35.30	35.00	34.98	
33	18-Nov	23	10:30 a.m.	35.20	35.00	34.90	35.70	35.50	35.26	
34	19-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
35	20-Nov	24	12:30 p.m.	36.40	36.00	36.60	36.30	35.90	36.24	
36	21-Nov	25	12:30 p.m.	35.60	36.10	35.80	36.30	36.00	35.96	
37	22-Nov	26	12:30 p.m.	38.10	37.70	38.20	37.80	38.40	38.04	
38	23-Nov	29	12:30 p.m.	39.30	39.00	38.60	39.10	38.70	38.94	
39	24-Nov	30	12:30 p.m.	40.10	40.40	40.90	40.60	40.50	40.50	
40	25-Nov	30	12:30 p.m.	41.40	41.80	41.30	41.00	40.60	41.22	
41	26-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
42	27-Nov	30	12:30 p.m.	42.80	43.30	42.90	43.50	43.20	43.14	
43	28-Nov	30	12:30 p.m.	44.40	44.80	44.30	44.00	43.60	44.22	
44	29-Nov	29	12:30 p.m.	43.90	43.50	44.10	43.80	43.40	43.74	
45	30-Nov	30	12:30 p.m.	43.10	43.70	43.40	43.00	43.50	43.34	
46	01-Dic	29	12:30 p.m.	42.30	42.60	43.10	42.80	42.70	42.70	
47	02-Dic	30	12:30 p.m.	43.40	43.80	43.30	43.00	42.60	43.22	
48	03-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
49	04-Dic	30	12:30 p.m.	43.40	43.80	43.30	43.00	42.60	43.22	
50	05-Dic	30	12:30 p.m.	44.60	44.90	45.40	45.10	45.00	45.00	
51	06-Dic	28	12:30 p.m.	46.60	47.10	46.80	47.30	47.00	46.96	
52	07-Dic	28	12:30 p.m.	50.60	50.20	49.80	50.30	49.90	50.14	PICO EN TEMP.
53	08-Dic	28	12:30 p.m.	49.80	50.40	50.10	49.70	50.20	50.04	PICO EN TEMP.
54	09-Dic	29	12:30 p.m.	49.70	50.10	49.60	49.30	48.90	49.52	PICO EN TEMP.
55	10-Dic	30	12:30 p.m.	49.90	50.40	50.00	50.60	50.30	50.24	PICO EN TEMP.
56	11-Dic	29	12:30 p.m.	48.10	47.70	48.30	48.00	47.60	47.94	
57	12-Dic	26	12:30 p.m.	45.40	45.80	45.00	44.90	45.60	45.34	
58	13-Dic	26	12:30 p.m.	44.60	44.90	45.40	45.10	45.00	45.00	
59	14-Dic	27	12:30 p.m.	43.40	43.80	43.30	43.00	42.60	43.22	
60	15-Dic	24	10:00 a.m.	40.60	40.90	41.40	41.10	41.00	41.00	
61	16-Dic	26	10:00 a.m.	41.60	42.10	41.80	42.30	42.00	41.96	
62	17-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
63	18-Dic	27	12:00 p.m.	42.60	42.90	43.40	43.10	43.00	43.00	
64	19-Dic	26	12:00 p.m.	44.40	44.80	44.00	43.90	44.60	44.34	

PILA M1-3										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
65	20-Dic	26	12:00 p.m.	39.60	40.10	39.70	40.30	40.00	39.94	
66	21-Dic	25	12:00 p.m.	38.60	38.90	39.40	39.10	39.00	39.00	
67	22-Dic	25	12:00 p.m.	40.60	40.90	41.40	41.10	41.00	41.00	
68	23-Dic	26	12:00 p.m.	38.40	38.80	38.30	38.00	37.60	38.22	
69	24-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
70	25-Dic	26	12:00 p.m.	37.60	38.10	37.70	38.30	38.00	37.94	
71	26-Dic	24	12:00 p.m.	37.90	38.30	37.80	37.50	37.10	37.72	
72	27-Dic	25	12:00 p.m.	35.70	36.10	36.30	36.60	35.80	36.10	
73	28-Dic	26	12:00 p.m.	35.40	35.80	35.00	34.90	35.60	35.34	
74	29-Dic	26	12:00 p.m.	33.60	33.90	34.40	34.10	34.00	34.00	
75	30-Dic	25	12:00 p.m.	34.50	35.00	34.60	35.20	34.90	34.84	
76	31-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
77	01-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
78	02-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
79	03-Ene	28	12:00 p.m.	30.40	30.80	30.00	29.90	30.60	30.34	
80	04-Ene	28	12:00 p.m.	27.60	27.90	28.40	28.10	28.00	28.00	
81	05-Ene	28	12:00 p.m.	27.40	27.80	27.30	27.00	26.60	27.22	
82	06-Ene	27	12:00 p.m.	28.10	27.70	28.30	28.00	27.60	27.94	
83	07-Ene	29	12:00 p.m.	25.30	25.70	25.20	24.90	24.50	25.12	
84	08-Ene	24	12:00 p.m.	26.30	25.90	26.40	26.80	25.60	26.20	
85	09-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
86	10-Ene	21	12:00 p.m.	25.10	24.70	25.30	25.00	24.60	24.94	
87	11-Ene	21	12:00 p.m.	23.70	24.10	24.30	24.60	23.80	24.10	
88	12-Ene	26	12:00 p.m.	21.60	21.90	22.40	22.10	22.00	22.00	
89	13-Ene	25	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.30	23.00	22.60	23.22	
90	14-Ene	21	12:00 p.m.	23.10	22.70	23.30	23.00	22.60	22.94	
91	15-Ene	20	12:00 p.m.	25.40	25.00	25.50	25.90	24.70	25.30	
92	16-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
93	17-Ene	26	12:00 p.m.	23.70	24.10	24.30	24.60	23.80	24.10	
94	18-Ene	24	12:00 p.m.	23.10	22.70	23.30	23.00	22.60	22.94	
95	19-Ene	26	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.30	24.00	23.60	24.22	
96	20-Ene	26	12:00 p.m.	23.60	23.90	24.40	24.10	24.00	24.00	
97	21-Ene	25	12:00 p.m.	22.70	23.10	23.30	23.60	22.80	23.10	
98	22-Ene	26	12:00 p.m.	24.20	24.60	23.80	23.70	24.40	24.14	
99	23-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
100	24-Ene	28	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.00	24.90	25.60	25.34	
101	25-Ene	24	12:00 p.m.	22.60	22.90	23.40	23.10	23.00	23.00	
102	26-Ene	26	12:00 p.m.	23.30	23.70	23.20	22.90	22.50	23.12	
103	27-Ene	26	12:00 p.m.	23.10	22.70	23.30	23.00	22.60	22.94	
104	28-Ene	24	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.30	24.00	23.60	24.22	
105	29-Ene	26	12:00 p.m.	22.30	21.90	22.40	22.80	21.60	22.20	

* SL : Sin lectura de temperatura.

PILA M2-1										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
21	06-Nov	22	12:00 p.m.	22.30	22.70	22.20	21.90	21.60	22.12	Colocación plásticos
22	07-Nov	24	12:00 p.m.	28.60	29.10	28.80	29.30	29.00	28.96	
23	08-Nov	19	12:00 p.m.	34.40	34.80	34.30	34.00	33.60	34.22	
24	09-Nov	21	4:30 p.m.	35.60	35.90	36.40	36.10	36.00	36.00	
25	10-Nov	21	10:30 a.m.	32.60	33.10	32.80	33.30	33.00	32.96	
26	11-Nov	19	10:30 a.m.	31.30	31.00	30.60	31.10	30.70	30.94	
27	12-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
28	13-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
29	14-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
30	15-Nov	22	10:30 a.m.	35.10	34.70	35.30	35.00	34.60	34.94	
31	16-Nov	22	10:30 a.m.	34.40	34.80	34.00	33.90	34.60	34.34	
32	17-Nov	22	10:30 a.m.	35.60	35.90	36.40	36.10	36.00	36.00	
33	18-Nov	23	10:30 a.m.	35.40	35.80	35.30	35.00	34.60	35.22	
34	19-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
35	20-Nov	24	12:30 p.m.	37.60	38.10	37.80	38.30	38.00	37.96	
36	21-Nov	25	12:30 p.m.	39.60	39.90	40.40	40.10	40.00	40.00	
37	22-Nov	26	12:30 p.m.	41.10	41.40	41.90	41.60	41.50	41.50	
38	23-Nov	29	12:30 p.m.	42.40	42.80	42.00	41.90	42.60	42.34	
39	24-Nov	30	12:30 p.m.	43.60	44.10	43.70	44.30	44.00	43.94	
40	25-Nov	30	12:30 p.m.	42.10	42.40	42.90	42.60	42.50	42.50	
41	26-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
42	27-Nov	30	12:30 p.m.	43.40	43.80	43.30	43.00	42.60	43.22	
43	28-Nov	30	12:30 p.m.	44.60	44.90	45.40	45.10	45.00	45.00	
44	29-Nov	29	12:30 p.m.	43.60	44.10	43.70	44.30	44.00	43.94	
45	30-Nov	30	12:30 p.m.	46.40	46.80	46.30	46.00	45.60	46.22	
46	01-Dic	29	12:30 p.m.	46.70	47.10	47.30	47.60	46.80	47.10	
47	02-Dic	30	12:30 p.m.	48.40	48.80	48.00	47.90	48.60	48.34	
48	03-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
49	04-Dic	30	12:30 p.m.	48.60	49.10	48.70	49.30	49.00	48.94	
50	05-Dic	30	12:30 p.m.	49.60	49.90	50.40	50.10	50.00	50.00	
51	06-Dic	28	12:30 p.m.	50.10	49.70	50.30	50.00	49.60	49.94	
52	07-Dic	28	12:30 p.m.	52.40	52.80	52.30	52.00	51.60	52.22	PICO EN TEMP.
53	08-Dic	28	12:30 p.m.	52.40	52.80	52.00	51.80	52.60	52.33	PICO EN TEMP.
54	09-Dic	28	12:30 p.m.	51.80	51.90	52.40	52.10	52.00	52.00	PICO EN TEMP.
55	10-Dic	30	12:30 p.m.	52.40	52.80	52.30	52.00	51.80	52.22	PICO EN TEMP.
56	11-Dic	29	12:30 p.m.	51.60	51.20	51.80	51.50	51.10	51.44	
57	12-Dic	26	12:30 p.m.	50.40	50.80	50.30	50.00	49.60	50.22	
58	13-Dic	26	12:30 p.m.	47.30	46.90	47.40	47.80	46.60	47.20	
59	14-Dic	27	12:30 p.m.	42.70	43.10	43.30	43.60	42.80	43.10	
60	15-Dic	24	10:00 a.m.	40.10	39.70	40.30	40.00	39.60	39.94	
61	16-Dic	26	10:00 a.m.	40.70	41.10	41.30	41.60	40.80	41.10	
62	17-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
63	18-Dic	27	12:00 p.m.	43.40	43.80	43.30	43.00	42.60	43.22	
64	19-Dic	26	12:00 p.m.	42.10	41.70	42.30	42.00	41.60	41.94	
65	20-Dic	26	12:00 p.m.	39.30	38.90	39.40	39.80	38.60	39.20	
66	21-Dic	25	12:00 p.m.	38.40	38.80	38.30	38.00	37.60	38.22	
67	22-Dic	25	12:00 p.m.	39.70	40.10	40.30	40.60	39.80	40.10	
68	23-Dic	26	12:00 p.m.	37.10	36.70	37.30	37.00	36.60	36.94	
69	24-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
70	25-Dic	26	12:00 p.m.	35.60	35.90	36.40	36.10	36.00	36.00	

PILA M2-1										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
71	26-Dic	24	12:00 p.m.	36.70	37.10	37.30	37.60	36.80	37.10	
72	27-Dic	25	12:00 p.m.	34.40	34.80	34.00	33.90	34.60	34.34	
73	28-Dic	26	12:00 p.m.	33.40	33.80	33.30	33.00	32.60	33.22	
74	29-Dic	26	12:00 p.m.	35.40	35.80	35.00	34.90	35.60	35.34	
75	30-Dic	25	12:00 p.m.	33.60	33.90	34.40	34.10	34.00	34.00	
76	31-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
77	01-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
78	02-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
79	03-Ene	28	12:00 p.m.	30.10	29.70	30.30	30.00	29.60	29.94	
80	04-Ene	28	12:00 p.m.	28.40	28.80	28.30	28.00	27.60	28.22	
81	05-Ene	28	12:00 p.m.	27.40	27.80	27.00	26.90	27.60	27.34	
82	06-Ene	27	12:00 p.m.	27.60	27.90	28.40	28.10	28.00	28.00	
83	07-Ene	29	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.30	25.00	24.60	25.22	
84	08-Ene	24	12:00 p.m.	26.10	25.70	26.30	26.00	25.60	25.94	
85	09-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
86	10-Ene	21	12:00 p.m.	25.30	24.90	25.40	25.80	24.60	25.20	
87	11-Ene	21	12:00 p.m.	23.70	24.10	24.30	24.60	23.80	24.10	
88	12-Ene	26	12:00 p.m.	22.10	21.70	22.30	22.00	21.60	21.94	
89	13-Ene	25	12:00 p.m.	22.70	23.10	23.30	23.60	22.80	23.10	
90	14-Ene	21	12:00 p.m.	24.10	23.70	24.30	24.00	23.60	23.94	
91	15-Ene	20	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.30	25.00	24.60	25.22	
92	16-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
93	17-Ene	26	12:00 p.m.	23.30	22.90	23.40	23.80	22.60	23.20	
94	18-Ene	24	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.30	23.00	22.60	23.22	
95	19-Ene	26	12:00 p.m.	23.70	24.10	24.30	24.60	23.80	24.10	
96	20-Ene	26	12:00 p.m.	24.10	23.70	24.30	24.00	23.60	23.94	
97	21-Ene	25	12:00 p.m.	22.70	23.10	23.30	23.60	22.80	23.10	
98	22-Ene	26	12:00 p.m.	22.10	22.40	22.90	22.60	22.50	22.50	
99	23-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
100	24-Ene	28	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.00	23.90	24.60	24.34	
101	25-Ene	24	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.30	23.00	22.60	23.22	
102	26-Ene	26	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.00	23.90	24.60	24.34	
103	27-Ene	26	12:00 p.m.	23.10	23.40	23.90	23.60	23.50	23.50	
104	28-Ene	24	12:00 p.m.	23.30	22.90	23.40	23.80	22.60	23.20	
105	29-Ene	26	12:00 p.m.	23.30	23.70	23.20	22.90	22.50	23.12	

* SL : Sin lectura de temperatura.

PILA M2-2										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
21	06-Nov	22	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.30	23.00	22.80	23.22	Colocación plásticos
22	07-Nov	24	12:00 p.m.	28.60	29.10	28.80	29.30	29.00	28.96	
23	08-Nov	19	12:00 p.m.	33.40	33.80	33.30	33.00	32.60	33.22	
24	09-Nov	21	4:30 p.m.	38.60	38.90	39.40	39.10	39.00	39.00	
25	10-Nov	21	10:30 a.m.	33.60	34.10	33.80	34.30	34.00	33.96	
26	11-Nov	19	10:30 a.m.	31.30	31.00	30.60	31.10	30.70	30.94	
27	12-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
28	13-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
29	14-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
30	15-Nov	22	10:30 a.m.	39.10	38.70	39.30	39.00	38.60	38.94	
31	16-Nov	22	10:30 a.m.	36.40	36.80	36.00	35.90	36.60	36.34	
32	17-Nov	22	10:30 a.m.	36.60	36.90	37.40	37.10	37.00	37.00	
33	18-Nov	23	10:30 a.m.	39.40	39.80	39.30	39.00	38.60	39.22	
34	19-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
35	20-Nov	24	12:30 p.m.	39.60	40.10	39.80	40.30	40.00	39.96	
36	21-Nov	25	12:30 p.m.	41.60	41.90	42.40	42.10	42.00	42.00	
37	22-Nov	26	12:30 p.m.	43.60	43.90	44.40	44.10	44.00	44.00	
38	23-Nov	29	12:30 p.m.	45.40	45.80	45.00	44.90	45.60	45.34	
39	24-Nov	30	12:30 p.m.	45.60	46.10	45.70	46.30	46.00	45.94	
40	25-Nov	30	12:30 p.m.	48.60	48.90	49.40	49.10	49.00	49.00	
41	26-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
42	27-Nov	30	12:30 p.m.	50.40	50.80	50.30	50.00	49.60	50.22	
43	28-Nov	30	12:30 p.m.	47.60	47.90	48.40	48.10	48.00	48.00	
44	29-Nov	29	12:30 p.m.	48.60	49.10	48.70	49.30	49.00	48.94	
45	30-Nov	30	12:30 p.m.	51.40	51.80	51.30	51.00	50.60	51.22	
46	01-Dic	29	12:30 p.m.	52.70	53.10	53.30	53.60	52.80	53.10	
47	02-Dic	30	12:30 p.m.	52.40	52.80	52.00	51.90	52.60	52.34	
48	03-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
49	04-Dic	30	12:30 p.m.	49.60	50.10	49.70	50.30	50.00	49.94	
50	05-Dic	30	12:30 p.m.	50.60	50.90	51.40	51.10	51.00	51.00	
51	06-Dic	28	12:30 p.m.	52.10	51.70	52.30	52.00	51.60	51.94	
52	07-Dic	28	12:30 p.m.	55.40	55.80	55.30	55.00	54.80	55.22	PICO EN TEMP.
53	08-Dic	28	12:30 p.m.	55.40	55.80	55.00	54.90	55.80	55.34	PICO EN TEMP.
54	09-Dic	29	12:30 p.m.	53.60	53.90	54.40	54.10	54.00	54.00	PICO EN TEMP.
55	10-Dic	30	12:30 p.m.	55.40	55.80	55.30	55.00	54.60	55.22	PICO EN TEMP.
56	11-Dic	29	12:30 p.m.	54.10	53.70	54.30	54.00	53.60	53.94	
57	12-Dic	26	12:30 p.m.	52.40	52.80	52.30	52.00	51.60	52.22	
58	13-Dic	26	12:30 p.m.	49.30	48.90	49.40	49.80	48.60	49.20	
59	14-Dic	27	12:30 p.m.	46.70	47.10	47.30	47.60	46.80	47.10	
60	15-Dic	24	10:00 a.m.	44.10	43.70	44.30	44.00	43.60	43.94	
61	16-Dic	26	10:00 a.m.	41.70	42.10	42.30	42.60	41.80	42.10	
62	17-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
63	18-Dic	27	12:00 p.m.	44.40	44.80	44.30	44.00	43.60	44.22	
64	19-Dic	26	12:00 p.m.	45.10	44.70	45.30	45.00	44.60	44.94	
65	20-Dic	26	12:00 p.m.	44.30	43.90	44.40	44.80	43.60	44.20	
66	21-Dic	25	12:00 p.m.	42.40	42.80	42.30	42.00	41.60	42.22	
67	22-Dic	25	12:00 p.m.	40.70	41.10	41.30	41.60	40.80	41.10	
68	23-Dic	26	12:00 p.m.	38.10	37.70	38.30	38.00	37.60	37.94	
69	24-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
70	25-Dic	26	12:00 p.m.	33.60	33.90	34.40	34.10	34.00	34.00	

PILA M2-2										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
71	26-Dic	24	12:00 p.m.	32.70	33.10	33.30	33.60	32.80	33.10	
72	27-Dic	25	12:00 p.m.	35.40	35.80	35.00	34.90	35.60	35.34	
73	28-Dic	26	12:00 p.m.	36.40	36.80	36.30	36.00	35.60	36.22	
74	29-Dic	26	12:00 p.m.	33.40	33.80	33.00	32.90	33.60	33.34	
75	30-Dic	25	12:00 p.m.	31.60	31.90	32.40	32.10	32.00	32.00	
76	31-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
77	01-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
78	02-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
79	03-Ene	28	12:00 p.m.	30.10	29.70	30.30	30.00	29.60	29.94	
80	04-Ene	28	12:00 p.m.	29.40	29.80	29.30	29.00	28.60	29.22	
81	05-Ene	28	12:00 p.m.	29.40	29.80	29.00	28.90	29.60	29.34	
82	06-Ene	27	12:00 p.m.	29.60	29.90	30.40	30.10	30.00	30.00	
83	07-Ene	29	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.30	25.00	24.60	25.22	
84	08-Ene	24	12:00 p.m.	24.10	23.70	24.30	24.00	23.60	23.94	
85	09-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
86	10-Ene	21	12:00 p.m.	25.30	24.90	25.40	25.80	24.60	25.20	
87	11-Ene	21	12:00 p.m.	22.70	23.10	23.30	23.60	22.80	23.10	
88	12-Ene	26	12:00 p.m.	22.10	21.70	22.30	22.00	21.60	21.94	
89	13-Ene	25	12:00 p.m.	23.70	24.10	24.30	24.60	23.80	24.10	
90	14-Ene	21	12:00 p.m.	25.10	24.70	25.30	25.00	24.60	24.94	
91	15-Ene	20	12:00 p.m.	22.40	22.80	22.30	22.00	21.60	22.22	
92	16-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
93	17-Ene	26	12:00 p.m.	23.30	22.90	23.40	23.80	22.60	23.20	
94	18-Ene	24	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.30	23.00	22.60	23.22	
95	19-Ene	26	12:00 p.m.	23.70	24.10	24.30	24.60	23.80	24.10	
96	20-Ene	26	12:00 p.m.	25.10	24.70	25.30	25.00	24.60	24.94	
97	21-Ene	25	12:00 p.m.	23.70	24.10	24.30	24.60	23.80	24.10	
98	22-Ene	26	12:00 p.m.	22.60	22.90	23.40	23.10	23.00	23.00	
99	23-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
100	24-Ene	28	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.00	23.90	24.60	24.34	
101	25-Ene	24	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.30	25.00	24.60	25.22	
102	26-Ene	26	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.00	22.90	23.60	23.34	
103	27-Ene	26	12:00 p.m.	23.60	23.90	24.40	24.10	24.00	24.00	
104	28-Ene	24	12:00 p.m.	23.30	22.90	23.40	23.80	22.60	23.20	
105	29-Ene	26	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.30	24.00	23.60	24.22	

* SL : Sin lectura de temperatura.

f) Pila " M2-3 "

Grafico 6 : Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M2-3 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo.

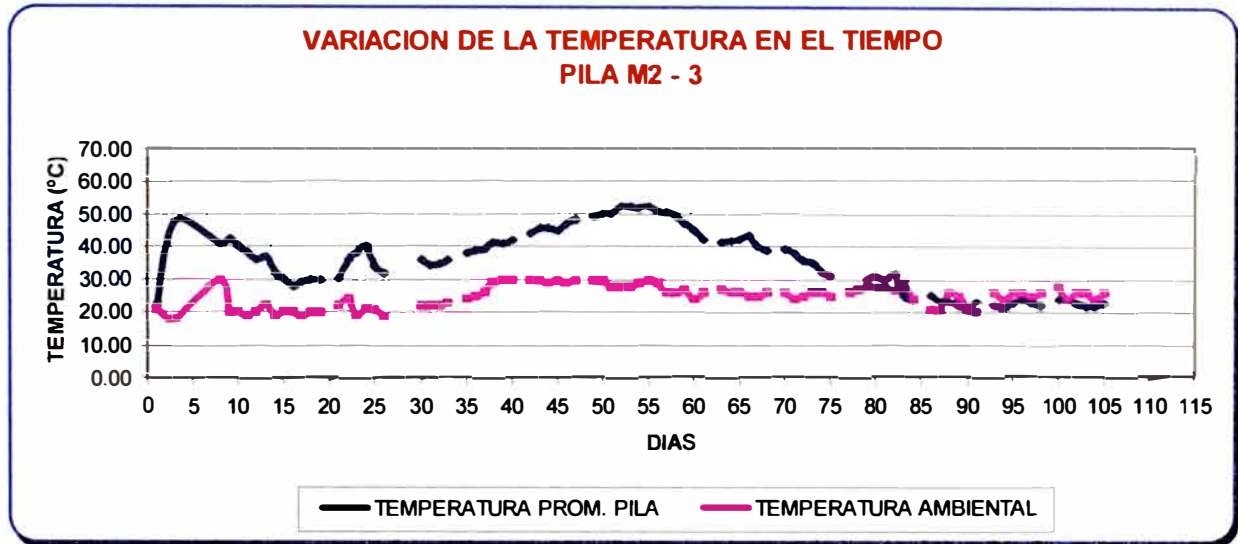


Tabla 20: Temperaturas tomadas en la pila M2-3

PILA M2-3										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
1	16-Oct	21	10:00 a.m.	21.00	22.00	22.00	24.00	24.00	22.60	DIA DE INICIO
3	19-Oct	18	10:00 a.m.	44.00	48.00	48.00	50.00	50.00	48.00	
8	24-Oct	30	10:00 a.m.	38.00	41.00	38.00	38.00	50.00	41.00	
9	25-Oct	20	10:00 a.m.	43.00	44.00	42.00	40.00	44.50	42.70	
10	26-Oct	20	10:00 a.m.	40.10	39.70	40.30	40.00	39.60	39.94	
11	27-Oct	19	10:00 a.m.	37.60	38.10	37.80	38.30	38.00	37.96	
12	28-Oct	20	10:00 a.m.	36.00	35.60	36.10	35.70	36.30	35.94	
13	29-Oct	22	10:00 a.m.	37.30	37.00	36.60	37.10	36.70	36.94	DOMINGO
14	30-Oct	19	10:00 a.m.	31.60	31.90	32.40	32.10	32.00	32.00	
15	31-Oct	20	10:00 a.m.	30.40	30.80	30.30	30.00	29.60	30.22	
16	01-Nov	20	10:00 a.m.	27.60	28.10	27.70	28.30	28.00	27.94	
17	02-Nov	19	10:00 a.m.	29.40	29.80	29.30	29.00	28.60	29.22	
18	03-Nov	20	10:00 a.m.	30.10	29.70	30.30	30.00	29.60	29.94	
19	04-Nov	20	10:00 a.m.	29.70	30.30	30.00	29.60	30.10	29.94	
20	05-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
21	06-Nov	22	12:00 p.m.	30.40	30.80	30.30	30.00	29.60	30.22	Colocación plásticos

PILA M2-3										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
22	07-Nov	24	12:00 p.m.	35.60	36.10	35.80	36.30	36.00	35.96	
23	08-Nov	19	12:00 p.m.	38.40	38.80	38.30	38.00	37.60	38.22	
24	09-Nov	21	4:30 p.m.	39.60	39.90	40.40	40.10	40.00	40.00	
25	10-Nov	21	10:30 a.m.	33.60	34.10	33.80	34.30	34.00	33.96	
26	11-Nov	19	10:30 a.m.	32.30	32.00	31.60	32.10	31.70	31.94	
27	12-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
28	13-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
29	14-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
30	15-Nov	22	10:30 a.m.	36.10	35.70	36.30	36.00	35.60	35.94	
31	16-Nov	22	10:30 a.m.	34.40	34.80	34.00	33.90	34.60	34.34	
32	17-Nov	22	10:30 a.m.	34.60	34.90	35.40	35.10	35.00	35.00	
33	18-Nov	23	10:30 a.m.	36.40	36.80	36.30	36.00	35.60	36.22	
34	19-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
35	20-Nov	24	12:30 p.m.	37.60	38.10	37.80	38.30	38.00	37.96	
36	21-Nov	25	12:30 p.m.	38.60	38.90	39.40	39.10	39.00	39.00	
37	22-Nov	26	12:30 p.m.	39.10	39.40	39.90	39.60	39.50	39.50	
38	23-Nov	29	12:30 p.m.	41.40	41.80	41.00	40.90	41.60	41.34	
39	24-Nov	30	12:30 p.m.	40.60	41.10	40.70	41.30	41.00	40.94	
40	25-Nov	30	12:30 p.m.	41.60	41.90	42.40	42.10	42.00	42.00	
41	26-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
42	27-Nov	30	12:30 p.m.	44.40	44.80	44.30	44.00	43.60	44.22	
43	28-Nov	30	12:30 p.m.	45.60	45.90	46.40	46.10	46.00	46.00	
44	29-Nov	29	12:30 p.m.	45.60	46.10	45.70	46.30	46.00	45.94	
45	30-Nov	30	12:30 p.m.	45.40	45.80	45.30	45.00	44.60	45.22	
46	01-Dic	29	12:30 p.m.	46.70	47.10	47.30	47.60	46.80	47.10	
47	02-Dic	30	12:30 p.m.	48.40	48.80	48.00	47.90	48.60	48.34	
48	03-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
49	04-Dic	30	12:30 p.m.	48.60	49.10	48.70	49.30	49.00	48.94	
50	05-Dic	30	12:30 p.m.	49.60	49.90	50.40	50.10	50.00	50.00	
51	06-Dic	28	12:30 p.m.	50.10	49.70	50.30	50.00	49.60	49.94	
52	07-Dic	28	12:30 p.m.	52.40	52.80	52.30	52.00	51.80	52.22	PICO EN TEMP.
53	08-Dic	28	12:30 p.m.	52.30	52.70	52.00	51.80	52.60	52.30	PICO EN TEMP.
54	09-Dic	28	12:30 p.m.	51.80	51.90	52.40	52.10	52.00	52.00	PICO EN TEMP.
55	10-Dic	30	12:30 p.m.	52.40	52.80	52.30	52.00	51.60	52.22	PICO EN TEMP.
56	11-Dic	29	12:30 p.m.	51.10	50.70	51.30	51.00	50.60	50.94	
57	12-Dic	26	12:30 p.m.	50.40	50.80	50.30	50.00	49.60	50.22	
58	13-Dic	26	12:30 p.m.	49.30	48.90	49.40	49.80	48.60	49.20	
59	14-Dic	27	12:30 p.m.	46.70	47.10	47.30	47.60	46.80	47.10	
60	15-Dic	24	10:00 a.m.	45.10	44.70	45.30	45.00	44.60	44.94	
61	16-Dic	26	10:00 a.m.	41.70	42.10	42.30	42.60	41.80	42.10	
62	17-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
63	18-Dic	27	12:00 p.m.	41.40	41.80	41.30	41.00	40.60	41.22	
64	19-Dic	26	12:00 p.m.	42.10	41.70	42.30	42.00	41.60	41.94	
65	20-Dic	26	12:00 p.m.	42.30	41.90	42.40	42.80	41.60	42.20	

PILA M2-3										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
66	21-Dic	25	12:00 p.m.	43.40	43.80	43.30	43.00	42.60	43.22	
67	22-Dic	25	12:00 p.m.	39.70	40.10	40.30	40.60	39.80	40.10	
68	23-Dic	26	12:00 p.m.	39.10	38.70	39.30	39.00	38.60	38.94	
69	24-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
70	25-Dic	26	12:00 p.m.	38.70	39.10	39.30	39.60	38.80	39.10	
71	26-Dic	24	12:00 p.m.	38.10	37.70	38.30	38.00	37.60	37.94	
72	27-Dic	25	12:00 p.m.	35.70	36.10	36.30	36.60	35.80	36.10	
73	28-Dic	26	12:00 p.m.	35.40	35.80	35.30	35.00	34.60	35.22	
74	29-Dic	26	12:00 p.m.	32.40	32.80	32.00	31.90	32.60	32.34	
75	30-Dic	25	12:00 p.m.	30.60	30.90	31.40	31.10	31.00	31.00	
76	31-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
77	01-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
78	02-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
79	03-Ene	28	12:00 p.m.	30.10	29.70	30.30	30.00	29.60	29.94	
80	04-Ene	28	12:00 p.m.	31.40	31.80	31.30	31.00	30.60	31.22	
81	05-Ene	28	12:00 p.m.	30.40	30.80	30.00	29.90	30.60	30.34	
82	06-Ene	27	12:00 p.m.	31.60	31.90	32.40	32.10	32.00	32.00	
83	07-Ene	29	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.30	25.00	24.60	25.22	
84	08-Ene	24	12:00 p.m.	24.10	23.70	24.30	24.00	23.60	23.94	
85	09-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
86	10-Ene	21	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.00	24.90	25.60	25.34	
87	11-Ene	21	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.30	23.00	22.60	23.22	
88	12-Ene	26	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.00	22.90	23.60	23.34	
89	13-Ene	25	12:00 p.m.	21.60	21.90	22.40	22.10	22.00	22.00	
90	14-Ene	21	12:00 p.m.	21.30	20.90	21.40	21.80	20.60	21.20	
91	15-Ene	20	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.30	23.00	22.60	23.22	
92	16-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
93	17-Ene	26	12:00 p.m.	22.30	21.90	22.40	22.80	21.60	22.20	
94	18-Ene	24	12:00 p.m.	21.40	21.80	21.30	21.00	20.60	21.22	
95	19-Ene	26	12:00 p.m.	22.60	22.90	23.40	23.10	23.00	23.00	
96	20-Ene	26	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.30	24.00	23.60	24.22	
97	21-Ene	25	12:00 p.m.	23.10	22.70	23.30	23.00	22.60	22.94	
98	22-Ene	26	12:00 p.m.	21.60	21.90	22.40	22.10	22.00	22.00	
99	23-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
100	24-Ene	28	12:00 p.m.	24.30	23.90	24.40	24.80	23.60	24.20	
101	25-Ene	24	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.30	24.00	23.60	24.22	
102	26-Ene	26	12:00 p.m.	22.70	23.10	23.30	23.60	22.80	23.10	
103	27-Ene	26	12:00 p.m.	22.10	21.70	22.30	22.00	21.60	21.94	
104	28-Ene	24	12:00 p.m.	21.70	22.10	22.30	22.60	21.80	22.10	
105	29-Ene	26	12:00 p.m.	22.60	22.90	23.40	23.10	23.00	23.00	

* SL : Sin lectura de temperatura.

g) Pila " M3-1 "

Grafico 7 : Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M3-1 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo.

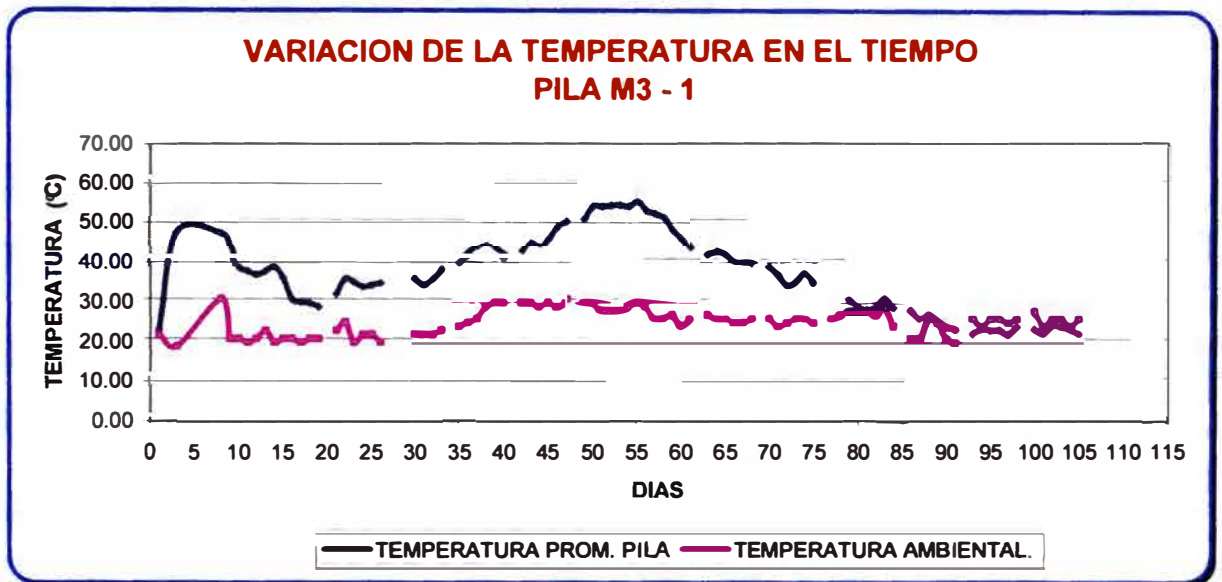


Tabla 21: Temperaturas tomadas en la pila M3-1

PILA M3-1										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
1	16-Oct	21	10:00 a.m.	21.00	24.00	24.00	22.00	20.00	22.20	DIA DE INICIO
3	19-Oct	18	10:00 a.m.	44.00	50.00	50.00	48.00	46.00	47.60	
8	24-Oct	30	10:00 a.m.	42.00	51.00	52.00	38.00	54.00	47.40	
9	25-Oct	20	10:00 a.m.	45.00	41.50	41.00	45.00	48.00	44.10	
10	26-Oct	20	10:00 a.m.	38.10	37.70	38.30	38.00	37.60	37.94	
11	27-Oct	19	10:00 a.m.	36.60	37.10	36.80	37.30	37.00	36.96	
12	28-Oct	20	10:00 a.m.	36.00	35.60	36.10	35.70	36.30	35.94	
13	29-Oct	22	10:00 a.m.	37.30	37.00	36.60	37.10	36.70	36.94	DOMINGO
14	30-Oct	19	10:00 a.m.	37.60	37.90	38.40	38.10	38.00	38.00	
15	31-Oct	20	10:00 a.m.	35.40	35.80	35.30	35.00	34.60	35.22	
16	01-Nov	20	10:00 a.m.	29.60	30.10	29.70	30.30	30.00	29.94	
17	02-Nov	19	10:00 a.m.	29.40	29.80	29.30	29.00	28.60	29.22	
18	03-Nov	20	10:00 a.m.	29.10	28.70	29.30	29.00	28.60	28.94	
19	04-Nov	20	10:00 a.m.	27.70	28.30	28.00	27.60	28.10	27.94	

PILA M3-1										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
20	05-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
21	06-Nov	22	12:00 p.m.	31.40	31.80	31.30	31.00	30.80	31.22	Colocación plásticos
22	07-Nov	24	12:00 p.m.	34.60	35.10	34.80	35.30	35.00	34.96	
23	08-Nov	19	12:00 p.m.	34.40	34.80	34.30	34.00	33.60	34.22	
24	09-Nov	21	4:30 p.m.	32.60	32.90	33.40	33.10	33.00	33.00	
25	10-Nov	21	10:30 a.m.	33.10	33.60	33.30	33.80	33.50	33.46	
26	11-Nov	19	10:30 a.m.	34.30	34.00	33.60	34.10	33.70	33.94	
27	12-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
28	13-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
29	14-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
30	15-Nov	22	10:30 a.m.	36.10	35.70	36.30	36.00	35.60	35.94	
31	16-Nov	22	10:30 a.m.	34.40	34.80	34.00	33.90	34.60	34.34	
32	17-Nov	22	10:30 a.m.	35.60	35.90	36.40	36.10	36.00	36.00	
33	18-Nov	23	10:30 a.m.	38.40	38.80	38.30	38.00	37.60	38.22	
34	19-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
35	20-Nov	24	12:30 p.m.	39.60	40.10	39.80	40.30	40.00	39.96	
36	21-Nov	25	12:30 p.m.	41.60	41.90	42.40	42.10	42.00	42.00	
37	22-Nov	26	12:30 p.m.	43.10	43.40	43.90	43.60	43.50	43.50	
38	23-Nov	29	12:30 p.m.	44.40	44.80	44.00	43.90	44.60	44.34	
39	24-Nov	30	12:30 p.m.	42.60	42.90	43.40	43.10	43.00	43.00	
40	25-Nov	30	12:30 p.m.	41.40	41.80	41.30	41.00	40.60	41.22	
41	26-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
42	27-Nov	30	12:30 p.m.	42.40	42.80	42.30	42.00	41.60	42.22	
43	28-Nov	30	12:30 p.m.	44.60	44.90	45.40	45.10	45.00	45.00	
44	29-Nov	29	12:30 p.m.	43.60	44.10	43.80	44.30	44.00	43.96	
45	30-Nov	30	12:30 p.m.	45.60	45.90	46.40	46.10	46.00	46.00	
46	01-Dic	29	12:30 p.m.	48.60	48.90	49.40	49.10	49.00	49.00	
47	02-Dic	30	12:30 p.m.	50.40	50.80	50.00	49.90	50.60	50.34	
48	03-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
49	04-Dic	30	12:30 p.m.	50.60	51.10	50.70	51.30	51.00	50.94	
50	05-Dic	30	12:30 p.m.	53.60	53.90	54.40	54.10	54.00	54.00	
51	06-Dic	28	12:30 p.m.	54.10	53.70	54.30	54.00	53.60	53.94	
52	07-Dic	28	12:30 p.m.	54.40	54.80	54.30	54.00	53.80	54.22	PICO EN TEMP.
53	08-Dic	28	12:30 p.m.	54.40	54.80	54.00	53.90	54.80	54.34	PICO EN TEMP.
54	09-Dic	29	12:30 p.m.	53.80	53.90	54.40	54.10	54.00	54.00	PICO EN TEMP.
55	10-Dic	30	12:30 p.m.	55.40	55.80	55.30	55.00	54.80	55.22	PICO EN TEMP.
56	11-Dic	29	12:30 p.m.	53.10	52.70	53.30	53.00	52.60	52.94	
57	12-Dic	26	12:30 p.m.	52.40	52.80	52.30	52.00	51.60	52.22	
58	13-Dic	26	12:30 p.m.	51.30	50.90	51.40	51.80	50.60	51.20	
59	14-Dic	27	12:30 p.m.	47.70	48.10	48.30	48.60	47.80	48.10	
60	15-Dic	24	10:00 a.m.	46.10	45.70	46.30	46.00	45.60	45.94	
61	16-Dic	26	10:00 a.m.	42.70	43.10	43.30	43.60	42.80	43.10	
62	17-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
63	18-Dic	27	12:00 p.m.	42.40	42.80	42.30	42.00	41.60	42.22	

PILA M3-1										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
64	19-Dic	26	12:00 p.m.	43.10	42.70	43.30	43.00	42.60	42.94	
65	20-Dic	26	12:00 p.m.	42.30	41.90	42.40	42.80	41.60	42.20	
66	21-Dic	25	12:00 p.m.	40.40	40.80	40.30	40.00	39.60	40.22	
67	22-Dic	25	12:00 p.m.	39.70	40.10	40.30	40.60	39.80	40.10	
68	23-Dic	26	12:00 p.m.	40.10	39.70	40.30	40.00	39.60	39.94	
69	24-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
70	25-Dic	26	12:00 p.m.	38.60	38.90	39.40	39.10	39.00	39.00	
71	26-Dic	24	12:00 p.m.	36.70	37.10	37.30	37.60	36.80	37.10	
72	27-Dic	25	12:00 p.m.	34.40	34.80	34.00	33.90	34.60	34.34	
73	28-Dic	26	12:00 p.m.	35.40	35.80	35.30	35.00	34.60	35.22	
74	29-Dic	26	12:00 p.m.	37.40	37.80	37.00	36.90	37.60	37.34	
75	30-Dic	25	12:00 p.m.	34.60	34.90	35.40	35.10	35.00	35.00	
76	31-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
77	01-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
78	02-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
79	03-Ene	28	12:00 p.m.	31.10	30.70	31.30	31.00	30.60	30.94	
80	04-Ene	28	12:00 p.m.	29.40	29.80	29.30	29.00	28.60	29.22	
81	05-Ene	28	12:00 p.m.	28.40	28.80	28.00	27.90	28.60	28.34	
82	06-Ene	27	12:00 p.m.	28.60	28.90	29.40	29.10	29.00	29.00	
83	07-Ene	29	12:00 p.m.	31.40	31.80	31.30	31.00	30.60	31.22	
84	08-Ene	24	12:00 p.m.	29.10	28.70	29.30	29.00	28.60	28.94	
85	09-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
86	10-Ene	21	12:00 p.m.	28.40	28.80	28.30	28.00	27.60	28.22	
87	11-Ene	21	12:00 p.m.	26.10	25.70	26.30	26.00	25.60	25.94	
88	12-Ene	26	12:00 p.m.	27.30	26.90	27.40	27.80	26.60	27.20	
89	13-Ene	25	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.30	25.00	24.60	25.22	
90	14-Ene	21	12:00 p.m.	24.10	23.70	24.30	24.00	23.60	23.94	
91	15-Ene	20	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.30	23.00	22.60	23.22	
92	16-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
93	17-Ene	26	12:00 p.m.	22.30	21.90	22.40	22.80	21.60	22.20	
94	18-Ene	24	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.00	22.90	23.60	23.34	
95	19-Ene	26	12:00 p.m.	22.60	22.90	23.40	23.10	23.00	23.00	
96	20-Ene	26	12:00 p.m.	23.30	22.90	23.40	23.80	22.60	23.20	
97	21-Ene	25	12:00 p.m.	21.70	22.10	22.30	22.60	21.80	22.10	
98	22-Ene	26	12:00 p.m.	23.60	23.90	24.40	24.10	24.00	24.00	
99	23-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
100	24-Ene	28	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.00	22.90	23.60	23.34	
101	25-Ene	24	12:00 p.m.	22.40	22.80	22.30	22.00	21.60	22.22	
102	26-Ene	26	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.00	23.90	24.60	24.34	
103	27-Ene	26	12:00 p.m.	23.60	23.90	24.40	24.10	24.00	24.00	
104	28-Ene	24	12:00 p.m.	23.30	22.90	23.40	23.80	22.60	23.20	
105	29-Ene	26	12:00 p.m.	22.40	22.80	22.30	22.00	21.60	22.22	

* SL : Sin lectura de temperatura.

PILA M3-2										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
21	06-Nov	22	12:00 p.m.	29.40	29.80	29.30	29.00	28.60	29.22	Colocación plásticos
22	07-Nov	24	12:00 p.m.	32.10	31.70	32.30	32.00	31.60	31.94	
23	08-Nov	19	12:00 p.m.	35.30	34.90	35.40	35.80	34.60	35.20	
24	09-Nov	21	4:30 p.m.	33.40	33.80	33.30	33.00	32.60	33.22	
25	10-Nov	21	10:30 a.m.	34.10	33.70	34.30	34.00	33.60	33.94	
26	11-Nov	19	10:30 a.m.	33.40	33.80	33.30	33.00	32.60	33.22	
27	12-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
28	13-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
29	14-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
30	15-Nov	22	10:30 a.m.	36.10	35.70	36.30	36.00	35.60	35.94	
31	16-Nov	22	10:30 a.m.	37.40	37.80	37.30	37.00	36.60	37.22	
32	17-Nov	22	10:30 a.m.	39.40	39.80	39.00	38.90	39.60	39.34	
33	18-Nov	23	10:30 a.m.	39.60	39.90	40.40	40.10	40.00	40.00	
34	19-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
35	20-Nov	24	12:30 p.m.	42.10	41.70	42.30	42.00	41.60	41.94	
36	21-Nov	25	12:30 p.m.	44.60	44.90	45.40	45.10	45.00	45.00	
37	22-Nov	26	12:30 p.m.	44.20	44.60	44.80	45.10	44.30	44.60	
38	23-Nov	29	12:30 p.m.	45.40	45.80	45.00	44.90	45.60	45.34	
39	24-Nov	30	12:30 p.m.	44.40	44.80	44.30	44.00	43.60	44.22	
40	25-Nov	30	12:30 p.m.	43.40	43.80	43.00	42.90	43.60	43.34	
41	26-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
42	27-Nov	30	12:30 p.m.	42.40	42.80	42.30	42.00	41.60	42.22	
43	28-Nov	30	12:30 p.m.	43.10	42.70	43.30	43.00	42.60	42.94	
44	29-Nov	29	12:30 p.m.	46.30	45.90	46.40	46.80	45.60	46.20	
45	30-Nov	30	12:30 p.m.	48.40	48.80	48.30	48.00	47.60	48.22	
46	01-Dic	29	12:30 p.m.	46.70	47.10	47.30	47.60	46.80	47.10	
47	02-Dic	30	12:30 p.m.	49.10	48.70	49.30	49.00	48.60	48.94	
48	03-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
49	04-Dic	30	12:30 p.m.	50.60	51.10	50.70	51.30	51.00	50.94	
50	05-Dic	30	12:30 p.m.	52.60	52.90	53.40	53.10	53.00	53.00	
51	06-Dic	28	12:30 p.m.	53.10	52.70	53.30	53.00	52.60	52.94	
52	07-Dic	28	12:30 p.m.	55.40	55.80	55.30	55.00	54.60	55.22	PICO EN TEMP.
53	08-Dic	28	12:30 p.m.	56.40	56.80	56.00	54.90	55.60	55.34	PICO EN TEMP.
54	09-Dic	29	12:30 p.m.	55.60	56.90	56.40	56.10	56.00	56.00	PICO EN TEMP.
55	10-Dic	30	12:30 p.m.	56.60	56.80	56.40	56.00	56.50	56.24	PICO EN TEMP.
56	11-Dic	29	12:30 p.m.	54.10	53.70	54.30	54.00	53.60	53.94	
57	12-Dic	26	12:30 p.m.	53.40	53.80	53.30	53.00	52.60	53.22	
58	13-Dic	26	12:30 p.m.	54.30	53.90	54.40	54.80	53.60	54.20	
59	14-Dic	27	12:30 p.m.	49.70	50.10	50.30	50.60	49.80	50.10	
60	15-Dic	24	10:00 a.m.	51.10	50.70	51.30	51.00	50.60	50.94	
61	16-Dic	26	10:00 a.m.	48.70	49.10	49.30	49.60	48.80	49.10	
62	17-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
63	18-Dic	27	12:00 p.m.	47.40	47.80	47.30	47.00	46.60	47.22	
64	19-Dic	26	12:00 p.m.	45.60	45.90	46.40	46.10	46.00	46.00	

PILA M3-2										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
65	20-Dic	26	12:00 p.m.	47.60	48.10	47.80	48.30	48.00	47.96	
66	21-Dic	25	12:00 p.m.	44.60	44.90	45.40	45.10	45.00	45.00	
67	22-Dic	25	12:00 p.m.	42.60	42.90	43.40	43.10	43.00	43.00	
68	23-Dic	26	12:00 p.m.	42.40	42.80	42.00	41.90	42.60	42.34	
69	24-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
70	25-Dic	26	12:00 p.m.	38.60	39.10	38.80	39.30	39.00	38.96	
71	26-Dic	24	12:00 p.m.	37.60	37.90	38.40	38.10	38.00	38.00	
72	27-Dic	25	12:00 p.m.	36.60	36.90	37.40	37.10	37.00	37.00	
73	28-Dic	26	12:00 p.m.	35.40	35.80	35.00	34.90	35.60	35.34	
74	29-Dic	26	12:00 p.m.	34.60	34.90	35.40	35.10	35.00	35.00	
75	30-Dic	25	12:00 p.m.	35.40	35.80	35.30	35.00	34.60	35.22	
76	31-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
77	01-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
78	02-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
79	03-Ene	28	12:00 p.m.	34.10	33.70	34.30	34.00	33.60	33.94	
80	04-Ene	28	12:00 p.m.	33.40	33.80	33.00	32.90	33.60	33.34	
81	05-Ene	28	12:00 p.m.	31.60	31.90	32.40	32.10	32.00	32.00	
82	06-Ene	27	12:00 p.m.	32.40	32.80	32.30	32.00	31.60	32.22	
83	07-Ene	29	12:00 p.m.	33.40	33.80	33.30	33.00	32.60	33.22	
84	08-Ene	24	12:00 p.m.	29.60	30.10	29.80	30.30	30.00	29.96	
85	09-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
86	10-Ene	21	12:00 p.m.	28.60	28.90	29.40	29.10	29.00	29.00	
87	11-Ene	21	12:00 p.m.	27.60	28.10	27.80	28.30	28.00	27.96	
88	12-Ene	26	12:00 p.m.	28.30	28.00	27.60	28.10	27.70	27.94	
89	13-Ene	25	12:00 p.m.	26.60	26.90	27.40	27.10	27.00	27.00	
90	14-Ene	21	12:00 p.m.	25.60	26.10	25.80	26.30	26.00	25.96	
91	15-Ene	20	12:00 p.m.	23.30	23.00	22.60	23.10	22.70	22.94	
92	16-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
93	17-Ene	26	12:00 p.m.	22.40	22.80	22.30	22.00	21.60	22.22	
94	18-Ene	24	12:00 p.m.	22.60	23.10	22.80	23.30	23.00	22.96	
95	19-Ene	26	12:00 p.m.	22.40	22.80	22.30	22.00	21.60	22.22	
96	20-Ene	26	12:00 p.m.	21.60	21.90	22.40	22.10	22.00	22.00	
97	21-Ene	25	12:00 p.m.	22.60	23.10	22.80	23.30	23.00	22.96	
98	22-Ene	26	12:00 p.m.	24.30	24.00	23.60	24.10	23.70	23.94	
99	23-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
100	24-Ene	28	12:00 p.m.	22.60	22.90	23.40	23.10	23.00	23.00	
101	25-Ene	24	12:00 p.m.	22.40	22.80	22.30	22.00	21.60	22.22	
102	26-Ene	26	12:00 p.m.	22.60	23.10	22.70	23.30	23.00	22.94	
103	27-Ene	26	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.30	24.00	23.60	24.22	
104	28-Ene	24	12:00 p.m.	22.10	21.70	22.30	22.00	21.60	21.94	
105	29-Ene	26	12:00 p.m.	22.70	23.30	23.00	22.60	23.10	22.94	

* SL : Sin lectura de temperatura.

i) Pila " M3-3 "

Grafico 9 : Curva de Variación de Temperatura Promedio de la Pila M3-3 y de la Temperatura Ambiental, con respecto al tiempo.

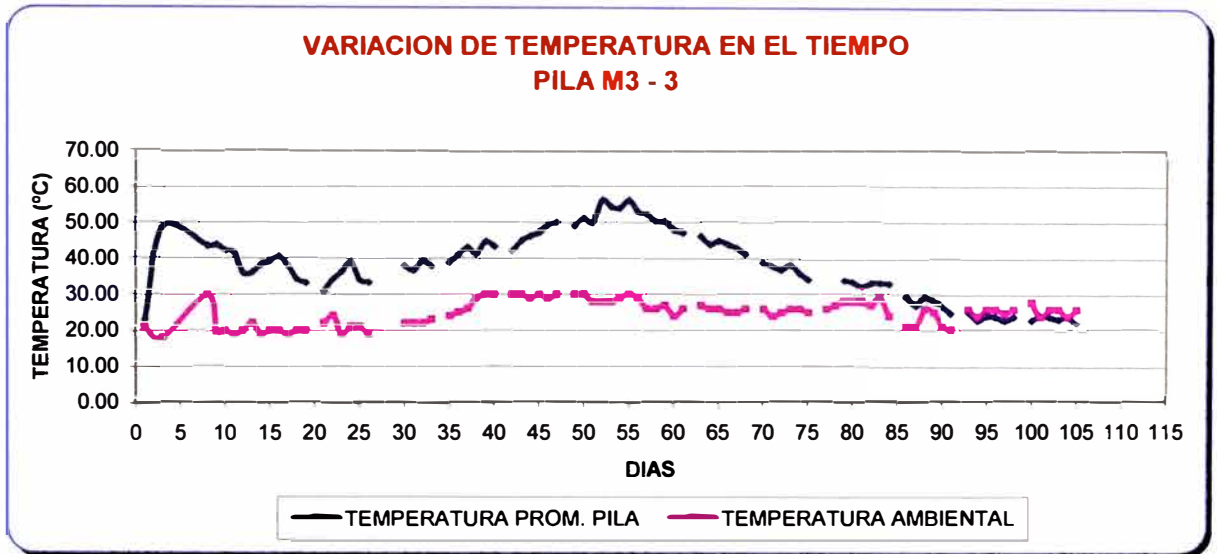


Tabla 23: Temperaturas tomadas en la pila M3-3

PILA M3-3										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
1	16-Oct	21	10:00 a.m.	24.00	24.00	24.00	20.00	22.00	22.80	DIA DE INICIO
3	19-Oct	18	10:00 a.m.	50.00	50.00	50.00	46.00	48.00	48.80	
8	24-Oct	30	10:00 a.m.	40.00	42.00	42.00	42.00	51.00	43.40	
9	25-Oct	20	10:00 a.m.	43.00	43.00	45.00	42.00	46.00	43.80	
10	26-Oct	20	10:00 a.m.	42.40	42.80	42.30	42.00	41.60	42.22	
11	27-Oct	19	10:00 a.m.	41.40	41.80	41.00	40.90	41.60	41.34	
12	28-Oct	20	10:00 a.m.	35.60	35.90	36.40	36.10	36.00	36.00	
13	29-Oct	22	10:00 a.m.	36.30	35.90	36.40	36.80	35.60	36.20	DOMINGO
14	30-Oct	19	10:00 a.m.	38.40	38.80	38.30	38.00	37.60	38.22	
15	31-Oct	20	10:00 a.m.	39.30	38.90	39.40	39.80	38.60	39.20	
16	01-Nov	20	10:00 a.m.	40.40	40.80	40.00	39.90	40.60	40.34	
17	02-Nov	19	10:00 a.m.	37.60	37.90	38.40	38.10	38.00	38.00	
18	03-Nov	20	10:00 a.m.	34.30	33.90	34.40	34.80	33.60	34.20	
19	04-Nov	20	10:00 a.m.	32.70	33.10	33.30	33.60	32.80	33.10	
20	05-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
21	06-Nov	22	12:00 p.m.	31.10	30.70	31.30	31.00	30.60	30.94	Cajlocación plásticos

PILA M3-3										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
22	07-Nov	24	12:00 p.m.	34.40	34.80	34.30	34.00	33.60	34.22	
23	08-Nov	19	12:00 p.m.	36.40	36.80	36.00	35.90	36.60	36.34	
24	09-Nov	21	4:30 p.m.	38.60	38.90	39.40	39.10	39.00	39.00	
25	10-Nov	21	10:30 a.m.	34.10	33.70	34.30	34.00	33.60	33.94	
26	11-Nov	19	10:30 a.m.	33.40	33.80	33.30	33.00	32.60	33.22	
27	12-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
28	13-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
29	14-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
30	15-Nov	22	10:30 a.m.	38.10	37.70	38.30	38.00	37.60	37.94	
31	16-Nov	22	10:30 a.m.	36.90	37.30	36.80	36.50	36.10	36.72	
32	17-Nov	22	10:30 a.m.	39.40	39.80	39.00	38.90	39.60	39.34	
33	18-Nov	23	10:30 a.m.	37.60	37.90	38.40	38.10	38.00	38.00	
34	19-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
35	20-Nov	24	12:30 p.m.	39.10	38.70	39.30	39.00	38.60	38.94	
36	21-Nov	25	12:30 p.m.	40.60	40.90	41.40	41.10	41.00	41.00	
37	22-Nov	26	12:30 p.m.	42.70	43.10	43.30	43.60	42.80	43.10	
38	23-Nov	29	12:30 p.m.	41.40	41.80	41.00	40.90	41.60	41.34	
39	24-Nov	30	12:30 p.m.	44.90	45.30	44.80	44.50	44.10	44.72	
40	25-Nov	30	12:30 p.m.	43.40	43.80	43.00	42.90	43.60	43.34	
41	26-Nov	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
42	27-Nov	30	12:30 p.m.	42.40	42.80	42.30	42.00	41.60	42.22	
43	28-Nov	30	12:30 p.m.	45.10	44.70	45.30	45.00	44.60	44.94	
44	29-Nov	29	12:30 p.m.	46.30	45.90	46.40	46.80	45.60	46.20	
45	30-Nov	30	12:30 p.m.	47.40	47.80	47.30	47.00	46.60	47.22	
46	01-Dic	29	12:30 p.m.	48.70	49.10	49.30	49.60	48.80	49.10	
47	02-Dic	30	12:30 p.m.	50.10	49.70	50.30	50.00	49.60	49.94	
48	03-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
49	04-Dic	30	12:30 p.m.	48.60	49.10	48.70	49.30	49.00	48.94	
50	05-Dic	30	12:30 p.m.	50.60	50.90	51.40	51.10	51.00	51.00	
51	06-Dic	28	12:30 p.m.	50.10	49.70	50.30	50.00	49.60	49.94	
52	07-Dic	28	12:30 p.m.	56.40	56.60	56.30	56.00	55.60	56.22	PICO EN TEMP.
53	08-Dic	28	12:30 p.m.	54.40	54.60	54.00	53.90	54.60	54.34	PICO EN TEMP.
54	09-Dic	29	12:30 p.m.	53.60	53.90	54.40	54.10	54.00	54.00	PICO EN TEMP.
55	10-Dic	30	12:30 p.m.	56.40	56.60	56.30	56.00	55.60	56.22	PICO EN TEMP.
56	11-Dic	29	12:30 p.m.	53.10	52.70	53.30	53.00	52.60	52.94	
57	12-Dic	26	12:30 p.m.	52.40	52.80	52.30	52.00	51.60	52.22	
58	13-Dic	26	12:30 p.m.	50.30	49.90	50.40	50.80	49.60	50.20	
59	14-Dic	27	12:30 p.m.	49.70	50.10	50.30	50.60	49.80	50.10	
60	15-Dic	24	10:00 a.m.	48.10	47.70	48.30	48.00	47.60	47.94	
61	16-Dic	26	10:00 a.m.	46.70	47.10	47.30	47.60	46.80	47.10	
62	17-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
63	18-Dic	27	12:00 p.m.	46.40	46.80	46.30	46.00	45.60	46.22	
64	19-Dic	26	12:00 p.m.	43.60	43.90	44.40	44.10	44.00	44.00	
65	20-Dic	26	12:00 p.m.	44.60	45.10	44.80	45.30	45.00	44.96	

PILA M3-3										
DIA	FECHA	TEMP. AMB. °C	HORA	TEMPERATURA °C						OBSERVACIONES
				T1	T2	T3	T4	T5	T. PROM.	
66	21-Dic	25	12:00 p.m.	43.60	43.90	44.40	44.10	44.00	44.00	
67	22-Dic	25	12:00 p.m.	42.60	42.90	43.40	43.10	43.00	43.00	
68	23-Dic	26	12:00 p.m.	41.40	41.80	41.00	40.90	41.60	41.34	
69	24-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
70	25-Dic	26	12:00 p.m.	38.60	39.10	38.80	39.30	39.00	38.96	
71	26-Dic	24	12:00 p.m.	37.60	37.90	38.40	38.10	38.00	38.00	
72	27-Dic	25	12:00 p.m.	36.60	36.90	37.40	37.10	37.00	37.00	
73	28-Dic	26	12:00 p.m.	38.40	38.80	38.00	37.90	38.60	38.34	
74	29-Dic	26	12:00 p.m.	35.60	35.90	36.40	36.10	36.00	36.00	
75	30-Dic	25	12:00 p.m.	34.40	34.80	34.30	34.00	33.60	34.22	
76	31-Dic	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
77	01-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	VOLTEO
78	02-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	RECUPERACION
79	03-Ene	28	12:00 p.m.	34.10	33.70	34.30	34.00	33.60	33.94	
80	04-Ene	28	12:00 p.m.	33.40	33.80	33.00	32.90	33.60	33.34	
81	05-Ene	28	12:00 p.m.	31.60	31.90	32.40	32.10	32.00	32.00	
82	06-Ene	27	12:00 p.m.	33.40	33.80	33.30	33.00	32.60	33.22	
83	07-Ene	29	12:00 p.m.	33.40	33.80	33.30	33.00	32.60	33.22	
84	08-Ene	24	12:00 p.m.	32.60	33.10	32.80	33.30	33.00	32.96	
85	09-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
86	10-Ene	21	12:00 p.m.	28.60	28.90	29.40	29.10	29.00	29.00	
87	11-Ene	21	12:00 p.m.	26.60	27.10	26.80	27.30	27.00	26.96	
88	12-Ene	26	12:00 p.m.	29.30	29.00	28.60	29.10	28.70	28.94	
89	13-Ene	25	12:00 p.m.	27.60	27.90	28.40	28.10	28.00	28.00	
90	14-Ene	21	12:00 p.m.	26.60	27.10	26.80	27.30	27.00	26.96	
91	15-Ene	20	12:00 p.m.	25.30	25.00	24.60	25.10	24.70	24.94	
92	16-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
93	17-Ene	26	12:00 p.m.	25.40	25.80	25.30	25.00	24.60	25.22	
94	18-Ene	24	12:00 p.m.	22.60	23.10	22.80	23.30	23.00	22.96	
95	19-Ene	26	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.30	24.00	23.60	24.22	
96	20-Ene	26	12:00 p.m.	23.60	23.90	24.40	24.10	24.00	24.00	
97	21-Ene	25	12:00 p.m.	22.60	23.10	22.80	23.30	23.00	22.96	
98	22-Ene	26	12:00 p.m.	24.30	24.00	23.60	24.10	23.70	23.94	
99	23-Ene	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL	DOMINGO
100	24-Ene	28	12:00 p.m.	22.60	22.90	23.40	23.10	23.00	23.00	
101	25-Ene	24	12:00 p.m.	24.40	24.80	24.30	24.00	23.60	24.22	
102	26-Ene	26	12:00 p.m.	23.60	24.10	23.70	24.30	24.00	23.94	
103	27-Ene	26	12:00 p.m.	23.40	23.80	23.30	23.00	22.60	23.22	
104	28-Ene	24	12:00 p.m.	24.10	23.70	24.30	24.00	23.60	23.94	
105	29-Ene	26	12:00 p.m.	21.70	22.30	22.00	21.60	22.10	21.94	

* SL : Sin lectura de temperatura.

Como se puede apreciar en los gráficos, la curva que representa la temperatura promedio de la pila indica un aumento de temperatura a los pocos días de haber iniciado el proceso, luego empezó a descender hasta llegar a valores próximos a la temperatura ambiental. Este aumento de temperatura en la pila en tan corto plazo se debe a que la broza de espárrago empleada como material de soporte provenía de la "Compostela" de la Empresa CAMPOSOL S.A., material que dicha empresa había acopiado el día anterior para hacer compost. Como consecuencia de esto, la broza de espárrago que se utilizó para este proyecto de investigación ya tenía aproximadamente 24 horas de haber iniciado el proceso de descomposición (compostaje) motivo por el cual tenía ya una temperatura elevada.

Se presume que la caída de temperatura en la etapa inicial, se debió a la falta de retención de calor de las pilas; producto de su tamaño, esto obedece a una relación inversamente proporcional entre el tamaño del pila y su porosidad.

Como medida correctiva al descenso de temperatura se cubrió las pilas con una manta de plástico transparente, con el objetivo de reducir la pérdida de calor y dar un efecto invernadero.

Se observó que, como consecuencia de la medida correctiva tomada, la temperatura empezó a aumentar no siendo este aumento significativo, motivo por el cual se decidió dar el primer volteo al día N° 28 de haber iniciado el proceso, esto para uniformizar y airear la mezcla; produciéndose el aumento de la temperatura en el tiempo en forma significativa, llegando a valores máximos que van desde 50.24 °C a 56.24 °C, efecto que se dio, en promedio, en el día N° 53 de haber iniciado el proceso.

Pasado este pico la temperatura empezó a descender por lo que se optó en dar un segundo volteo el día N° 77 de haber iniciado el proceso, buscando la restauración de la temperatura hecho que no se dio y por el contrario la temperatura siguió descendiendo entrando así a la etapa de maduración del compost que tuvo una duración promedio de 25 días.

10.2 Humedad

Este parámetro estuvo controlado por una "frecuencia de riego". Esta frecuencia no obedece a ningún parámetro teórico o práctico establecido, por el contrario, esta es establecida por las inspecciones en campo, es decir, que depende directamente de la temperatura ambiental y de la capacidad de sobresaturación del terreno donde se encuentran ubicadas las pilas.

10.3 Aireación mediante el Volteo

Para este parámetro de control se tomo como criterio el comportamiento de la temperatura en el tiempo, es decir, que cuando la temperatura descendía se realizaba el volteo buscando, por medio de la homogenización y la aireación de la mezcla, que esta se restablezca o aumente (ver comentario del ítem 10.1).

11.0 VERIFICACION DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Con la finalidad de confirmar el desarrollo satisfactorio y culminación del proceso de compostaje se realizaron las siguientes pruebas:

- Prueba de germinación
- Prueba de condición nutricional del sustrato.

11.1 Prueba de Germinación

Para poder obtener un resultado más confiable, en esta prueba se realizaron tres repeticiones cada una con su testigo, a cuyos resultados se realizó un análisis estadístico.

a) Objetivo:

Comprobar que el sustrato orgánico obtenido después del proceso de compostaje, no es fitotóxico, es decir, que permite la libre germinación de cualquier tipo de semilla.

b) Materiales:

- 30 unidades de vasos plásticos de 250 ml.
- 300 semillas de *Vigna Sinensis* (fréjol Bocón).
- 150 gr de muestra de cada tipo de compost.
- Agua estéril.
- 1 pipeta de 10 ml.
- 1 pinza
- Algodón.
- 3 bandejas plásticas.
- 1 plumón de tinta indeleble.

c) Procedimiento:

- c.1) Una vez pesadas las muestras se coloca de cada una de ellas 50 gr. en vasos plásticos de 250 ml, entendiéndose así que de cada muestra se llenaron 3 vasos.

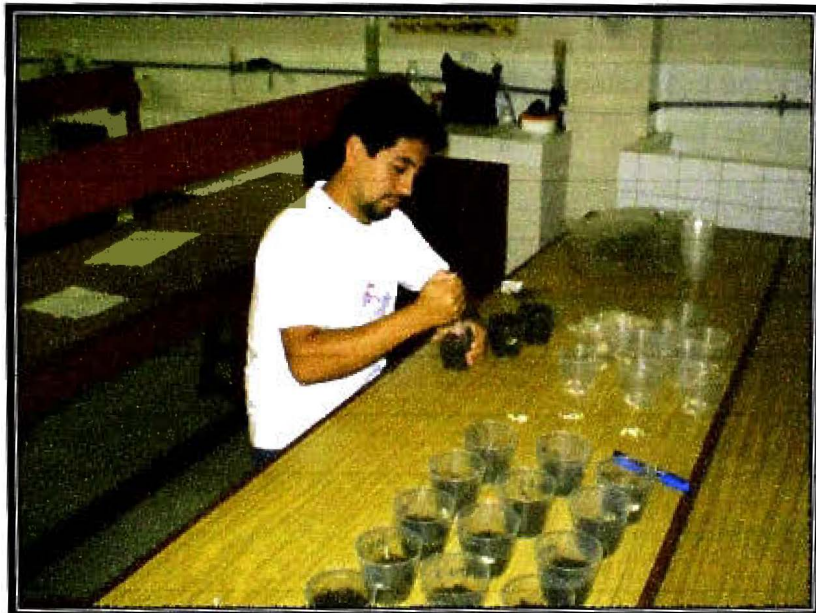


Foto 11: Colocación de compost en vasos plásticos de 250 ml para la prueba de germinación

- c.2) Se siembran 10 semillas de **Vigna Sinensis** (fréjol Bocón) en cada vaso plástico. Esto se hace tratando que todas las semillas queden a la misma profundidad en cada uno de los vasos plásticos, para lo cual se retira 2/3 partes del sustrato orgánico del vaso, se colocan las semillas y después se procede a taparlas con el 1/3 del sustrato que se había retirado.



Foto 12: Siembra de semillas **Vigna Sinensis** (fréjol Bocón) en vasos con sustrato orgánico.

c.3) Para los testigos, se toman 3 vasos plásticos y se les coloca algodón, sobre el cual se colocarán 10 semillas de **Vigna Sinensis** (fréjol Bocón).

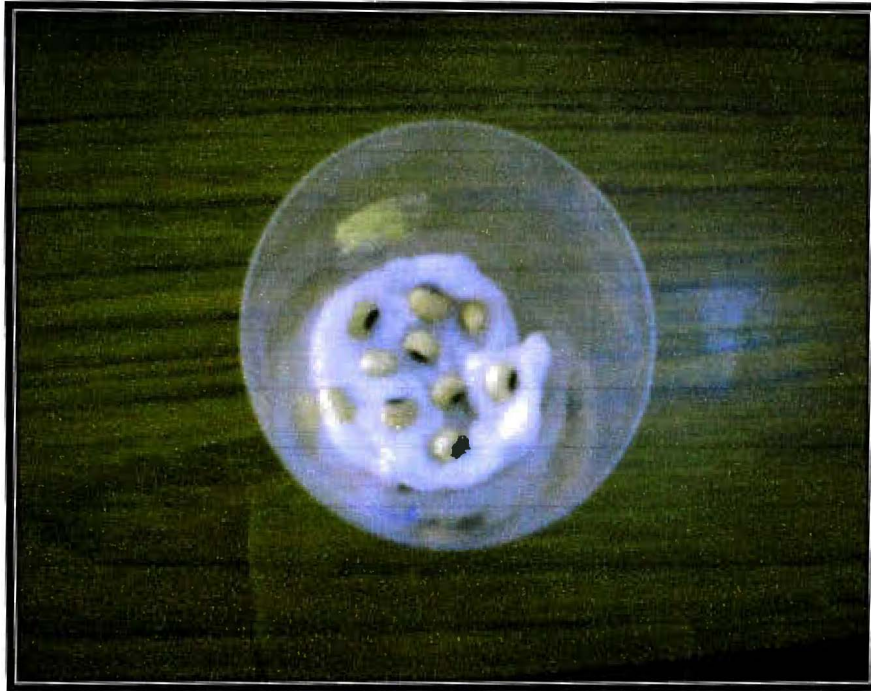


Foto 13: Siembra de semillas **Vigna Sinensis** (fréjol Bocón) en vasos con algodón para los testigos.

c.4) Se colocan en las bandejas plásticas las repeticiones de las muestras de sustrato orgánico y se rotulan (bandeja I, II, III) para poderlas identificar, colocando también en cada una el testigo correspondiente. A estas se les denominaran lotes, es decir, la bandeja I corresponde al Lote I, la bandeja II al lote II y la bandeja III al lote III. Cada lote de muestras es una repetición.



Foto 14: Prueba de Germinación y sus tres repeticiones.

c.5) Se suministra 10 ml de agua estéril a cada uno de los vasos plásticos con sustrato orgánico y también a los testigos.

Esto se hace cada día hasta que la prueba este concluida, es decir, hasta que hallan germinado las semillas y se halla verificado que, aquellas que no germinaron, ya no tienen la posibilidad de hacerlo.



Foto 15: Suministro de agua estéril, indispensable para la prueba de Germinación

d) Resultados:

Los resultados obtenidos por lote son los siguientes:

d.1) Lote I

Tabla 24: Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE I

PRUEBA DE GERMINACIÓN										
DÍAS	TRATAMIENTOS									
	T	M1-1	M1-2	M1-3	M2-1	M2-2	M2-3	M3-1	M3-2	M3-3
3-Feb-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-Feb-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-Feb-06	5.0	10.0	10.0	8.0	8.0	10.0	7.0	10.0	9.0	10.0
6-Feb-06	3.0	-	-	2.0	2.0	-	2.0	-	-	-
7-Feb-06	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL GERMINADO	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	10.0	9.0	10.0
%		100%	100%	100%	100%	100%	90%	100%	90%	100%

Grafico 10: Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE I.

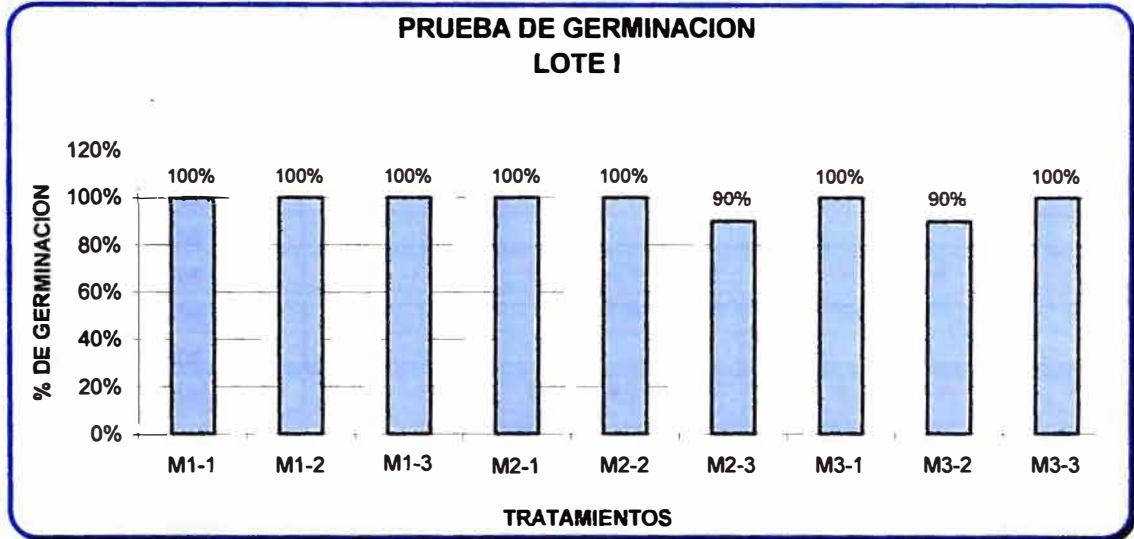


Foto 16: Prueba de Germinación LOTE I.

d.2) Lote II

Tabla 25: Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE II

PRUEBA DE GERMINACION										
DÍAS	TRATAMIENTOS									
	T	M1-1	M1-2	M1-3	M2-1	M2-2	M2-3	M3-1	M3-2	M3-3
3-Feb-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-Feb-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-Feb-06	6.0	8.0	8.0	7.0	9.0	7.0	6.0	9.0	10.0	8.0
6-Feb-06	2.0	2	1	2.0	1.0	2	2.0	1	-	2
7-Feb-06	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL GERMINADO	9.0	10.0	9.0	9.0	10.0	9.0	8.0	10.0	10.0	10.0
%		100%	100%	100%	100%	100%	89%	100%	100%	100%

Grafico 11: Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE II.

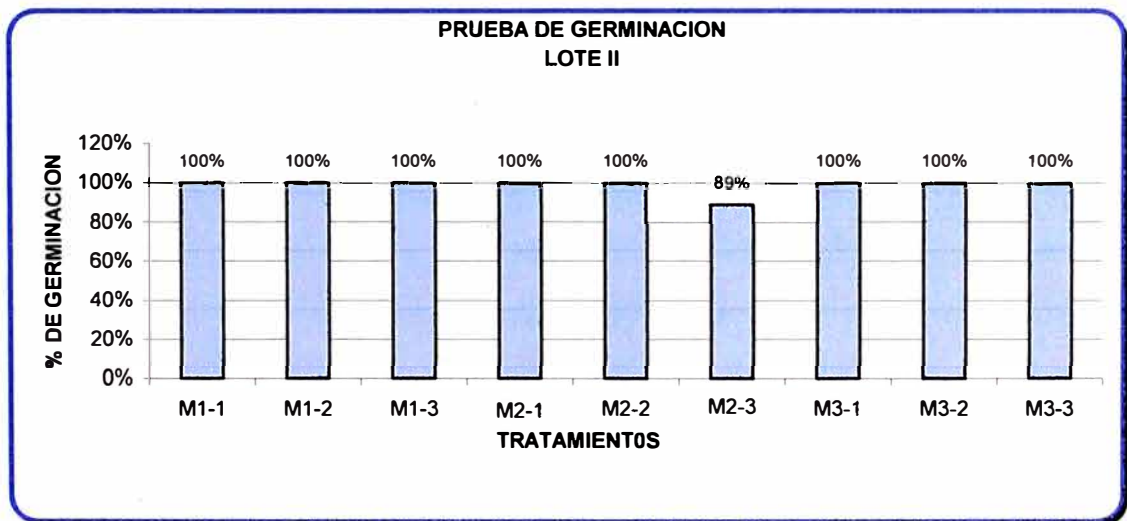


Grafico 12: Resultados de la Prueba de Germinación del LOTE III.

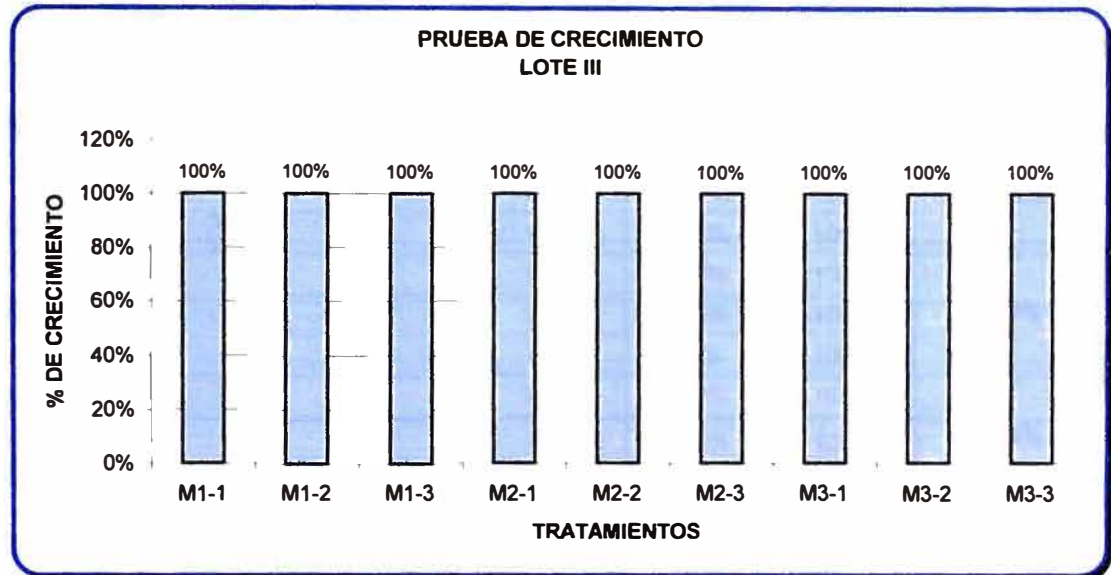


Foto 18: Prueba de Germinación LOTE III.

Promediando los resultados obtenemos los siguientes datos:

Tabla 27: Resultados promedios de la Prueba de Germinación.

TIPOS DE LOCO TRATADOS	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			PROMEDIO
		REP-1	REP-2	REP-3	
M1	M1-1	100%	100%	100%	100.00%
	M1-2	100%	100%	100%	
	M1-3	100%	100%	100%	
M2	M2-1	100%	100%	100%	97.67%
	M2-2	100%	100%	100%	
	M2-3	90%	89%	100%	
M3	M3-1	100%	100%	100%	98.89%
	M3-2	90%	100%	100%	
	M3-3	100%	100%	100%	

e) Análisis estadístico de la Prueba de Germinación.

Analizaremos los resultados de la prueba para ver si hay diferencia significativa entre cada tipo de lodo tratado, para lo cual se realiza un Análisis de Varianza.

e.1) Consideraciones en el análisis:

Para esta prueba se considera:

- Identificamos como TRATAMIENTOS a:
 - M1
 - M2
 - M3
- Identificamos como REPETICIONES:
 - Del Tratamiento M1:
 - M1-1
 - M1-2
 - M1-3
 - Del tratamiento M2:
 - M2-1
 - M2-2
 - M2-3

- Del tratamiento M3:
 - M3-1
 - M3-2
 - M3-3

e.2) Obtención de datos:

Sabiendo que:

- Los datos de la repetición I son:
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M1-1
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M2-1
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M3-1
 - Un testigo
- Los datos de la repetición II son:
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M1-2
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M2-2
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M3-2
 - Un testigo
- Los datos de la repetición III son:
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M1-3
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M2-3
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M3-3
 - Un testigo

Se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 28: Datos para realizar el Análisis Estadístico de la Prueba de Germinación

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III		
T	100.00	100.00	100.00	300.00	100.00
M1	100.00	100.00	100.00	300.00	100.00
M2	100.00	100.00	93.00	293.00	97.67
M3	100.00	96.67	100.00	296.67	98.89

* Los Valores en % de las Repeticiones son los promedio de las tres bandejas empleadas.

Se obtiene el seno del arco de los valores en porcentaje expuestos en la Tabla 28 (Calzada,B.J.-1964), obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla 29: Seno del arco de los valores en % expuestos en la Tabla 28.

ARCOSENO			
TRATAMIENTOS	REPETICIONES		
	I	II	III
T	90.00	90.00	90.00
M1	90.00	90.00	90.00
M2	90.00	90.00	74.66
M3	90.00	79.53	90.00

e.3) Resultados.

Con los datos presentados en la Tabla 29 y empleando el **Software SPSS WINDOWS 9.0** como herramienta para realizar el Análisis Estadístico se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 30: Resultados del Análisis de Varianza de la Prueba de Germinación empleando el **Software SPSS WINDOWS 9.0**.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
VAR.	G.L. (A)	S.C. (B)	C.M. (B/A)	Fc	Ft
TRATAMIENTO	3	60.061	20.02 (a)	0.598 (a/c)	0.639
REPETICION	2	31.060	15.53 (b)	0.464 (b/c)	0.650
ERROR	6	200.950	33.492 (c)		

Donde:

- VAR : Variables.
- G.L. : Grado de Libertad.
- S.C. : Suma de Cuadrados.
- C.M. : Cuadrado Medio.
- Fc : F calculado.
- Ft : F tabular.

f) Interpretación de resultados

- Como se puede apreciar en la Tabla 30, los valores de F calculado (F_c) son menores a los valores de F tabular (F_t), por lo que se concluye que no hay significación entre las cantidades de semillas germinadas en los sustratos orgánicos obtenidos de tratar los lodos M1, M2 y M3. en relación con los testigos.

g) Conclusiones.

- Las diferencias que hubo entre la cantidades de semillas germinadas en cada uno de los sustratos orgánicos obtenidos después del tratamiento al cual fueron sometidos los lodos (compostaje), no son significativas.
- Según la Tabla 1 expuesta en el Item 9.1 del Capítulo V (Marco Teórico) los sustratos orgánicos obtenidos producto del tratamiento de los lodos M1, M2 y M3, se clasifican con ligera toxicidad – no toxicidad, debido que el porcentaje de inhibición de plantas (no germinación) va de 0% a 2.33%.

11.2 Prueba de condición nutricional del sustrato

A continuación de la **Prueba de Germinación**, se dejaron crecer los plantines para poder realizar la **Prueba de Condición Nutricional del sustrato**. Esta prueba se realizó bajo las mismas condiciones que la anterior con la finalidad de también poder realizar una análisis estadístico basado en los resultados obtenidos.

a) Objetivo:

Comprobar la condición nutricional que tiene el sustrato orgánico que se obtuvo después del proceso de compostaje.

b) Materiales:

- 30 unidades de vasos plásticos de 250 ml.
- Plantines de **Vigna Sinensis** (fréjol Bocón).
- 150 gr de muestra de cada tipo de compost.
- Agua estéril.
- 1 pipeta de 10 ml.

- 1 Regla graduada en centímetros.
- Algodón.
- 3 bandejas plásticas.
- 1 plumón de tinta indeleble.

c) Procedimiento:

- c.1) Después de 7 días de haber realizado la siembra de semillas se procedió a la toma de alturas de los plantines. Durante los 7 días todos los plantines recibieron el mismo tratamiento, es decir, a todas se les colocó la misma cantidad de agua estéril y estuvieron bajo las mismas condiciones de luz.



Foto 19: Desarrollo de Plantines a los 7 días.



Foto 20: Medición de altura de los Plantines.

d) Resultados:

Los resultados obtenidos por lote son los siguientes:

d.1) Lote I

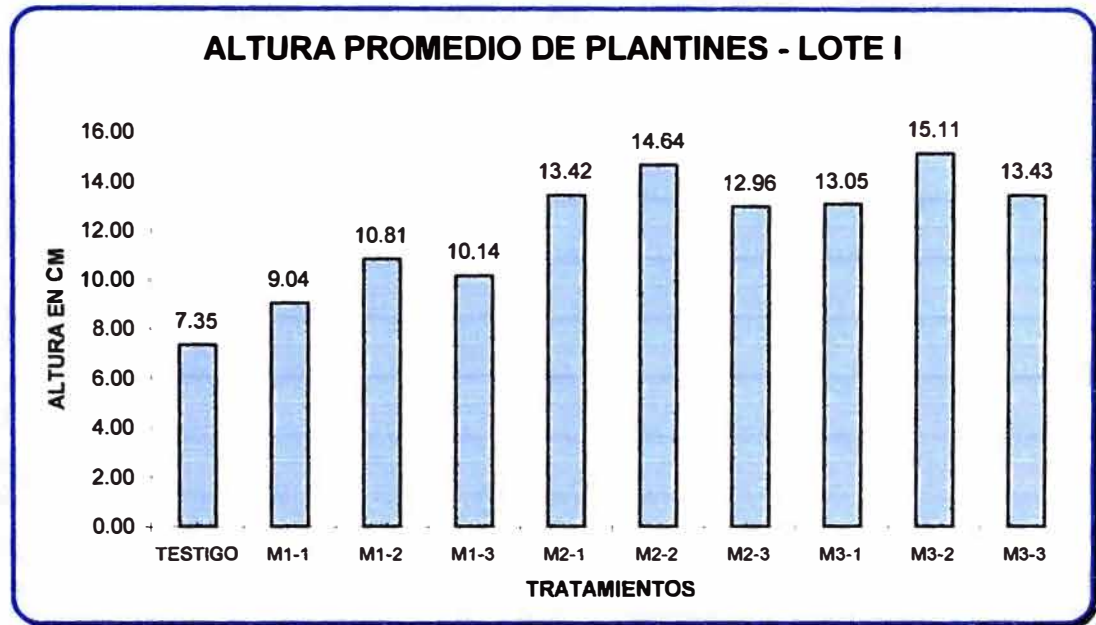
Tabla 31: Datos obtenidos de la medición de altura de los plantines a los 7 días en el LOTE I

TRATAMIENTOS	ALTURAS DE PLANTINES EXPRESADO EN cm										PROMEDIO
TESTIGO	10.70	8.00	8.20	2.50	-	-	-	-	-	-	7.35
M1-1	10.00	11.00	5.00	9.50	9.20	7.70	10.50	7.00	10.50	10.00	9.04
M1-2	9.80	12.50	7.00	11.30	12.00	12.80	11.50	11.90	10.30	9.00	10.81
M1-3	13.20	5.00	13.80	11.00	9.50	7.00	10.50	11.20	11.70	8.50	10.14
M2-1	15.50	14.30	13.00	15.00	14.60	12.60	13.50	12.70	15.00	8.00	13.42
M2-2	13.50	15.00	14.60	14.60	14.70	15.50	13.00	16.00	15.00	14.50	14.64
M2-3	13.40	14.80	9.50	7.50	13.80	15.00	15.00	11.60	16.00	-	12.96
M3-1	10.30	12.70	12.50	13.50	15.30	14.50	13.00	13.20	12.90	12.60	13.05
M3-2	14.50	16.00	15.50	14.50	16.00	15.80	15.20	13.00	15.50	-	15.11
M3-3	12.50	13.50	15.00	11.50	12.50	14.50	13.00	13.00	15.00	13.80	13.43

- Los espacios sin datos corresponden a semillas que no germinaron en la prueba de germinación o a semillas que si bien germinaron, no crecieron.

Grafico 13: Altura promedio de plantines del LOTE

I.



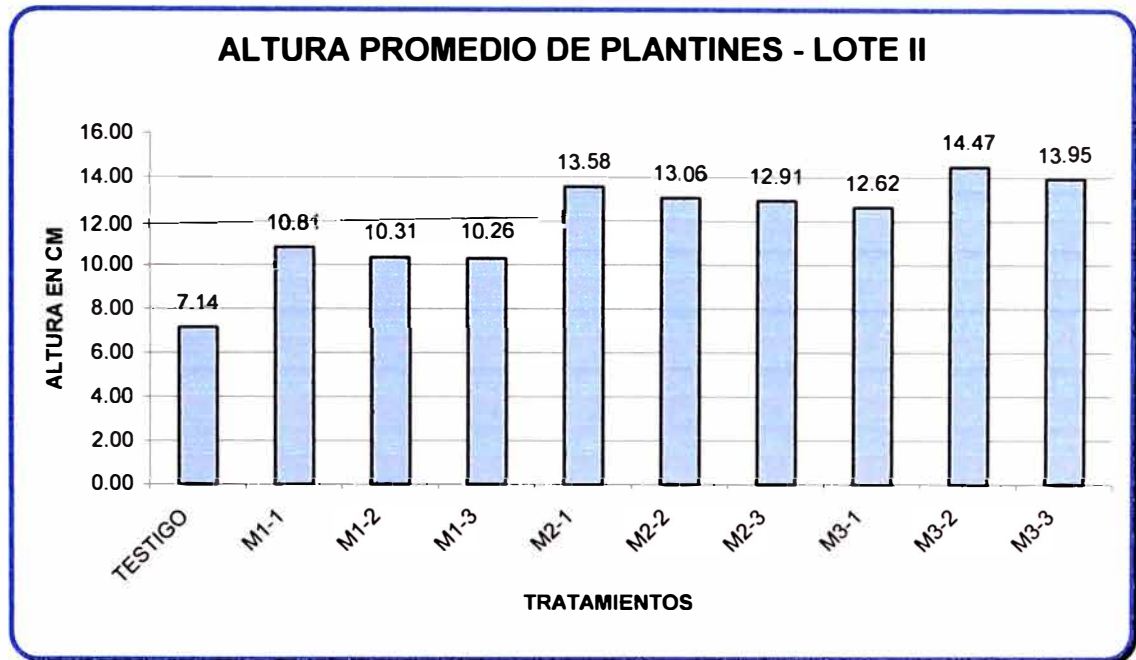
d.2) Lote II

Tabla 32: Datos obtenidos de la medición de altura de los plantines a los 7 días en el LOTE II

TRATAMIENTOS	ALTURAS DE PLANTINES EXPRESADO EN cm.										PROMEDIO
TESTIGO	8.20	7.40	8.00	9.00	6.00	8.90	2.50	-	-	-	7.14
M1-1	13.00	6.50	10.50	11.50	11.50	13.00	10.50	11.00	12.00	8.60	10.81
M1-2	11.00	11.00	10.30	7.00	11.00	10.00	12.00	11.00	9.50	-	10.31
M1-3	11.00	8.00	9.50	11.30	10.00	10.50	7.50	14.00	10.50	-	10.26
M2-1	14.00	13.50	15.00	15.50	14.50	16.20	11.50	13.50	8.50	-	13.58
M2-2	8.00	16.60	14.80	11.00	14.80	14.80	13.50	9.50	14.50	-	13.06
M2-3	13.00	13.60	12.70	12.00	14.00	14.50	14.50	9.00	-	-	12.91
M3-1	12.50	7.50	14.00	13.20	12.30	15.00	11.00	15.60	12.50	-	12.62
M3-2	15.00	14.50	13.00	12.00	13.00	16.50	15.50	15.00	14.00	16.20	14.47
M3-3	14.00	15.60	15.00	14.00	15.00	14.50	11.80	11.50	13.60	14.50	13.95

- Los espacios sin datos corresponden a semillas que no germinaron en la prueba de germinación o a semillas que si bien germinaron, no crecieron.

Grafico 14: Altura promedio de plantines del LOTE II.



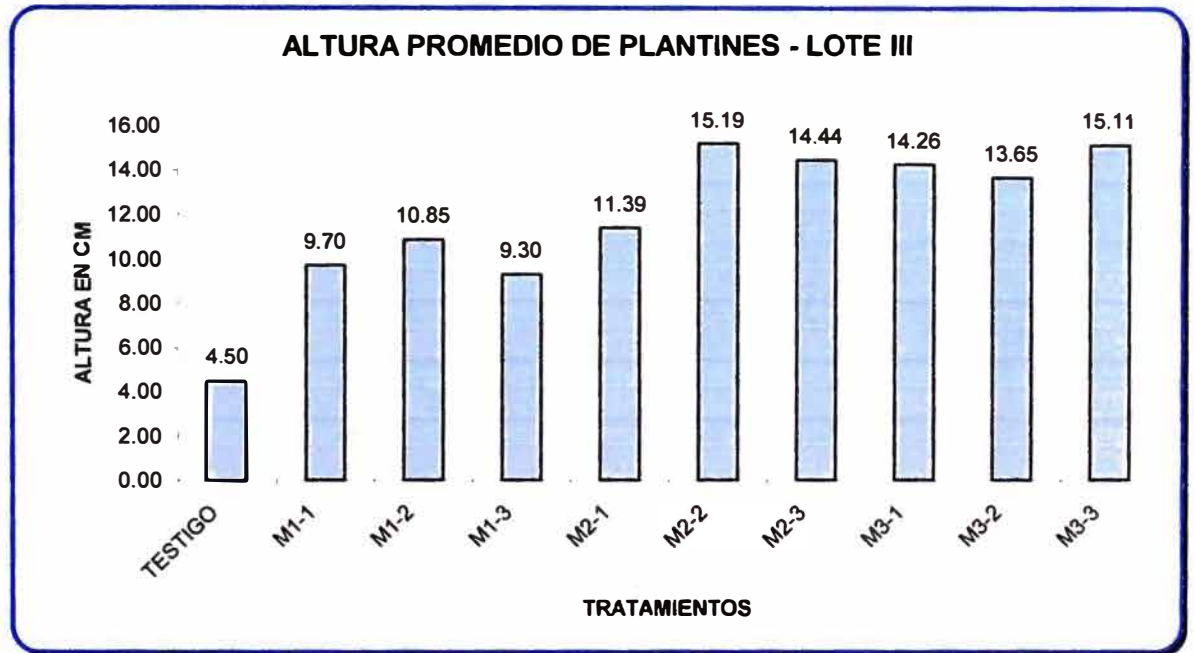
d.2) Lote III

Tabla 33: Datos obtenidos de la medición de altura
de los plantines a los 7 días en el LOTE III

TRATAMIENTOS	ALTURAS DE PLANTINES EXPRESADO EN cm.										PROMEDIO
TESTIGO	5.50	5.00	3.00	-	-	-	-	-	-	-	4.50
M1-1	12.00	4.50	11.50	7.80	10.50	14.80	9.00	7.50	-	-	9.70
M1-2	12.00	10.50	9.60	13.00	10.50	6.00	12.30	10.60	12.50	11.50	10.85
M1-3	1.00	2.00	9.00	14.00	13.50	14.00	7.00	8.00	13.00	11.50	9.30
M2-1	3.00	14.00	14.50	13.00	13.40	12.50	13.00	8.50	7.50	14.50	11.39
M2-2	15.00	15.50	16.20	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	-	15.19
M2-3	14.50	14.00	15.00	15.50	13.50	16.00	14.00	12.50	15.00	-	14.44
M3-1	14.00	12.50	16.00	14.50	13.50	15.00	15.00	14.80	13.00	-	14.26
M3-2	15.00	7.00	14.00	15.00	13.50	15.50	12.00	15.50	15.00	14.00	13.65
M3-3	12.00	15.50	14.60	15.50	15.50	15.00	15.50	16.50	16.00	15.00	15.11

- Los espacios sin datos corresponden a semillas que no germinaron en la prueba de germinación o a semillas que si bien germinaron, no crecieron.

Grafico 15: Altura promedio de plantines del LOTE III.



Promediando los resultados obtenemos los siguientes datos:

Tabla 34: Resultados promedios de la Prueba de condición nutricional del sustrato.

TRATAMIENTOS	ALTURAS DE PLANTINES (cm)			PROMEDIO
	LOTE I	LOTE II	LOTE III	
TESTIGO	7.35	7.14	4.50	6.33
M1-1	9.04	10.81	9.70	10.14
M1-2	10.81	10.31	10.85	
M1-3	10.14	10.26	9.30	
M2-1	13.42	13.58	11.39	13.51
M2-2	14.64	13.06	15.19	
M2-3	12.96	12.91	14.44	
M3-1	13.05	12.62	14.26	13.96
M3-2	15.11	14.47	13.65	
M3-3	13.43	13.95	15.11	

Grafico 16: Resultados promedios de la Prueba de condición nutricional del sustrato.

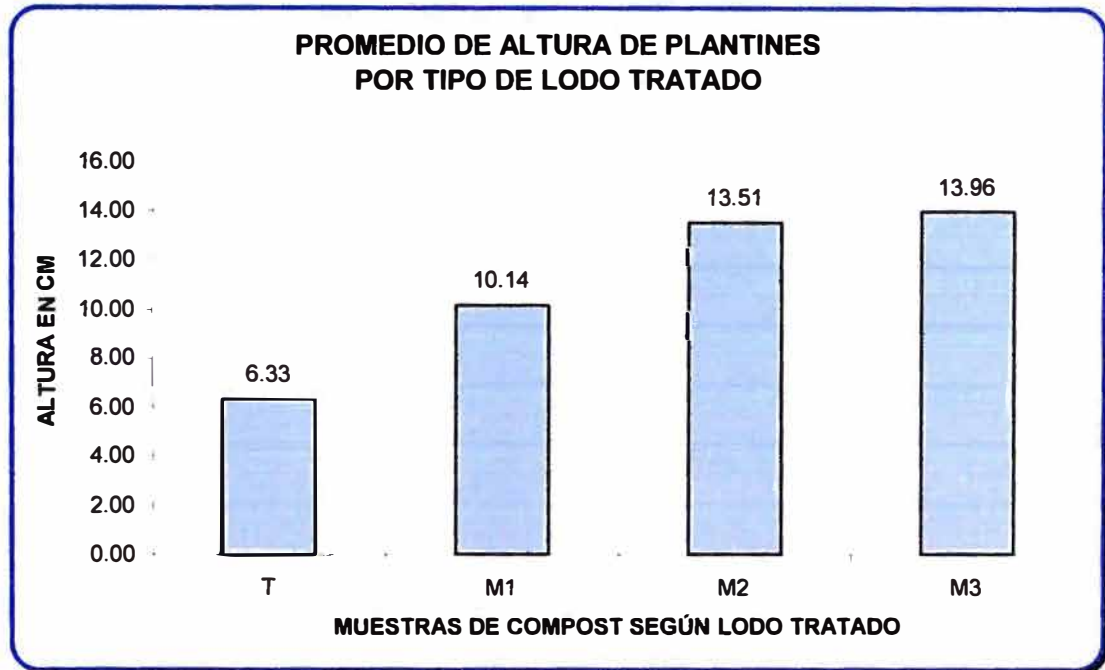


Foto 21: Diferencia de altura de plantines del LOTE I según el tipo de sustrato obtenido por cada lodo tratado.

- Como se aprecia en la Foto 21, a la izquierda de la misma tenemos las tres repeticiones del sustrato orgánico obtenido de tratar el lodo M1 (proveniente del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente). En la parte central primero tenemos el testigo correspondiente a este lote (LOTE I) y detrás del testigo las tres repeticiones del sustrato orgánico obtenido de tratar el lodo M2 (proveniente de las Lagunas Secundarias). Y finalmente a la derecha tenemos las tres repeticiones del sustrato obtenido de tratar el lodo M3 (proveniente del Estanque de Peces). Podemos ver en esta foto la diferencia de altura que hay entre los plantines correspondientes al sustrato orgánico proveniente de tratar los lodos M1, M2 y M3.



Foto 22: Diferencia de altura de plantines del LOTE II según el tipo de sustrato obtenido por cada lodo tratado.

- Como se aprecia en la Foto 22, a la izquierda de la misma tenemos las tres repeticiones del sustrato orgánico obtenido de tratar el lodo M1 (proveniente del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente). En la parte central primero tenemos el testigo correspondiente a este lote (LOTE II) y detrás del testigo las tres repeticiones del sustrato orgánico obtenido de tratar el lodo M2 (proveniente de las Lagunas Secundarias). Y finalmente a la derecha tenemos las tres repeticiones del sustrato obtenido de tratar el lodo M3 (proveniente del Estanque de Peces). Podemos ver en esta foto la diferencia de altura que hay entre los plantines correspondientes al sustrato orgánico proveniente de tratar los lodos M1, M2 y M3.



Foto 23: Diferencia de altura de plantines del LOTE III según el tipo de sustrato obtenido por cada lodo tratado.

- Como se aprecia en la Foto 23, a la izquierda de la misma tenemos las tres repeticiones del sustrato orgánico obtenido de tratar el lodo M1 (proveniente

del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente). En la parte central primero tenemos el testigo correspondiente a este lote (LOTE III) y detrás del testigo las tres repeticiones del sustrato orgánico obtenido de tratar el lodo M2 (proveniente de las Lagunas Secundarias). Y finalmente a la derecha tenemos las tres repeticiones del sustrato obtenido de tratar el lodo M3 (proveniente del Estanque de Peces). Podemos ver en esta foto la diferencia de altura que hay entre los plantines correspondientes al sustrato orgánico proveniente de tratar los lodos M1, M2 y M3.

e) Análisis estadístico de la Prueba de Condición Nutricional del Sustrato.

Analizaremos los resultados de la prueba para ver si hay diferencia significativa entre cada tipo de lodo tratado, para lo cual se realiza un Análisis de Varianza.

e.1) Consideraciones en el análisis:

Para esta prueba se considera:

- Identificamos como TRATAMIENTOS a:
 - M1
 - M2
 - M3
- Identificamos como REPETICIONES:
 - Del Tratamiento M1:
 - M1-1
 - M1-2
 - M1-3
 - Del tratamiento M2:
 - M2-1
 - M2-2
 - M2-3
 - Del tratamiento M3:
 - M3-1
 - M3-2
 - M3-3

e.2) Obtención de datos:

Sabiendo que:

- Los datos de la repetición I son:
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M1-1
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M2-1
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M3-1
 - Un testigo
- Los datos de la repetición II son:
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M1-2
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M2-2
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M3-2
 - Un testigo
- Los datos de la repetición III son:
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M1-3
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M2-3
 - Promedio de las tres bandejas de los valores de M3-3
 - Un testigo

Se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 35: Datos para realizar el Análisis Estadístico de la Prueba de Condición Nutricional del Sustrato

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			SUMA	PROMEDIO
	I	II	III		
M1	9.85	10.66	9.90	30.41	10.14
M2	12.80	14.29	13.44	40.53	13.51
M3	13.31	14.41	14.55	42.27	14.09
TESTIGO	7.35	7.14	4.50	18.99	6.33

* Los valores en la Tabla 35 están expresados en cm.

e.3) Resultados del análisis de Varianza.

Con los datos presentados en la Tabla 35 y empleando el **Software SPSS WINDOWS 9.0** como herramienta para realizar el Análisis Estadístico se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 36: Resultados del Análisis de Varianza de la prueba de Condición Nutricional del Sustrato empleando el **Software SPSS WINDOWS 9.0**

ANÁLISIS DE VARIANZA					
VAR.	G.L. (A)	S.C. (B)	C.M. (B/A)	F_c	F_t
TRATAMIENTO	3	115.204	38.400 (a)	44.557 (a/ c)	0.000
REPETICION	2	2.326	1.163 (b)	1.350 (b/c)	0.328
ERROR	6	5.171	0.862 (c)		

Donde:

- VAR : Variables.
 - G.L. : Grado de Libertad.
 - S.C. : Suma de Cuadrados.
 - C.M. : Cuadrado Medio.
 - F_c : F calculado.
 - F_t : F tabular.
- Como se puede apreciar en la Tabla 36, los valores de F calculado (F_c) son mayores a los valores de F tabular (F_t), por lo que se concluye que si hay significación entres los resultados de alturas promedio correspondientes a los sustratos orgánicos obtenidos de tratar los lodos M1, M2 y M3.
 - En vista a los resultados obtenidos en el análisis de Varianza, aplicaremos la prueba de **DUNCAN** empleando el **Modelo General Linear**.

e.4) Prueba de DUNCAN empleando el Modelo General Linear.

La finalidad de esta prueba es determinar los **Subconjuntos Homogéneos** que se forman con los resultados de la Prueba de Condición Nutricional aplicada a los sustratos provenientes de cada tipo de lodo tratado y de los testigos también.

Con los datos presentados en la Tabla 36 y empleando el **Software SPSS WINDOWS 9.0** como herramienta para realizar la prueba de **DUNCAN** se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 37: Resultados de la prueba de DUNCAN aplicado a la prueba de Condición Nutricional del Sustrato empleando el **Software SPSS WINDOWS 9.0**

TRATAMIENTOS	N	SUBCONJUNTOS HOMOGÉNEOS		
		I	II	III
TESTIGO	3	6.3300		
M1	3		10.1367	
M2	3			13.5100
M3	3			14.0900

* En la tabla se muestran los valores medios de cada tratamiento.

f) Interpretación de resultados

- Como se puede apreciar en la Tabla 37, los resultados obtenidos en el testigo pertenecen al subconjunto homogéneo I. Los resultados obtenidos en el sustrato orgánico producto del tratamiento del lodo M1 (perteneciente al Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente) pertenecen al subconjunto homogéneo II y los resultados obtenidos en el sustrato orgánico producto del tratamiento de los lodos M2 y M3 (pertenecientes a las Lagunas Facultativas y el Estanque de Peces) pertenecen al subconjunto homogéneo III.

g) Conclusiones.

- Los plantines que crecieron en los tres tipos de sustrato orgánico (que pertenecen al tratamiento de los lodos M1, M2 y M3) son de mayor altura que los que crecieron en los testigos. Esto es porque el sustrato orgánico aporta una gran cantidad de nutrientes que permite el buen desarrollo de las plantas, con lo cual se prueba que tienen una buena condición nutricional.
- Como se puede observar el Gráfico 16, la altura promedio alcanzada por los plantines desarrollados en los testigos, es significativamente menor que en los sustratos orgánicos. Esto se debió a que como los plantines desarrollados en los testigos solo lo hicieron sobre algodón, no contaron con la cantidad de nutrientes necesaria para desarrollar más. Solo tenían agua estéril a su disposición.
- La prueba de **Duncan** realizada nos indica que el sustrato obtenido del tratamiento de los lodos M2 y M3 tienen componentes nutricionales así como texturales que permitieron un crecimiento significativamente superior con respecto a aquellos desarrollados en el sustrato obtenido del tratamiento del lodo M1.
- Así mismo los plantines desarrollados en el sustrato orgánico obtenido de tratar el lodo M1 alcanza una altura significativamente mayor con respecto al los testigo, cuyos plantines solo contaron con agua estéril a su disposición.
- Citando lo expuesto en el Item 9.1 del Capítulo V (Marco Teórico): “La estabilidad/madurez es un tema crítico con respecto a la aplicación del compost debido a que un compost inmaduro puede ser perjudicial para el ambiente del suelo y para la planta, ya que continua en proceso de descomposición, lo cual puede inducir a condiciones de anaerobiosis a medida que los microorganismos utilicen el oxígeno para descomponer el material del suelo (Butler *et al.*, 2001). También puede causar una disminución del crecimiento de la planta y dañar los cultivos debido a la competencia por oxígeno o causar una Fitotoxicidad a las plantas debido a la insuficiente biodegradación de la materia orgánica (Brodie *et al.*, 1994; He *et al.*, 1995; Kelling *et al.*, 1994; citado por Wu *et al.*, 2000)”, se puede concluir que el motivo por el cual los plantines desarrollados en el sustrato orgánico

obtenido de tratar el lodo M1 son significativamente de menor tamaño con respecto a los desarrollados en los sustratos orgánicos obtenidos de tratar los lodos M2 y M3, es porque a un tiempo de maduración del compost de 25 días, los sustratos orgánicos (Compost) obtenidos de los lodos M2 y M3 son más estables que el sustrato orgánico obtenido del lodo M1, debido a que el Lodo del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente es menos digerido que los lodos provenientes de las Lagunas Facultativas y el Estanque de Peces.

12.0 RESULTADOS DEL PROCESO.

Se realizó la caracterización del Compost obtenido de tratar los tres tipos de lodo residual (incluyendo las tres repeticiones de cada tratamiento). Se realizó el análisis de presencia de parásitos, y concentración de Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes, estos dos últimos expresado en NMP/100ml (numero mas probable en 100 mililitros)

12.1 Análisis parasitológicos.

Para la determinación de presencia o ausencia de parásitos en esta etapa final, también se realizaron tres pruebas:

- Inspección directa al microscopio
- Aislamiento mediante solución salina
- Centrifugación de muestra e identificación directa.

Obteniendo como resultado en todas ellas la ausencia de los mismos como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 38: Resultado del análisis parasitológico en las muestras de Compost a base del lodo M1 (R.A.F.A)

REPETICION	MUESTRA	H. ASCARIS	H. TRICHURIS	H. TENIA
1	Muestra M1-1	----	----	----
2	Muestra M1-2	----	----	----
3	Muestra M1-3	----	----	----

Tabla 39: Resultado del análisis parasitológico en las muestras de Compost a base del lodo M2 (Laguna Facultativa)

REPETICION	MUESTRA	H. UNCINARIA
1	Muestra M2-1	----
2	Muestra M2-2	----
3	Muestra M2-3	----

Tabla 40: Resultado del análisis parasitológico en las muestras de Compost a base del lodo M3 (Estanque de Peces)

REPETICION	MUESTRA	H. UNCINARIA
1	Muestra M3-1	----
2	Muestra M3-2	----
3	Muestra M3-3	---

12.2 Análisis microbiológico.

12.2.1 Coliformes Totales:

Los resultados obtenidos en esta prueba microbiológica en las muestras de Compost fueron los siguientes:

- **Tratamiento hecho empleando el lodo M1 (R.A.F.A).**

Tabla 41: Resultado de la prueba de Coliformes Totales en las muestras de Compost a base del lodo M1 (R.A.F.A)

REPETICION	MUESTRA	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml
1	Muestra M1-1	1.60E+07
2	Muestra M1-2	1.30E+06
3	Muestra M1-3	1.30E+06

- **Tratamiento hecho empleando el lodo M2 (Lagunas Facultativas)**

Tabla 42: Resultado de la prueba de Coliformes Totales en las muestras de Compost a base del lodo M2 (Lagunas Facultativas)

REPETICION	MUESTRA	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml
1	Muestra M2-1	1.60E+06
2	Muestra M2-2	1.70E+05
3	Muestra M2-3	1.60E+06

- **Tratamiento hecho empleando el lodo M3 (Estanque de Peces)**

Tabla 43: Resultado de la prueba de Coliformes Totales en las muestras de Compost a base del lodo M3 (Estanque de Peces)

REPETICION	MUESTRA	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml
1	Muestra M3-1	2.80E+05
2	Muestra M3-2	1.70E+04
3	Muestra M3-3	1.70E+04

Basándose en los resultados mostrados en las Tablas 41, 42 y 43 se calculan los promedio aritméticos y geométricos para poder obtener un solo valor de cada tratamiento realizado y compararlos con los datos obtenidos de la caracterización inicial de cada lodo.

Tabla 44: Comparación de la concentración de Coliformes Totales en los Lodos que se trataron, con el Promedio Aritmético y Geométrico de cada uno de los tratamientos realizados respectivamente.

MUESTRA	COLIFORMES TOTALES EN LOS LODOS (NMP/100ml)	COLIFORMES TOTALES EN EL COMPOST (NMP/100ml)	
		Prom. Geométrico	Prom. Aritmético
Muestra M1 (R.A.F.A)	1.60E+10	3.00E+06	6.20E+06
Muestra M2 (Lagunas Facultativas)	2.80E+08	7.58E+05	1.12E+06
Muestra M3 (Estanque de Peces)	3.50E+06	4.33E+04	1.05E+05

12.2.2 Coliformes Termotolerantes:

Los resultados obtenidos en esta prueba microbiológica en las muestras de Compost fueron los siguientes:

- **Tratamiento hecho empleando el lodo M1 (R.A.F.A).**

Tabla 45: Resultado de la prueba de Coliformes Termotolerantes en las muestras de Compost a base del lodo M1 (R.A.F.A)

REPETICION	MUESTRA	COLIFORMES TERMOTOLERANTES NMP/100ml
1	Muestra M1-1	1.70E+04
2	Muestra M1-2	2.20E+04
3	Muestra M1-3	1.30E+04

- **Tratamiento hecho empleando el lodo M2 (Lagunas Facultativas)**

Tabla 46: Resultado de la prueba de Coliformes Termotolerantes en las muestras de Compost a base del lodo M2 (Lagunas Facultativas)

REPETICION	MUESTRA	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml
1	Muestra M2-1	3.40E+03
2	Muestra M2-2	1.70E+03
3	Muestra M2-3	2.70E+03

- **Tratamiento hecho empleando el lodo M3 (Estanque de Peces)**

Tabla 47: Resultado de la prueba de Coliformes Termotolerantes en las muestras de Compost a base del lodo M3 (Estanque de Peces)

REPETICION	MUESTRA	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml
1	Muestra M3-1	9.00E+02
2	Muestra M3-2	9.00E+02
3	Muestra M3-3	1.20E+03

Basándose en los resultados mostrados en las Tablas 45, 46 y 47 se calculan los promedio aritméticos y geométricos para poder obtener un solo valor de cada tratamiento realizado y compararlos con los datos obtenidos de la caracterización inicial de cada lodo.

Tabla 48: Comparación de la concentración de Coliformes Termotolerantes en los Lodos que se trataron, con el Promedio Aritmético y Geométrico de cada uno de los tratamientos realizados respectivamente.

MUESTRA	COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN LOS LODOS (NMP/100ml)	COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL COMPOST (NMP/100ml)	
		Prom. Geométrico	Prom. Aritmético
Muestra M1 (R.A.F.A)	1.60E+05	1.69E+04	1.73E+04
Muestra M2 (Lagunas Facultativas)	1.30E+04	2.50E+03	2.60E+03
Muestra M3 (Estanque de Peces)	3.30E+03	9.91E+02	1.00E+03

13.0 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

13.1 Presencia de Parásitos

Tal como se muestran en los análisis parasitológicos que se realizaron al Compost obtenido después del tratamiento de cada uno de los lodos, hay ausencia de parásitos, lo cual no asegura que efectivamente el Compost no tenga presencia de los mismos debido a que en la caracterización inicial de los lodos, si bien es cierto se encontró presencia de parásitos, esta fue en una mínima concentración.

13.2 Coliformes Totales

Siguiendo la metodología indicada en el libro de Métodos Estándar comparamos los resultados de la caracterización inicial de los lodos con el promedio geométrico obtenido de las repeticiones de cada uno de los tratamientos, obteniendo así:

- En el caso del tratamiento del lodo residual obtenido del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A) se obtuvo una reducción de cuatro unidades logarítmicas.
- En el caso del tratamiento del lodo residual obtenido las Lagunas Facultativas se obtuvo una reducción de tres unidades logarítmicas.
- Y finalmente en el caso del tratamiento del lodo residual obtenido del Estanque de peces se obtuvo una reducción de dos unidades logarítmicas.

13.3 Coliformes Termotolerantes

De la misma forma como se realizó con los Coliformes Totales, se compararon los resultados de la caracterización inicial de los lodos con el promedio geométrico obtenido de las repeticiones de cada uno de los tratamientos, obteniendo así:

- En el caso del tratamiento del lodo residual obtenido del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A) se obtuvo una reducción de una unidad logarítmica.
- En el caso del tratamiento del lodo residual obtenido las Lagunas Facultativas se obtuvo una reducción de una unidad logarítmica.
- Y finalmente en el caso del tratamiento del lodo residual obtenido del Estanque de peces se obtuvo una reducción de una unidad logarítmica.

14.0 CONCLUSIONES

14.1 CONCLUSION GENERAL

Se concluye que, a pesar de la pequeña dimensión de las pilas empleadas para el proceso de compostaje, "SI" se puede obtener una reducción significativa de la carga orgánica y patógena en los lodos residuales producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – UNITRAR, obteniendo como resultado un sustrato orgánico rico en minerales y humus, benéfico para las plantas que puede ser usado con restricción sin representar un riesgo para la salud.

14.2 CONCLUSIONES ESPECIFICAS

a) Con respecto al proceso de compostaje:

- El compostaje es un proceso dinámico debido a las actividades combinadas de una amplia gama de bacterias y hongos, fuertemente influenciado por una sucesión de ambientes favorables.
- Al inicio del proceso de compostaje actúan los microorganismos mesófilos, los cuales rápidamente actúan sobre los compuestos solubles y de fácil degradación. El calor que producen causa que la temperatura del Compost comience a aumentar rápidamente, llegando a los 40°C, lo que provoca que los microorganismos mesófilos se conviertan en menos competitivos y comiencen a actuar los termófilos, los cuales descomponen los compuestos más resistentes que poseen un mayor contenido de celulosas y hemicelulosas.
- Los Actinomycetes siguen en número a las bacterias y actúan principalmente en las etapas finales de descomposición, y son frecuentemente productores de antibióticos que inhiben crecimiento bacteriológico.
- Los Actinomycetes también son especialmente importantes en la formación de humus, liberando carbón, nitrógeno de nitrato y amonio, haciendo así alimentos disponibles para las plantas.
- En general, la eliminación de microorganismos patógenos, parásitos y semillas de mala hierba se da por las temperaturas conseguidas en el

proceso, junto con la competencia por los nutrientes y la producción de fermentos (antibióticos).

- El principio básico más importante en el proceso de compostaje es que se trata de un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, y por lo tanto, se ve afectado por todos los factores que afectan su desarrollo.

b). Con respecto al diseño de mezcla de la pila:

- Es de vital importancia la composición y preparación de la materia orgánica inicial para la obtención de un buen Compost, también se deben considerar las características físicas del material, ya que tienen gran influencia sobre el proceso, pudiendo afectar el grado de descomposición y en algunos casos la habilidad de la pila de mantener las condiciones aeróbicas.
- La porosidad de la pila está relacionada con la aireación e influye en la resistencia al paso de aire a través de la misma, concluyendo así que una pila que tiene una porosidad elevada, no podrá retener el calor no permitiendo, de esta forma el desarrollo del proceso.
- Es importante que el tamaño de las partículas de la pila no sea ni muy grande ni tampoco muy pequeña. Si son muy grandes, el área superficial en la cual los microorganismos se desarrollan va ser muy reducida, produciendo de esta forma una tasa lenta de descomposición de la materia. Tampoco las partículas pueden ser muy pequeñas, pues harían la pila muy compacta dificultando así la circulación de aire a través de la misma, disminuyendo la disponibilidad de oxígeno y por ende la actividad microbiana.
- Se debe realizar una mezcla inicial en proporciones adecuadas de varios materiales para poder obtener mejores resultados en el proceso. Es muy difícil que un solo material residual tenga todas las características requeridas para un buen compostaje
- Se conoce como relación de transformación a la relación carbón / nitrógeno, que describe cuánto carbón contiene un material con relación al nitrógeno.

- El carbono y el nitrógeno son los elementos mas importantes para la descomposición microbiana. El carbono proporciona la fuente de energía a los microorganismos y el nitrógeno es un componente crucial de las proteínas, de los ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas y de las coenzimas necesarias para el crecimiento y la funcionalidad de la célula.

c). Con respecto a la forma y dimensión de la pila:

- La forma geométrica de las pilas es un factor importante que afecta el comportamiento de la temperatura. Si esta es inadecuada se pueden alcanzar temperaturas demasiado altas (letales para los microorganismos), siendo necesario reducir las dimensiones para permitir la pérdida de calor como también puede ser que la pila sea muy pequeña y no alcance las temperaturas optimas para el proceso.
- Con respecto a las pilas desarrolladas en el presente estudio, como fueron concebidas desde un inicio al nivel de laboratorio, no fueron muy grandes. Es posible que esta fuera una de las razones por la que no alcanzaron temperaturas mayores a 57°C y menos, duración y uniformidad en la pila de las máximas temperaturas buenamente alcanzadas.
- Para lograr una reducción significativa de Coliformes Totales y Termotolerantes en las pilas hechas con los lodos residuales y el material de soporte, todo el material tiene que estar expuesto a las condiciones letales. También la exposición a altas temperaturas (mayores a 55°C) debe ser de por lo menos cuatro horas continuas (según Trautmann y Olyncin, 2000), de manera de maximizar su efectividad, pero esto no se logró en las pilas experimentales, posiblemente por su dimensión.

d). Con respecto a los parámetros controlados durante el proceso:

- La temperatura ambiental influye directamente sobre la retención y la continua generación de calor.
- En busca de mejorar la capacidad de retener el calor por parte de las pilas es que se opta por cubrirlas con sabanas de plástico transparente.

De esta forma se consiguió que la pila no perdiera el calor interno que producía. Al tomar esta medida, también se le dio el efecto de solarización (o efecto invernadero) a las pilas, con la finalidad de ayudar a que la temperatura interna de las pilas aumente.

- En la fase Termófila, si existen condiciones óptimas de humedad y ventilación se producen visibles emanaciones de vapor de agua, esto se observo a través de los plásticos transparentes que se colocaron sobre las pilas.
- La frecuencia de riego con agua de las pilas experimentales tuvo que ser controlada porque cuando la humedad es excesiva la proliferación microbiana es suprimida, no por la sobreabundancia de agua sino debido a que disminuye el intercambio gaseoso y por lo tanto existe menor disponibilidad de oxígeno, generando un ambiente anaeróbico.
- Con respecto a la frecuencia de volteo, esta dependió directamente de la temperatura interna de la pila. Inicialmente se hizo un volteo en las pilas para mezclar de forma homogénea los materiales que la conformaban. El segundo volteo de las pilas se hace buscando que la temperatura de las mismas empiece a aumentar y el último volteo se realizó con la finalidad de verificar si el proceso de compostaje había concluido, por lo menos en su etapa termófila.
- Cuando se consiguió que la temperatura interna de la pila aumentara, ya no se realizaba ningún volteo, solo se regaba con agua y se tomaba el control de la temperatura. Esto fue porque la aireación no debe ser excesiva, puesto que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad.

e). Con respecto al período de maduración y calidad del Compost obtenido:

- Después del último volteo realizado a las pilas, se observó que la temperatura ya no subía por lo que a partir de ese instante se empezó a contabilizar el tiempo de maduración del Compost.
- Las pilas recibieron el mismo tratamiento durante el periodo de maduración, es decir que igual se les suministraba agua, se hacían tomas de temperatura y seguían cubiertas por el plástico transparente.

- Al cabo de 25 días de iniciado el periodo de maduración se observó crecimiento de hierba sobre las pilas y los alrededores de las mismas, motivo por el cual se dedujo que el Compost ya no era fitotóxico. De esta forma se procedió a tomar las muestras de cada una de las pilas para hacer los análisis respectivos.
- La prueba de Germinación que se realizó para verificar el grado de fototoxicidad dio como resultado que el Compost no es fitotóxico, por lo que concluimos que, en cuando al tiempo de maduración, ya se podía utilizar.
- Con respecto a la prueba de Condición Nutricional del Sustrato, se obtuvo que el Compost obtenido del proceso contenía nutrientes que influían en forma considerable al buen y rápido crecimiento de las plantas.
- La estabilidad/madurez es un tema crítico con respecto a la aplicación del Compost debido a que un sustrato inmaduro puede ser perjudicial para el ambiente del suelo y para la planta, ya que continua en proceso de descomposición, lo cual puede inducir a condiciones de anaerobiosis a medida que los microorganismos utilicen el oxígeno para descomponer el material del suelo
- Un Compost no maduro puede causar una disminución del crecimiento de la planta y dañar los cultivos debido a la competencia por oxígeno o causar una fototoxicidad a las plantas debido a la insuficiente biodegradación de la materia orgánica.
- El término madurez, se refiere al grado de descomposición de sustancias orgánicas fototóxicas producidas durante el activo período de compostaje
- En la prueba de Condición Nutricional del Sustrato los plantines que se desarrollaron en el Compost obtenido de tratar el lodo del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A) fueron significativamente de menor altura que los plantines desarrollados en los sustratos obtenidos de tratar los lodos de las Lagunas Facultativas y el Estanque de Peces. Se presume que esto se debe a que al mismo tiempo de maduración de los tres tipos de Compost, el obtenido de tratar el lodo del R.A.F.A esta menos maduro, por lo tanto es de menor calidad.

- El R.A.F.A por ser el primer componente en la planta de tratamiento de agua residuales que da un tratamiento biológico (a este componente llega el crudo) produce lodos residuales menos digeridos (mas contaminados) que los obtenidos en las Lagunas Facultativas y los Estanques de Peces. Por esto se concluye que se necesitaría un mayor tiempo de maduración para los Compost producidos con sus lodos.

f). Con respecto a la presencia de parásitos en los Compost:

- En este análisis no se encontró presencia de parásitos en los Compost obtenidos de tratar los diferentes lodos residuales.
- El hecho que no se encontrara presencia de parásitos en las tres pruebas hechas al Compost, no nos asegura que efectivamente los Compost estén libres estos microorganismos, ya que en los lodos residuales tampoco se encontró una cantidad considerable de ellos, posiblemente porque en el desarenador se remueve gran cantidad de los mismos.

g). Con respecto a los Coliformes Totales presentes en el Compost:

- En el análisis de Coliformes Totales se obtuvo como resultado que el proceso de Compostaje logro reducir la concentración en un mínimo de dos unidades logarítmicas (lodos del Estanque de Peces) y un máximo de cuatro unidades logarítmicas (lodos del R.A.F.A)
- En promedio, mediante el proceso de Compostaje, se logro una reducción significativa de Coliformes Totales.

h). Con respecto a los Coliformes Termotolerantes presentes en el Compost:

- En el análisis de Coliformes Termotolerantes se obtuvo como resultado que el proceso de Compostaje logro reducir la concentración en un una unidad logarítmica.
- En promedio, mediante el proceso de Compostaje, se logro una reducción significativa de Coliformes Termotolerantes.

i). Con respecto al Compost obtenido:

- Finalmente se puede decir que el Compost obtenido en este trabajo de investigación se puede utilizar con restricción de tal forma que no represente un riesgo para la salud; de la misma forma que se emplean las aguas tratadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – UNITRAR para regar los jardines de las zonas periféricas y los jardines de la Universidad Nacional de Ingeniería.

15.0 RECOMENDACIONES

- Se debe saber de manera general que tipo de agua residual trata la planta de tratamiento de aguas residuales, es decir, si el agua residual a tratar es solo de origen domestico o también proviene de algún tipo de fabrica. Esto con la finalidad de tener una idea de que tipo de componentes peligrosos pueden estar presentes el los lodos a tratar (como metales pesados y otros).
- Se debe hacer una caracterización inicial del tipo químico y microbiológico de los lodos que se van a tratar de tal forma de conocer su composición y poder verificar la efectividad del proceso.
- Es importante determinar la concentración de Carbono Orgánico Total y Nitrógeno de todos los materiales que se emplearán en la mezcla.
- Se recomienda mezclar varios tipos de materiales para poder así obtener una pila mas rica en carbono orgánico total y nitrógeno de tal forma de optimizar el proceso.
- En la mezcla debe considerarse residuos de follaje o plantas, ya que estas son las que aportan gran cantidad de carbono en forma de celulosa.
- Es de suma importancia hacer un diseño preliminar de la mezcla, para poder saber la cantidad de cada material que se debe utilizar y obtener así una buena relación de transformación en la mezcla.
- Ya que la determinación del Carbono Orgánico Total por medio del Método Volumétrico (combustión directa en corriente de oxígeno) no es muy practico, este se puede determinar analíticamente por diferencia de pesos en la combustión del material a diferentes temperaturas, obteniendo así valores muy cercanos y confiables.
- No es necesario que se obtenga con exactitud (sin margen de error) la concentración de Carbono Orgánico Total en los materiales, pues la relación de transformación debe estar en un rango, mas no tener un valor exacto.

- En caso de que la relación C:N inicial sea muy alta, existe la posibilidad de utilizar aditivos (fuentes de nitrógeno) que permitan ajustar la relación sin alterar el contenido de humedad. Se pueden utilizar fertilizantes como urea, sulfato de amonio, entre otros.
- En caso de que la relación C:N inicial sea muy baja, habrá que agregar mayor cantidad de residuos vegetales u otro material que incorpore celulosa a la mezcla.
- Al momento de hacer las pilas con los materiales seleccionados, esta se debe hacer por capas, es decir, combinar los materiales colocándolos por capas de no mayor de 10 cm. de espesor, para asegura así una mezcla uniforme.
- Es de vital importancia la forma y dimensión de las pilas, pues dependerá mucho de estos dos parámetros la temperatura interna que se alcance con el proceso.
- Se recomienda que tenga forma trapezoidal, de una altura no mayor a 1.50 m ni menor a 0.50 m, con una base mayor que no exceda los 2.00 m y de forma alargada. Así se podrá obtener las temperaturas internas deseadas si correr riesgo que esta llegue a valores muy altos y también, no será un problema el tema de la aireación.
- Se deben tomar datos de temperatura interna por lo menos 3 veces por semana, sienta mejor diariamente, para poder así controlar el proceso y tomar las medidas correctivas en caso de necesitarlas.
- Partiendo de un buen diseño de mezcla, una buena forma y tamaño de las pilas, la frecuencia de volteo debe estar dada por la temperatura interna registrada, es decir que:
 - Si la temperatura interna no sube habiendo pasado un tiempo considerable de iniciado el proceso, se recomienda hacer volteos en las pilas, puesto que puede ser por escasez de oxígeno al interior de la pila provocando así condiciones anaerobias o que falta uniformizar la mezcla.
 - Si se observa que la temperatura interna de la pila empieza a subir en forma constante, NO realizar ningún volteo, pues no es

necesario pues la temperatura interna esta subiendo porque las condiciones aeróbicas son favorables. Por el contrario si se hace volteos en estas circunstancias, se ventilará la pila ocasionando su disminución de temperatura.

- Si la temperatura interna de la pila ah estado subiendo y de pronto se ha visto estancada o peor aun, empieza a descender sin haber llegado por lo menos a 60 °C, se debe realizar un volteo de las mismas, para suministrar oxigeno y evacuar el CO₂ que se forma, el mismo que puede inhabilitar algunos microorganismos de vital importancia en el proceso.
- Si la temperatura empieza a descender después de haber llegado a sus valores máximos, se debe hacer un volteo puesto que es posible que al suministrar O₂ vuelva a aumentar la temperatura interna. Si esto no sucede en repetidas ocasiones, significará que la fase Termófila del proceso ha concluido y se está en el tiempo de maduración.
- Es importante tener en cuenta que la temperatura interna de las pilas debe alcanzar valores no menores a 60 °C por lo menos durante 4 horas continuas, para poder así tener cierta seguridad que el proceso de compostaje esta tratando los lodos residuales.
- En caso se logre que la temperatura interna de la pila alcance valores de 60 °C a mas, eso se dará en el centro de la misma, mas no en su superficie, motivo por el cual se debe hacer un volteo para que el material que estaba en la superficie también este expuesto a temperaturas altas, logrando así exponer todo el material a condiciones letales para los microorganismos que se quieras eliminar.
- La temperatura interna de la pila no debe exceder los 70 °C, pues a esta temperatura se inhibe la actividad de los microorganismos encargados del proceso.
- La frecuencia con la que se suministra el agua depende de varios factores como la porosidad y textura de la mezcla, la temperatura ambiental, la ubicación de las pilas y el grado de saturación del suelo. De manera practica esta frecuencia esta dada por las inspecciones diarias

que se debe hacer a las pilas. Lo que se quiere es que el material siempre este húmedo, mas no saturado de agua.

- Con respecto al tiempo de maduración del Compost, la forma mas practica de ver si el sustrato ya esta lo suficientemente maduro probar si germina alguna semilla de crecimiento rápido (como semilla de frijol). Si esta germina a los 2 días y empieza a crecer sin problema significa que el Compost ya no es fitotóxico y puede utilizarse.
- Se debe tener en cuenta que mientras mas tiempo de maduración se le da al Compost, un sustrato de mejor calidad se obtendrá al finalizar el proceso ya que en el periodo de maduración se eliminan todas las toxinas que se generan durante la etapa del activo compostaje.
- Antes de darle un uso al sustrato orgánico obtenido del proceso de compostaje, se debe hacer una prueba para determinar la presencia de parásitos, concentración de Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes. Mas aun si no se ha llegado a las temperaturas optimas ni tampoco se ha llegado al tiempo mínimo de exposición del sustrato a estas temperaturas.

VIII.- ANEXOS

1.0 NITRÓGENO TOTAL

Para la determinación del nitrógeno total (orgánico y amoniacal), se emplea preferentemente el **MÉTODO KJELDAHL**, que se basa en la conversión del nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal en la forma de bisulfato de amonio (NH_4HSO_4)

El procedimiento del método Kjeldahl comprende tres etapas: digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado, neutralización de la muestra digerida y destilación del amoniaco, titulación con una base valorada.

MATERIALES Y REACTIVOS

- Balanza Analítica 0,0001 gr.
- Matraz Kjeldahl de 100 ml.
- Pipeta graduada de 10 ml
- Probeta graduada de 50 ml
- Espátula
- Embudos de vidrio (un vástago corto y otro vástago largo)
- Cocina eléctrica
- Campana extractora de gases
- Equipo de destilación por arrastre con vapor

PROCEDIMIENTO

a) Digestión con H_2SO_4 concentrado

- Colocar a secar las muestras de lodo



Fotos 24,25,26: Secado de muestras poniendo a la estufa por 3 días a $80^{\circ} C$, para determinación de Nitrógeno Total

- Pesar 1.0 g de lodo y depositarlo en fondo del matraz Kjeldahl, añadir 0.5 g de muestra catalizadora Sulfato de Potasio y Sulfato de cobre



Foto 27: Pesado de aprox. 1.0 gr. de muestra mas 0.5 gr. de mezcla catalizadora ($K_2SO_4 + CuSO_4$ en relación 10: 1)

- Adicionar 10 ml de H_2SO_4 concentrado, usando un succionador, en la boca del matraz se coloca un embudo de vástago sobre la cocina eléctrica con una inclinación de $45 - 60^\circ$. La digestión se lleva a cabo bajo una campana extractora de gas durante 58 - 85 minutos

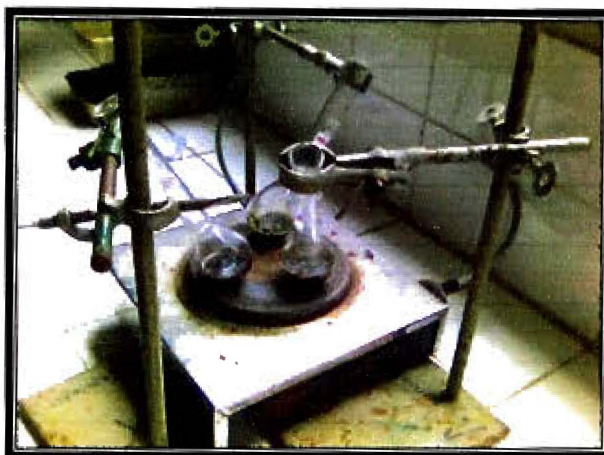
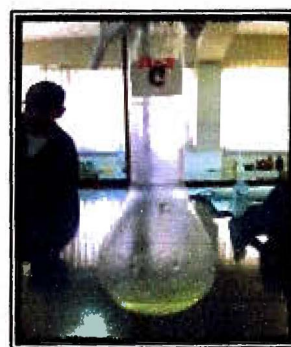


Foto 28: Se le agrega 10 ml de H_2SO_4 y se lleva a digestión por una hora

- Luego de este tiempo la mezcla reaccionara debe adquirir un color gris lechoso. Luego se deja enfriar



Fotos 29, 30, 31 : Después de la digestión las muestras toman una coloración lechosa característica.

- Agregar agua destilada hasta llegar a 50 ml y se procede a filtrar a través de papel de filtro Watts



Fotos 32,33,34: Se agrega agua destilada hasta llegar a 50 ml y se filtra a través de papel de filtro Watts.

b) Destilación del NH_3 sobre HCl Valorado.

- La mezcla fría de la digestión se neutraliza con 40 ml de NaOH al 40% en peso.
- Esta reacción es altamente exotérmica por lo que el matraz Kjeldahl debe sumergirse en agua fría mientras se este realizando la neutralización.
- Con una varilla de vidrio se extrae una muestra para comprobar su alcalinidad usando el papel rojo de tornasol
- Trasvasar la mezcla alcalina al balón Engler de 500 ml del equipo de destilación por arrastre con vapor (usar un embudo de vástago largo)
- En un Erlenmeyer de 250 ml se coloca 20 ml de HCl valorado (0.1N) y 9 gotas del indicador mixto verde de bromocresol y rojo de metilo; luego, en este matraz se colecta el destilado.
- Durante la destilación este contenido debe permanecer color anaranjado.
- El extremo de la descarga del condensador debe estar sumergido en el contenido del matraz colector del destilado.

- Además, debe verificarse que todas las otras conexiones del equipo de destilación por arrastre con vapor estén correctamente instaladas.
- Se hace circular agua en contracorriente a través del condensador y se inicia la destilación encendiendo la cocina eléctrica.
- La destilación se da por terminada cuando una gota del destilado no azulea el papel rojo de tornasol.

c) Titulación del Exceso de HCl

- Se llena una bureta graduada de 50 ml con una solución de NaOH (0.1N9 con el que se valora el exceso de HCl
- El matraz colector del destilado tiene a lograr un viraje de color verde claro
- Anotar el volumen de gasto de NaOH para realizar los cálculos de cantidad de nitrógeno en el suelo.

2.0 CARBONO ORGANICO TOTAL

Para la determinación del carbono orgánico Total se han propuesto numerosos métodos basados casi todos en la combustión del carbono; el método seleccionado para analizar el carbono Orgánico Total en las muestra de lodos y materiales de soporte, es por Combustión Directa de Corriente de Oxígeno que es el método mas exacto.

Se busca combustionar toda la muestra a elevada temperatura en presencia de exceso de oxígeno; el anhídrido carbónico que se desprende en la oxidación del carbono es absorbido por una cantidad conocida de solución titulada de Hidróxido de Bario (Agua de Barita), cuyo exceso se determina con una solución titulada de ácido clorhídrico teniendo como indicador la fenoltaleína.

METRIALES Y REACTIVOS

- Muestra 0.03 gr.
- Balanza Analítica 01 und
- Espátula 01 und
- Matraz 150 ml 02und
- Piceta 01 und
- Pipeta 02 und
- Oxígeno 01 Balon
- Mangueras 01 metro
- Mufla 01 und
- Horno 01 und
- Absorbedores 03 und
- Ácido Clorhídrico (N) 100 ml
- Agua Destilada 1 litros
- Hidróxido de bario 5 gr.
- Fenoltaleína 01frasco

PROCEDIMIENTO

Combustión Directa de Corriente de Oxígeno

- Primero se prepara el agua de barita, en un litro de agua destilada se adiciona 5 gr. de hidróxido de bario esta se abandona por 24 horas de modo que se deposite el carbonato de bario formado, luego esta solución de agua de barita es valorada con ácido clorhídrico.

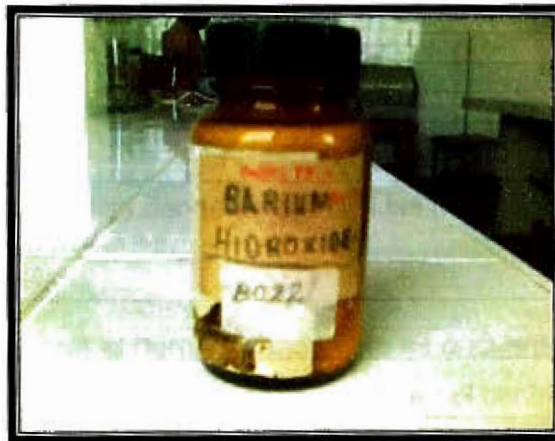


Foto 35: 5gr de Hidróxido de Bario en un Litro de agua para preparar el agua de Barita

- Colocar a secar las muestras de lodo

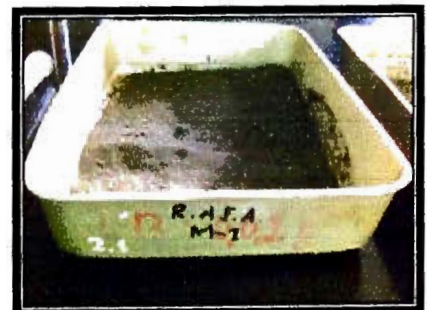


Foto 36,37,38: Secado de muestras poniendo a la estufa por 3 días a 80° C, para determinación de Carbono Orgánico Total

- Luego se toma 0.03 gramos de la muestra a analizar y se coloca en una navecilla. Esta navecilla es colocada en el centro de la mufla.

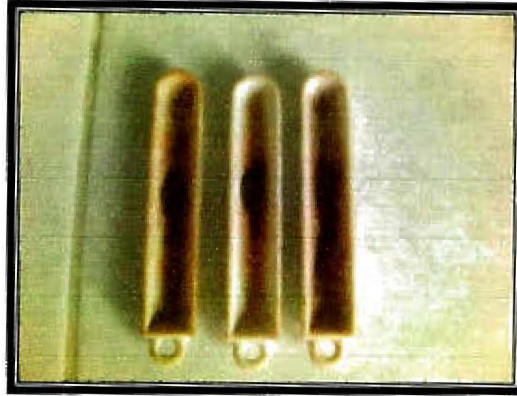


Foto 39: Navecillas donde se colocan las muestras a analizar

- Se procede a calentar el horno, cuando este se encuentre caliente se mueve la mufla de tal manera que la navecilla quede en el centro del horno para que se realice la combustión liberando el oxígeno.

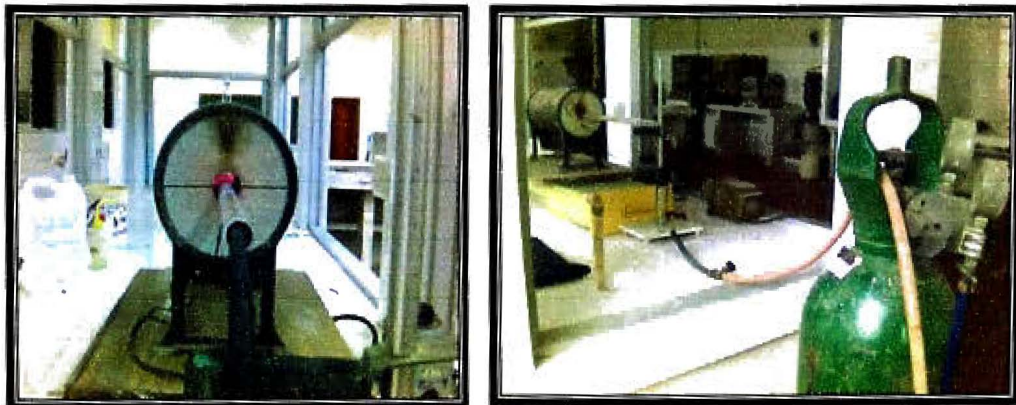


Foto 40,41: Horno calentando y liberación de oxígeno para iniciar el proceso de combustión

- El anhídrido carbónico es atrapado por los absorbentes que contienen volúmenes de 250, 150 y 250 ml de agua de barita cada uno.



Foto 42: Absorción de del anhídrido carbónico durante la combustión

- Se extrae 10 ml de agua de barita en cada absorbedor y se valora con ácido clorhídrico y por diferencia se obtiene el gasto de ácido clorhídrico

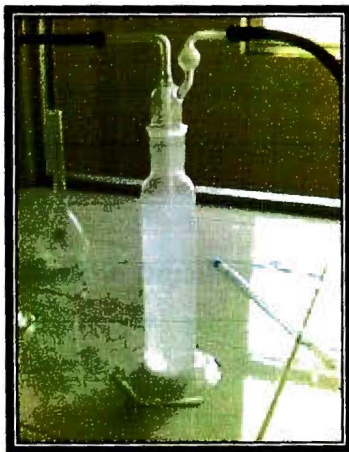


Foto 43 y 44: Extraer 10 ml de agua de barita de los absorbentes y valorar con ácido clorhídrico

CALCULOS Y RESULTADOS

Análisis Preliminar

Determinación de material Volátil, Cenizas, Azufre, Carbono Fijo de las muestras a analizar para realizar una determinación preliminar del carbono orgánico total.

Se hace una análisis de la molécula de carbono en la muestra en forma de C_nH_{2n+2} para obtener un peso promedio de carbono en la muestra:

El peso molecular de $C_nH_{2n+2} = 12*n + 1*(2n+2) = 14n+2$; Para el análisis se toman tres moléculas con valores de $n = 10, 15, 20$

A continuación se detallan los resultados del análisis preliminar de Carbono Orgánico Total:

Tabla 49: Determinación del peso molecular de C_nH_{2n+2}

C_nH_{2n+2}	n	$14n+2$ (a)	Carbono (b)	Peso Carbono % (a/b)	Peso Promedio Carbono %
C10H22	10	142	120	84.51	85.00
C15H32	15	212	180	84.91	
C20H42	20	282	240	85.11	

$$\text{Carbono Orgánico Total} = \text{Peso de carbono} * \text{Volátiles} + \text{Peso de Carbono} * \text{Carbono Fijo}$$

Tabla 50: Determinación deL Carbono Orgánico Total

Análisis	Muestra M1	Muestra M2	Muestra M3	Muestra M4	Muestra M5
Volátiles	48.40%	22.00%	36.00%	72.20%	65.42%
Cenizas	46.00%	76.00%	60.00%	8.40%	7.61%
Azufre	0.20%	0.20%	1.50%	0.05%	0.05%
Carbono Fijo	5.60%	2.00%	4.00%	19.40%	17.57%
%C (Analíticamente)	45.90	20.40	34.00	77.86	70.54

Muestra M 1: Lodo RAFA

Muestra M 2: Lodo de Lagunas Facultativas

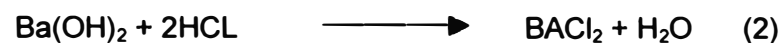
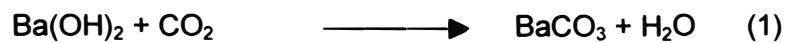
Muestra M 3: Lodo de Estanque de Peces

Muestra M 4: Poda de Pasto

Muestra M 5: Broza de Espárragos.

Análisis de Carbono Orgánico Total

Se tiene como referencia estas reacciones químicas:



Ejemplo:

Se tiene:

Peso de la muestra = 0.0522 gr. (P)

Gasto de HCL = 0.6 ml (G_{HCl})

Concentración del HCl = 0.10726 Normal (C_{HCl})

Volumen de Agua de barita en el absorbedor = 250 ml ($V_{\text{Ba(OH)}_2}$)

La valoración se realiza en V_0 de agua de barita del absorbedor = 10 ml

N = moles

Entonces:

$$(G_{\text{HCl}}) \times (C_{\text{HCl}}) = N \text{ mili moles de HCl}$$

$$0.6 \times 0.10726 = 0.064356 \text{ mili moles de HCl}$$

Por regla de tres simple:

$$\begin{array}{l} N \longrightarrow V_0 \\ X_o \longrightarrow V_{\text{Ba(OH)}_2} \end{array}$$

Entonces se tiene:

$$X_0 = V_{\text{Ba(OH)}_2} \cdot N / V_0 \quad \longrightarrow \quad X_0 = 0.064356 \cdot (250/10)$$

$$X_0 = 1.6089 \text{ mili moles}$$

Según la reacción (2) Por estequiometria:

$$N_{\text{Ba(OH)}_2} = (1/2) \cdot 1.6089 = 0.80445 \text{ mili moles de Ba(OH)}_2$$

$$= 0.0008044 \text{ moles de Ba(OH)}_2$$

Según la reacción (1) Por estequiometria

$$N_{\text{Ba(OH)}_2} = N_{\text{CO}_2}$$

Entonces:

$$\text{Peso de Carbono (P}_0) = N_{\text{Ba(OH)}_2} \times \text{Peso Molecular del Carbono}$$

$$P_0 = 0.0008044 \cdot 12$$

$$P_0 = 0.0096528 \text{ gr. de carbono}$$

Por lo tanto

$$\% \text{ Carbono} = (P_0 / P) \cdot 100$$

$$\% \text{ Carbono} = (0.0096528 / 0.0522) \cdot 100$$

$$\% \text{ Carbono} = 18.47 \%$$

Muestra M1 (Lodo de R.A.F.A)

Tabla 51: Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M 1

Concentración del ácido	0.11328	Molar
Peso de la muestra	0.03	Gramos
Gasto de HCl en Agua de Barita	1.5	Mililitros

Vagua de Barita (ml)	250.00	150.00	250.00
Titilación con HCl (ml)	1.20	1.00	1.30
Gasto de HCl (ml)	0.30	0.50	0.20
Peso de carbono (gr.)	0.0050976	0.0050976	0.0033984
Carbono (%)	45.31 %		

Muestra M2 (Lodo de Lagunas Facultativas)

Tabla 52: Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M2

Concentración del ácido	0.1022	Molar
Peso de la muestra	0.03	Gramos
Gasto de HCl en Agua de Barita	1.6	Mililitros

Vagua de Barita (ml)	250.00	150.00	250.00
Titilación con HCl (ml)	1.50	1.30	1.45
Gasto de HCl (ml)	0.10	0.30	0.15
Peso de carbono (gr.)	0.0015330	0.0027594	0.0022995
Carbono (%)	21.97		

Muestra M3 (Lodo de Estanque de Peces)

Tabla 53: Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M 3

Concentración del ácido	0.1022	Molar
Peso de la muestra	0.03	Gramos
Gasto de HCl en Agua de Barita	2.15	Mililitros

Vagua de Barita (ml)	250.00	150.00	250.00
Titilación con HCl (ml)	1.80	1.55	2.15
Gasto de HCl (ml)	0.35	0.60	0.00
Peso de carbono (gr.)	0.0053655	0.0055188	0.0000000
Carbono (%)	36.28		

Muestra M4 (Poda de Pasto)

Tabla 54: Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M 4

Concentración del ácido	0.11328	Molar
Peso de la muestra	0.03	Gramos
Gasto de HCl en Agua de Barita	1.6	Mililitros

Vagua de Barita (ml)	250.00	150.00	250.00
Titilación con HCl (ml)	1.04	0.76	1.30
Gasto de HCl (ml)	0.56	0.84	0.30
Peso de carbono (gr.)	0.0095155	0.0085640	0.0050976
Carbono (%)	77.26 %		

Muestra M5 (Broza de Espárragos)

Tabla 55: Calculo de Carbono Orgánico Total de la Muestra M5

Concentración del ácido	0.1022	Molar
Peso de la muestra	0.03	Gramos
Gasto de HCl en Agua de Barita	2.2	Mililitros

Vagua de Barita (ml)	250.00	150.00	250.00
Titilación con HCl (ml)	1.75	1.50	1.70
Gasto de HCl (ml)	0.45	0.70	0.50
Peso de carbono (gr)	0.0068985	0.0064386	0.0076650
Carbono (%)	70.01 %		

Comparación del análisis preliminar y la determinación del carbono orgánico total no hay mucha diferencia y se obtiene resultados estimados en el análisis preliminar

Tabla 56: Comparación de los resultados de los dos métodos usados en la determinación de carbono Orgánico Total

Análisis	Muestra M1	Muestra M2	Muestra M3	Muestra M4	Muestra M5
%C (Analíticamente)	45.90 %	20.40 %	34.00 %	77.86 %	70.54 %
%C (Laboratorio)	45.31 %	21.97 %	36.28 %	77.26 %	70.01 %
Δ	0.59	1.57	2.28	0.60	0.53

3.0 pH

FUNDAMENTO TEÓRICO

La reacción del lodo esta referida a su grado de acidez expresado en términos de pH; el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidronio:

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

En función del valor de pH, el lodo pueden ser clasificados en tres categorías. El valor de pH entre 0 y 7 indica un lodo ácido; un valor de 7 corresponde a un lodo neutro. Si el valor esta entre 7 y 14, indica un lodo básico, salino o alcalino, esto influye en el proceso de compostaje debido a su acción sobre los microorganismos. En general, los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6-7,5). Los microorganismos tienen distintos requerimientos de pH, el rango ideal se encuentra entre 6,5 y 8,0

MATERIALES Y REACTIVOS

- Balanza Analítica 0,0001 g
- pH-metro digital HANNA
- Vaso de dispersión de 300 ml
- Frasco lavador o piceta
- Probeta graduada de 100 ml
- Espátula
- Muestra de Lodo
- Agua destilada o des ionizada

PROCEDIMIENTO

- El pH-metro es calibrado con soluciones buffer estándares de pH 4 y 7.. El electrodo del pH-metro es lavado con agua destilada y secado cuidadosamente con un papel filtro o con otro papel absorbente.



Foto 45: Calibración del pH-metro

- Pesar 25 g muestra de lodo adicionarlo a un vaso de dispersión de 500 ml y Agregar 50,0 ml de agua destilada



Foto 46: Dilución 1:2 de muestra con agua destilada, se tomo 25 gr. demuestra y se le agrego 50 ml de agua destilada.

- El electrodo es sumergido en la solución de lodo hasta que se cubra su bulbo, se deja que se establezca el equilibrio y luego se anota el valor de pH.



Foto 47: Determinación del pH por medio de la toma de lectura del pH-metro.

4.0 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA O RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica es la capacidad de un medio o espacio físico de permitir el paso de la corriente eléctrica a su través. También es definida como la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con la que los electrones pueden pasar por él. Varía con la temperatura. Es una de las características más importantes de No confundir con la conductancia, que es

$$G = 1/R$$

(a inversa de la resistencia). La conductividad es la inversa de la resistividad, por tanto

$$\sigma = 1/\rho$$

y su unidad es el S/m (siemens por metro).

MATERIALES

- Balanza Analítica 0,0001 g
- Conductímetro digital HANNA
- Vaso de dispersión de 300 ml
- Frasco lavador o piceta
- Probeta graduada de 100 ml
- Espátula
- Muestra de Lodo
- Agua destilada o des ionizada

PROCEDIMIENTO

- El electrodo del Conductímetro es lavado con agua destilada y secado cuidadosamente con un papel filtro o con otro papel absorbente.



Foto 48: Conductímetro

- Pesar 25 g muestra de lodo adicionarlo a un vaso de dispersión de 500 ml y Agregar 50,0 ml de agua destilada



Foto 49: Dilución 1:2 de muestra con agua destilada, se toma 25 gr de muestra y se le agrego 50 ml de agua destilada.

- Filtrar las diluciones de las muestras



Foto 50: Filtrado de las muestras

- El electrodo es sumergido en la solución de lodo hasta que se cubra su bulbo, se deja que se establezca el equilibrio y luego se anota el valor de conductividad



Foto 51: Determinación del valor de conductividad

5.0 ANALISIS MICROBIOLOGICO Y PARASITOLOGICO

- Se realiza una inspección preliminar y directa y luego se toma las muestras desde la superficie la parte media y el fondo y colocarlas en las laminas porta objetos



Foto 52: Toma de muestra de tres puntos: parte superficial, media y fondo.

- Inspección preliminar – Coloración Gram.:

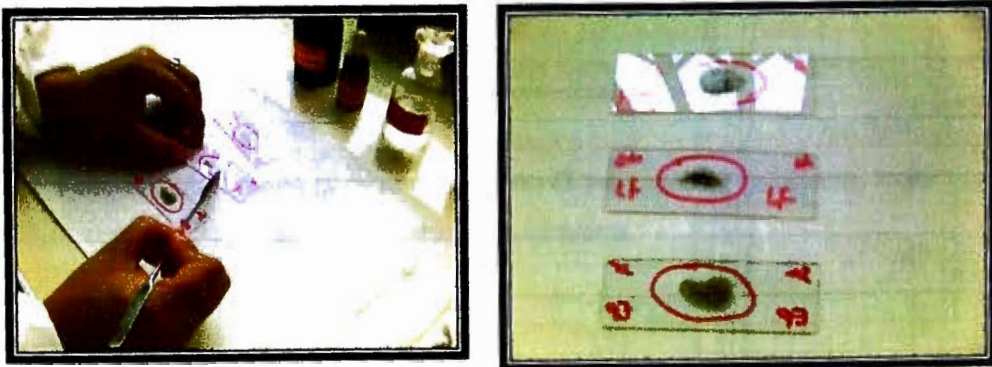


Foto 53 y 54: Colocación de muestra en láminas porta objetos previamente rotuladas.

- Secar las muestras en las laminas porta objetos con ayuda de un mechero de alcohol.

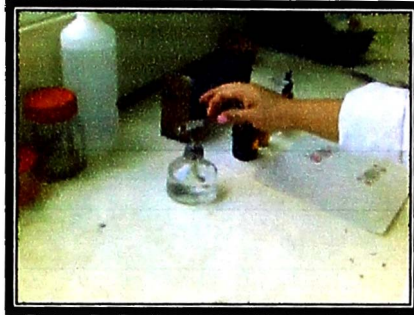


Foto 55: Secado de muestra en láminas porta objetos con mechero de alcohol.



Foto 56: Materiales para la coloración Gram., violeta genciana, lugol, alcohol acetona y safranina.



Foto 57: Coloración de las Gram Positivas.

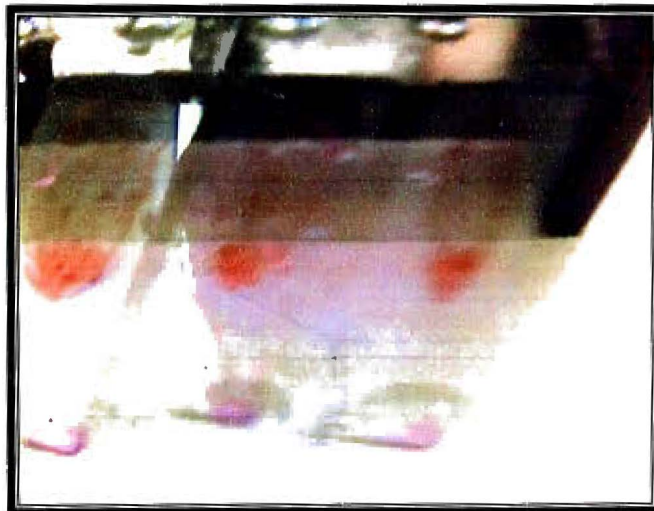


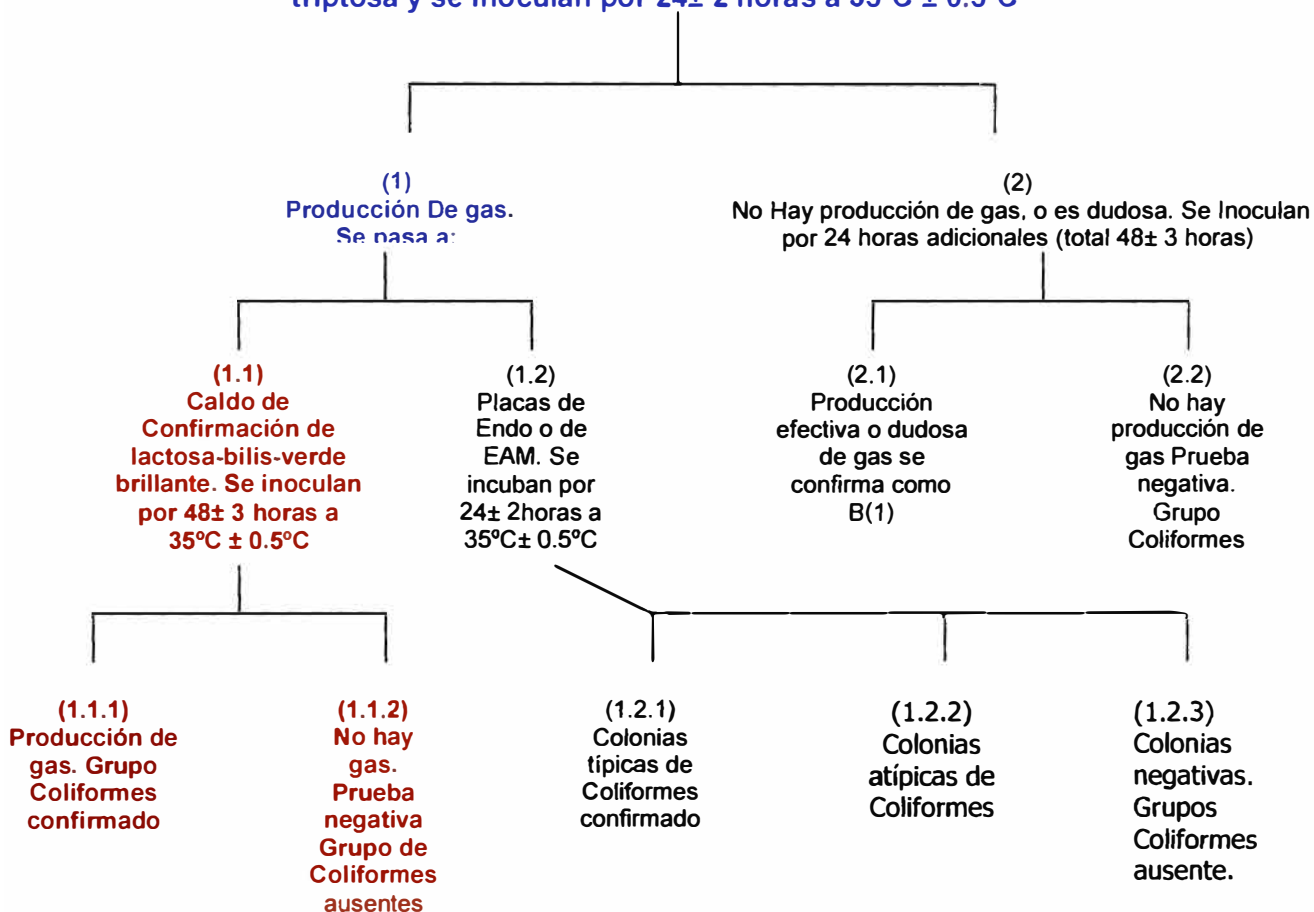
Foto 58: Coloración de las Gram Negativas. Posteriormente se hace la observación microscópica por medio del lente de inmersión (100X).

6.0 COLIFORMES TOTALES

Tomando Como base la determinación de Coliformes Totales para el tratamiento de aguas que se especifica en el libro de Métodos Estándares se determina los Coliformes Totales para las muestras de lodo mediante la siguiente prueba:

PRUEBA CONFIRMATIVA

Se inocula tubos de fermentación con caldo lactosado o con caldo laurel-triptosa y se inoculan por 24 ± 2 horas a $35^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$



Sabiendo que las muestras de lodos procedentes de UNITRAR contienen Coliformes Totales se pasa directamente al paso (1.1) de la prueba confirmativa sin realizar la primera etapa de presunción.

MATERIALES Y REACTIVOS

- Muestra 10 gr.
- Balanza electrónica 01 und
- Espátula 01 und
- Tubos de ensayo 20 und por muestra de lodo
- Medio de cultivo 1.00 l
- Matraz 04 und
- Piceta 01 und
- Pipeta 01 und
- Porta tubos 01 und
- Mechero 01 und
- Horno 01 und

PROCEDIMIENTO

- Preparación del Caldo Brilla (enriquecido con Lactosa) en una concentración de 41gr/litro y colocación del mismo en tubos de ensayo, posteriormente se esteriliza el medio.



Foto 59: Preparación del Caldo Brilla y colocación del mismo en tubos de ensayo

- Extraer 10 gr. de la muestra de lodo y adicionarlas en 100 ml Agua estéril (bilis verde) para preparar las diluciones, luego se procede a prepara las diluciones extrayendo 10 ml. de solución adicionándolas así en un matraz con 100ml de agua estéril y obteniendo la primera dilución 10^{-1} , de esta sacar 10 ml de solución y adicionarlas en otro matraz con 100 ml de agua estéril y así obtener la dilución 10^{-2} y las subsiguientes.



Foto 60 y 61: Preparación de la muestra, 10 gr de muestra y se le agrega 100 ml agua estéril. Preparación de diluciones, se toma 10 ml y se completa con 100 ml de solución salina. Se hacen 4 diluciones de la misma forma.

- Después de prepara las diluciones se inoculan los cinco tubos de ensayos con cada dilución



Foto 62: Colocación de 1 ml de cada dilución de la muestra en tubos

- Luego lleva a una temperatura de $35\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ por 48 ± 3 horas.



Foto 63: Se lleva a la estufa por 48 horas a una temperatura constante de 35°C .
Para Coliformes Totales.

- Después de haber estado en la estufa se sacan los tubos y se observa si hay presencia o ausencia de gas



Foto 64: Presencia de gas en los tubos de ensayos para la determinación de Coliformes totales

RESULTADOS

Coliformes Totales Muestras de lodo

Para la determinación de Coliformes Totales de las tres muestras de lodo se tuvieron que realizar diluciones hasta 10^{-9}

Tabla 57: Determinación de Coliformes Totales de las muestras de Lodo

MUESTRAS	DILUCIONES (D)									NMP Por 100 ml	*	1/D	=	Coliformes Totales
	-2 10	-3 10	-4 10	-5 10	-6 10	-7 10	-8 10	-9 10						
Muestra M 1	5	5	5	5	5	5	4	0	⇒	1600	*	1.0E+07	=	1.60E+10
Muestra M 2	5	5	5	5	4	3	0	0	⇒	280	*	1.00E+06	=	2.80E+08
Muestra M 3	5	5	4	4	0	0	0	0	⇒	350	*	1.00E+04	=	3.50E+06

Coliformes Totales Muestras de las Pilas

Muestra M 1 (Lodos de RAFA)

Tabla 58: Determinación de Coliformes Totales de las muestras M1-1, M1-2, M1-3

MUESTRAS	DILUCIONES (D)									NMP Por 100 ml	*	1/D	=	Coliformes Totales
	-1 10	-2 10	-3 10	-4 10	-5 10	-6 10	-7 10	-8 10						
Muestra M1-1	5	5	5	5	4	0	0	0	⇒	1600	*	1.00E+04	=	1.60E+07
Muestra M1-2	5	5	5	4	0	0	0	0	⇒	130	*	1.00E+04	=	1.30E+06
Muestra M1-3	5	5	5	4	0	0	0	0	⇒	130	*	1.00E+04	=	1.30E+06

Luego de la determinación se calcula el promedio de Coliformes totales

Muestra M 2 (Lodos De Lagunas Facultativas)

Tabla 59: Determinación de Coliformes Totales de las muestras M2-1, M2-2, M2-3

MUESTRAS	DILUCIONES (D)									NMP Por 100 ml	*	1/D	=	Coliformes Totales
	-1 10	-2 10	-3 10	-4 10	-5 10	-6 10	-7 10	-8 10						
Muestra M2-1	5	5	5	4	0	0	0	0	→	1600	*	1.00E+03	=	1.60E+06
Muestra M2-2	5	5	3	3	0	0	0	0	→	170	*	1.00E+03	=	1.70E+05
Muestra M2-3	5	5	5	4	0	0	0	0	→	1600	*	1.00E+03	=	1.60E+06

Luego de la determinación se calcula el promedio de Coliformes totales

Muestra M 3 (Lodos de Estanque de Peces)

Tabla 60: Determinación de Coliformes Totales de las muestras M3-1, M3-2, M3-3

MUESTRAS	DILUCIONES (D)									NMP Por 100 ml	*	1/D	=	Coliformes Totales
	-1 10	-2 10	-3 10	-4 10	-5 10	-6 10	-7 10	-8 10						
Muestra M3-1	5	5	4	3	0	0	0	0	→	280	*	1.00E+03	=	2.80E+05
Muestra M3-2	5	3	3	0	0	0	0	0	→	170	*	1.00E+02	=	1.70E+04
Muestra M3-3	5	4	0	1	0	0	0	0	→	170	*	1.00E+02	=	1.70E+04

Luego de la determinación se calcula el promedio de Coliformes totales

RESUMEN DE LOS RESULTADOS

A continuación se muestra el resumen de la determinación de Coliformes totales para las muestras de lodo y del compost (promedios geométricos y aritméticos)

Tabla 61: Comparación de los resultados iniciales y finales para Coliformes Totales

MUESTRA	COLIFORMES TOTALES LODOS	COLIFORMES TOTALES COMPOST	
		Prom. Geométrico	Prom. Aritmético
Muestra M 1	1.60E+10	3.00E+06	6.20E+06
Muestra M 2	2.80E+08	7.58E+05	1.12E+06
Muestra M 3	3.50E+06	4.33E+04	1.05E+05

Como observamos en las tablas se han calculado los promedios geométricos y aritméticos de las de la determinación de Coliformes totales para las muestras de las pilas.

MATERIALES Y REACTIVOS

- Muestra 10 gr.
- Balanza electrónica 01 und
- Espátula 01 und
- Tubos de ensayo 20 und por muestra de lodo
- Medio de cultivo 1.00 l
- Matraz 04 und
- Piceta 01 und
- Pipeta 01 und
- Porta tubos 01 und
- Mechero 01 und
- Horno 01 und

PROCEDIMIENTO

- Preparación del Caldo Brilla (enriquecido con Lactosa) en una concentración de 41gr/litro y colocación del mismo en tubos de ensayo, posteriormente se esteriliza el medio.



Foto 65: Preparación del Caldo Brilla y colocación del mismo en tubos de ensayo

- Extraer 10 gr. de la muestra de lodo y adicionarlas en 100 ml Agua estéril (bilis verde) para preparar las diluciones, luego se procede a prepara las diluciones extrayendo 10 ml. de solución adicionándolas así en un matraz con 100ml de agua estéril y obteniendo la primera dilución 10^{-1} , de esta sacar 10 ml de solución y adicionarlas en otro matraz con 100 ml de agua estéril y así obtener la dilución 10^{-2} y las subsiguientes.



Foto 66 y 67: Preparación de la muestra, 10 gr de muestra y se le agrega 100 ml de solución salina. Preparación de diluciones, se toma 10 ml y se completa con 100 ml de solución salina. Se hacen 4 diluciones de la misma forma.

- Después de prepara las diluciones se inoculan los cinco tubos de ensayos con cada dilución



Foto 68: Colocación de 1 ml de cada dilución de la muestra en tubos

- Luego lleva a una temperatura de $45 \pm 0.5^\circ\text{C}$ por 48 ± 3 horas.



Foto 69: Se lleva a la estufa por 48 horas a una temperatura constante de 45°C . para Coliformes Termo tolerantes.

- Después de haber estado en la estufa se sacan los tubos y se observa si hay presencia o ausencia de gas



Foto 70: Presencia de gas en los tubos de ensayos para la determinación de Coliformes Fecales

RESULTADOS

Coliformes Termotolerantes

Muestras de lodo

Para la determinación de Coliformes Termotolerantes de las tres muestras de lodo se tuvieron que realizar diluciones hasta 10^{-4}

Tabla 62: Determinación de Coliformes Termotolerantes de las muestras de Lodos

MUESTRAS	DILUCIONES (D)					NMP Por 100 ml	*	1/D	=	Coliformes Termotolerantes
	0.1	0.01	0.001	0.0001						
Muestra N° 1	5	5	4	0	⇒⇒⇒	1600	*	100	=	1.60E+05
Muestra N° 2	5	4	0	0	⇒⇒⇒	130	*	100	=	1.30E+04
Muestra N° 3	4	3	1	0	⇒⇒⇒	33	*	100	=	3.30E+03

Coliformes Termotolerantes Muestras de las Pilas

Muestra M1 (Lodos de RAFA)

Tabla 63: Determinación de Coliformes Termotolerantes de las muestras M1-1, M1-2, M1-3

MUESTRAS	DILUCIONES (D)					NMP Por 100 ml	*	1/D	=	Coliformes Termotolerantes
	0.1	0.01	0.001	0.0001						
Muestra M1-1	5	3	3	0	⇒⇒⇒	170	*	100	=	1.70E+04
Muestra M1-2	5	4	2	0	⇒⇒⇒	220	*	100	=	2.20E+04
Muestra M1-3	5	4	0	0	⇒⇒⇒	130	*	100	=	1.30E+04

Luego de la determinación se calcula el promedio de Coliformes Fecales

Muestra M2 (Lodos De Lagunas Facultativas)

Tabla 64: Determinación de Coliformes Termotolerantes de las muestras M2-1, M2-2, M2-3

MUESTRAS	DILUCIONES (D)					NMP Por 100 ml	*	1/D	=	Coliformes Termotolerantes
	0.1	0.01	0.001	0.0001						
Muestra M2-1	4	4	0	0	⇒	34	*	100	=	3.40E+03
Muestra M2-2	4	1	0	0	⇒	17	*	100	=	1.70E+03
Muestra M2-3	4	3	0	0	⇒	27	*	100	=	2.70E+03

Luego de la determinación se calcula el promedio de Coliformes Fecales

Muestra M3 (Lodos de Estanque de Peces)

Tabla 65: Determinación de Coliformes Termotolerantes de las muestras M3-1, M3-2, M3-3

MUESTRAS	DILUCIONES (D)					NMP Por 100 ml	*	1/D	=	Coliformes Termotolerantes
	0.1	0.01	0.001	0.0001						
Muestra M3-1	2	2	0	0	⇒	9	*	100	=	9.00E+02
Muestra M3-2	2	1	0	1	⇒	9	*	100	=	9.00E+02
Muestra M3-3	2	3	0	0	⇒	12	*	100	=	1.20E+03

Luego de la determinación se calcula el promedio de Coliformes Fecales

RESUMEN DE LOS RESULTADOS

A continuación se muestra el resumen de la determinación de Coliformes Termotolerantes para las muestras de lodo y del compos (promedios geométricos y aritméticos)

Tabla 66: Comparación de los resultados iniciales y finales para Coliformes Termotolerantes

MUESTRA	COLIFORMES TERMOTOLERANTES LODOS	COLIFORMES TERMOTOLERANTES COMPOS	
		Prom. Geométrico	Prom. Aritmético
Muestra M1	1.60E+05	1.69E+04	1.73E+04
Muestra M2	1.30E+04	2.50E+03	2.60E+03
Muestra M3	3.30E+03	9.91E+02	1.00E+03

Como observamos en las tablas se han calculado los promedios geométricos y aritméticos de las de la determinación de Coliformes fecales para las muestras de las pilas.

8.0 REPORTE ARROJADO POR EL Software SPSS WINDOWS 9.0 EN EL ANALISIS ESTADISTICO PARA LA PRUEBA DE GERMINACION

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
TRATAMIENTOS	1	M1	3
	2	M2	3
	3	M3	3
	4	T	3
REPETICIONES	1	I	4
	2	II	4
	3	III	4

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: I.G

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	92592.144	1	92592.144	5962.221	.000
	Error	31.060	2	15.530		
TRT	Hypothesis	60.061	3	20.020	.598	.639
	Error	200.950	6	33.492		
REPET	Hypothesis	31.060	2	15.530	.464	.650
	Error	200.950	6	33.492		
TRT * REPET	Hypothesis	200.950	6	33.492		
	Error	.000	0			

- a MS(REPET)
- b MS(TRT * REPET)
- c MS(Error)

9.0 REPORTE ARROJADO POR EL Software SPSS WINDOWS 9.0 EN EL ANALISIS ESTADISTICO PARA LA PRUEBA DE CONDICION NUTRICIONAL

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
TRATAMIENTOS	1	M1	3
	2	M2	3
	3	M3	3
	4	T	3
REPETICIONES	1	I	4
	2	II	4
	3	III	4

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: I.C

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept Hypothesis	1456.403	1	1456.403	1252.165	.001
Error	2.326	2	1.163		
TRT Hypothesis	115.204	3	38.401	44.557	.000
Error	5.171	6	.862		
REPET Hypothesis	2.326	2	1.163	1.350	.328
Error	5.171	6	.862		
TRT * REPET Hypothesis	5.171	6	.862		
REPET Error	.000	0			

- a MS(REPET)
- b MS(TRT * REPET)
- c MS(Error)

General Linear Model**TRATAMIENTOS****Homogeneous Subsets**

I.C

Duncan

	N	Subset		
TRATAMIENTOS		1	2	3
T	3	6.3300		
M1	3		10.1367	
M2	3			13.5100
M3	3			14.0900
Sig.		1.000	1.000	.484

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = .937.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b Alpha = .05.

REPETICIONES

Duncan

	N	Subset
TRATAMIENTOS		1
M1	3	2,00
M2	3	2,00
M3	3	2,00
T	3	2,00
Sig.		1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 1.000.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b Alpha = .05.

10.0 ALGUNAS DEFINICIONES IMPORTANTES

Abono:	Sustancia que contiene cantidades apreciables de uno o más de los elementos químicos indispensables para la vida vegetal.
Actinomicetes:	Orden de microorganismos que habitan en el suelo
Agronómico:	Relativo a la agricultura
Aminas:	Compuestos nitrogenados básicos que se presentan en los seres vivos formando parte de los aminoácidos.
Aminoácidos:	En la naturaleza existen un poco más de 20 tipos de aminoácidos, que en los seres vivos se unen mediante enlaces peptídicos formando las proteínas.
Bacterias:	Organismos microscópicos unicelulares. Se desarrollan en cualquier parte donde encuentren un sustrato que les aporte energía. Algunas se desarrollan en presencia de aire otras solo prosperan sin oxígeno.
Biodegradable:	Que puede ser transformado en sustancias más simples por los seres vivos
Biodegradabilidad:	Capacidad de un compuesto orgánico para convertirse en otros más simples por procesos metabólicos
Celulosa:	Es el componente principal de la pared de las células vegetales. En las plantas, la celulosa suele aparecer combinada con sustancias leñosas, grasas o gomosas. Salvo algunos insectos, ningún animal tiene en los tejidos verdadera celulosa. Los microorganismos del aparato digestivo de los herbívoros descomponen la celulosa en compuestos absorbibles. La celulosa es insoluble en todos los disolventes comunes y se separa

	fácilmente de los demás componentes de las plantas para formar el papel.
Compost:	Resultado de la oxidación de la materia orgánica
Compostable:	Material orgánico que puede ser convertido en compost.
Compostaje:	Acción de producir compost
Compost Maduro:	Es el producto estabilizado y saneado de compostaje. Ha experimentado descomposición y está en proceso de humificación (estabilización); se caracteriza por contener los nutrientes en formas fácilmente disponibles para las plantas.
Contenido de Humedad:	Peso de agua en el material, dividido por el peso de sólidos.
Contaminantes Orgánicos:	Materiales orgánicos no deseados, incluyendo pesticidas y otros productos químicos sintéticos.
Contaminante:	Material indeseable
Curado:	Última etapa del compostaje que se realiza una vez concluido el proceso principal
Descomposición:	Acción de bacterias y hongos microscópicos sobre la materia orgánica. Estos microorganismos atacan y digieren los compuestos orgánicos complejos reduciéndola a formas más simples que pueden ser asimiladas por las plantas. Rompimiento y fragmentación que sufre la materia orgánica durante su transformación, de compuestos orgánicos de alto peso molecular, en substancias mas simples como sales minerales, ácidos orgánicos, bióxido de carbono, etc.
Diatomeas:	Grupo de algas unicelulares pardas y microscópicas. Sus fósiles se utilizan como insecticida de contacto.
Enzima:	Catalizador orgánico producido por el propio organismo que favorece las reacciones metabólicas

	haciendo disminuir la cantidad de energía necesaria. Las enzimas son los instrumentos que utilizan los genes para dirigir el metabolismo celular.
Esporas:	Elemento de reproducción de los hongos. Formas de resistencia de ciertos microorganismos
Fito Sanitarios:	Productos empleados para combatir plagas y enfermedades de los cultivos
Fito Toxinas:	Productos tóxicos para las plantas
Hemicelulosa:	Carbohidratos que junto con la celulosa y la lignina son los componentes más importantes de la madera. Elemento que forma parte de la pared celular de la celulosa. Es una cadena de glucosa más corta que la celulosa
Hongos:	División del reino vegetal constituida por individuos sin clorofila y de vida saprófita, parasitaria o simbiótica
Humus:	Fracción de la materia orgánica del suelo que ha sufrido ciertas transformaciones
Inertes:	Vidrios, plásticos, etc., que si bien no son deseables no interfieren en la formación del Compost
Inocular:	Añadir microorganismos
Inorgánico:	La materia mineral
Larva:	Estado embrionario de un insecto comprendido entre en huevo y el adulto. A veces una especie presenta varios estados larvales consecutivos.
Lixiviados:	Se refiere a cualquier líquido y sus componentes, que ha percolado o drenado a través de la masa de residuos.
Mejorador de suelo:	Capacidad de un producto de mejorar una o varias características deseables a los suelos en donde se aplica; porosidad, estructura, permeabilidad, estabilidad estructural, retención de nutrientes, etc.
Metales Pesados:	Elementos contenidos en pequeñas cantidades en el compost y cuyas concentraciones se controlan a

	causa de la potencial toxicidad para el ser humano, los animales o las plantas.
Micorrizas:	Simbiosis entre la raíz de una planta y las hifas de determinados hongos. Es más frecuente en los suelos ricos en humus. La asociación resulta beneficiosa para las dos partes y a veces es tan estrecha que algunos árboles no son capaces de vivir independientemente.
Microbiología:	Parte de la Biología que estudia los seres microscópicos
Microorganismos:	Seres vivos que sólo pueden observarse a través de un microscopio
Nitrificante:	Que aporta nitrógeno
Nitritos y Nitratos:	El contenido de nitrito indica la cantidad de nitrógeno parcialmente oxidado y el de nitrato indica oxidación total o estabilidad.
Nutrientes:	Que sirven de alimento
Oxidante:	Sustancias que tienen tendencia a reducirse oxidando así a otras sustancias.
Patógenos:	Que pueden causar enfermedades al hombre.
pH:	Nombre de la escala que mide el valor de la acidez o alcalinidad de una sustancia. Sus valores van de 0 a 14. Se considera neutro un valor de 7, mientras que por debajo del valor corresponde a una materia ácida y por encima a una alcalina.
Pila Estática:	Sistema de compostaje que se realiza apilando los residuos en pilas alargadas que son periódicamente volteadas.
Pila Estática Ventilada:	Sistema de compostaje que usa una serie de tubos horadados (o equivalente) con un sistema de distribución de aire, situados bajo una pila de

compost y conectados a un soplador que aspira o insufla aire a través de las pilas. No se utiliza, o muy escasamente, el volteo de la pila.

- Proteína:** Nombre que recibe cualquiera de los numerosos compuestos orgánicos que forman los organismos vivientes y son esenciales para su funcionamiento.
- Suelo:** Agregado de minerales y de partículas orgánicas producido por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica. En las regiones húmedas, la fracción orgánica representa entre el 2 y el 5% del suelo superficial, siendo menos del 0.5% en suelos áridos o más del 95% en suelos de turba.
- Textura de suelo:** Grosor o finura de las partículas y la proporción de cada uno de los grupos de agregados que constituye el suelo.
- Toxinas:** Compuestos que ocasionan una reducción en la vitalidad de los organismos
- Volatilización:** Pérdida gaseosa de una sustancia a la atmósfera.

VIX.- BIBLIOGRAFIA

- **Alexander, M.** 1977. Introduction to soil microbiology. p. 250-255. En J. Wiley and sons (eds). New York.
- **Brock, T, y M. Madigan.** 1993. Microbiología. p. 848-850. En T. Aloisi y Brecewell,C (eds). Mexico.
- **Butler, T., L.J. Sikora, P.M. Steinhilber y L.W, Douglass.**2001. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. J. Environ. Qual.30: 2141-2148.
- **Chefetz, B., P. Hatcher, Y. Hadar, y Y. Chen.** 1996. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. J. Environ. Qual 25:776-785.
- **Eghball, B, y G.W. Lesoing.** 2000. Viability of weed seeds following manure windrow composting. Compost Sci. Util. 8:46-53.
- **Gorodecki, B, y Y. Hadar.**1990. Suppression of *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii* in container media containing composted separated cattle manure and composted grape marc. Crop Protection 9:271-274.
- **Graves, R.E .**2000. National Engineering Handbook: Composting.
- **Guerra, E., M. Vásquez y M. Díaz.**2001. Dynamics of physicochemical and biological parameters during the co-composting of chesnut burr/leaf litter with solid poultry manure.J Sci Food Agric 81:648-652.
- **Harper, E., F.C. Miller, y B.J. Macauley.**1992. Physical management and interpretation of an environmentally controlled composting ecosystem. Australian Journal of Experimental Agriculture. 32:657-667.
- **Horst, G., M, Arming, y H, Stoppler-Zimmer.**1999. Modeling long-term compost application effects on nitrate leaching. Plant and Soil. 213:75-92.
- **Inbar, Y., Y. Hadar, y Y. Chen.** 1993. Recycling of cattle manure: The composting process and characterization of maturity. J. Environ. Qual. 22:857-863.
- **INTEC.** Corporación de Investigación Tecnológica. 1997. Manual de compostaje. p.21-30.Santiago. Chile.
- **Kapanen, A, y M. Itavaara.** 2001. Ecotoxicity test for compost application. Ecotoxicol. Environ Saf. 49: 1-16.33

- **Korboulewsky, N., S. Dupouyet y, G. Bonin.** 2002. Environmental risk of applying sewage sludge compost to vineyards: carbon, heavy metals, nitrogen, and phosphorus accumulation. *J. Environ. Qual.* 31:1522-1527.
- **Labrador, J.**1996. La materia orgánica en los agrosistemas. p.115-124. En Mundi-Prensa, Madrid, España.
- **Larney, F, y R. Blackshaw.** 2003. Weed seed viability in composted beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 32:1105-1113.
- **Madrid, C y Y. Castellanos.** 1997. Efecto de activadores sobre la calidad de compost elaborados con cachaza y bagazo de la caña de azúcar.
- **Mathur, P.** 1991. Composting processes, pp.147-183. En A.M. Martin (eds), *Bioconversion of waste materials to industrial products.* Elsevier Science Publishers, Essex IG118JU, England.
- **Miller, F. C.** 1991. Biodegradation of solid wastes by composting, pp. 1-25. En A.M. Martin (eds), *Biological degradation of wastes.* Elsevier Science Publishers, Essex IG118JU, England.
- **Parnes, R.** 1990. Fertile Soil: A grower's guide to organic & inorganic fertilizers.p. 51-59. En *Ag Access.* Davis. California.
- **Pinto, C.** 2001.Principios básicos del proceso de compostaje. *Chile Agrícola.* Julio – Agosto:102-107.
- **Raviv, M., S, Medina., A. Krasnovsky y, H. Ziadna.** 2002. Conserving nitrogen during composting. *Biocycle.*Septiembre.48-55.
- **Rodale, J. I.** 1946. Abonos orgánicos: el cultivo de huertas y jardines con compuestos orgánicos. Tres emes. Buenos aires. Argentina.
- **Trautmann, T y, E. Olynciw.**2000.*Cornell Composting Science & Engineering.*
- **Varnero, M.T.** 2001. Desarrollo de substratos orgánicos: Compost y bioabonos. *Publicaciones misceláneas forestales.*Universidad de Chile. Junio. 21-29.
- **Wu, L., L.Q. Ma, y G.A. Martínez.** 2000. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *J. Environ. Qual.* 29:424-429.
- Página web: “UNITRAR” - **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**
http://fia.uni.edu.pe/unitrar/unitrar_index.swf

- **Lina Cardoso Vigueros, Esperanza Ramírez Camperos, Socorro López Armenta, Gabriela Moeller Chávez, Reyna Palma Auyón, Petia Mijaylova Nacheva.** EVALUACIÓN DE COMPOSTA DE LODO RESIDUAL EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS ORNAMENTALES. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- **Jairo Alberto Romero Rojas.** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES – TEORIA Y PRINCIPIOS DEL DISEÑO. Febrero 2004
- **Infojardín, 2006.** Página Web: <http://www.infojardin.com/articulos/Humus.htm>
- **Grupo Emison, 2006.** Página Web: <http://www.emison.com>
- **Calzada, B.J., 1964** Métodos Estadísticos para la Investigación.