

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS

**OPTIMIZACIÓN DE LA DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA DEL
RASTROJO DEL CULTIVO DE PIÑA (*Ananas comusus* var.
comusus cv. MD2) PARA EL MANEJO DE LA MOSCA DEL
ESTABLO (*Stomoxys calcitrans* L.)(Dip.: Muscidae) EN RÍO
CUARTO, COSTA RICA**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía como
requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

ÁNGELO JOSUÉ VARGAS SOLANO

San Carlos, Costa Rica

2019



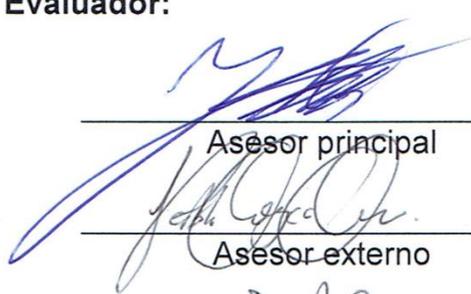
Carrera de Ingeniería en Agronomía
Campus Tecnológico Local
San Carlos
2019 - 2023

**OPTIMIZACIÓN DE LA DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA DEL
RASTROJO DEL CULTIVO DE PIÑA (*Ananas comusus* var.
comusus cv. MD2) PARA EL MANEJO DE LA MOSCA DEL
ESTABLO (*Stomoxys calcitrans* L.) (Dip.: Muscidae) EN RÍO
CUARTO, COSTA RICA**

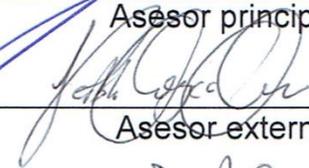
ÁNGELO JOSUÉ VARGAS SOLANO

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

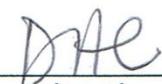
Ing. Biot. Fabián Echeverría Beirute, PhD.


Asesor principal

Ing. Agr. Pablo Josué Orozco Quesada, Lic.


Asesor externo

Ing. Agr. Daniel Antonio Herrera Durán, PhD.

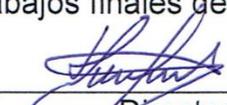

Jurado

Ing. Zulay Castro Jiménez, MGA


Coordinadora

Trabajos finales de graduación

Ing. Agr. Alberto Camero Rey, M. Sc.


Director
Escuela de Agronomía

San Carlos, Costa Rica

2019

DEDICATORIA

Indiscutiblemente, a mi padres, José Joaquín Vargas Morán y María Elieth Solano Soto, pilares fundamentales en mi vida, quienes me brindaron su amor, apoyo y consejo durante todos la etapas mi vida.

Desde el fondo de mi corazón, a la memoria de mi tía abuela María Moran Hernández, por su gran cariño y protección, que siempre estuvieron presentes para mí y mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Biot. Fabián Echeverría Beirute, PhD., por su apoyo incondicional en el desarrollo y conclusión de mi trabajo final de graduación. Su constante positivismo y entusiasmo me mantuvieron motivado en todo momento.

Al Ing. Agr. Pablo Josué Orozco Lic.; quien fue el promotor y pionero en la línea de investigación del ensayo. Su conocimiento sobre el tema me permitió tener un panorama más claro sobre impacto de la mosca establo en la actividad agraria del país.

Al Ing. Agr. Daniel Antonio Herrera Durán, PhD; por su disposición, colaboración y conocimiento. Además, por haber sentado las bases de mi aprendizaje sobre el cultivo de piña.

Al Ing. Agr. Adolfo Vargas Lic.; a quien le estoy agradecido tanto por su amistad durante toda mi etapa universitaria, como por su apoyo y colaboración durante el desarrollo de la investigación.

De manera general deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Ananas Export Company S.A., Fyffes, por abrirme las puertas y poner a mi disposición los recursos necesarios para el desarrollo de mi trabajo final de graduación.

Al personal de trabajo de la finca quien fue vital para la ejecución de la investigación. En especial a los muchachos del departamento de Servicios Técnicos.

Al INTA, especialmente al Ing. Agr. Erick Vargas Lic., por colaboración y aporte de conocimientos técnicos y equipo.

A todas las personas que formaron parte de mi vida universitaria en el TEC; compañeros, funcionarios y amigos.

A Julissa Gonzales Hernández que mostró su apoyo incondicional y quien creyó en mí en todo momento.

INDICE GENERAL

Página

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	4
1.2 Objetivo general.....	6
1.3 Objetivos específicos	6
1.4 Hipótesis de investigación.....	6
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1 Generalidades del cultivo de piña	7
2.1.1 Taxonomía	7

2.1.2	Morfología de la planta.....	7
2.1.3	Manejo del rastrojo de piña	10
2.2	Materia Orgánica	12
2.2.1	Descomposición materia orgánica	12
2.2.2	Compost.....	14
2.2.3	Bokashi	17
2.2.4	Descomposición anaeróbica	18
2.3	Mosca del establo (<i>Stomoxys calcitrans</i> L.)	22
2.3.1	Taxonomía de la mosca	23
2.3.2	Descripción	23
2.3.3	Ciclo de vida.....	24
3	MATERIALES Y METODOS.....	28
3.1	Ubicación	28
3.2	Período de estudio.....	29
3.3	Material Experimental	29
3.4	Descripción de los tratamientos	31
3.5	Variables de respuesta	34
3.5.1	Temperatura del rastrojo en descomposición	34
3.5.2	Peso fresco y peso seco de rastrojo	35
3.5.3	Emergencia de moscas adultas	36
3.6	Área experimental y unidad experimental.....	37

3.7	Diseño experimental y arreglo de tratamientos.....	40
3.7.1	Croquis y especificación del diseño de tratamientos.....	40
3.7.2	Modelo estadístico	41
3.8	Análisis estadístico	42
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1	Descomposición del rastrojo	43
4.1.1	Pérdida de peso del rastrojo durante la descomposición	49
4.2	Emergencia de mosca adulta del rastrojo	56
5	CONCLUSIONES	61
6	RECOMENDACIONES	62
7	BIBLIOGRAFÍA	63
8	ANEXOS.....	73

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Título	Página
1	Condiciones óptimas para la producción de compost en diferentes fases del proceso.	15
2	Comparación de las características de preparación y uso del compost y el bokashi.	18
3	Tipo de fermentaciones y productos generados.	21
4	Protocolo para la derriba en verde y acordonamiento de la plantación de piña para la descomposición anaeróbica del rastrojo, finca Anexco, Río Cuarto, 2019.	31
5	Tratamientos evaluados durante descomposición anaeróbica de rastrojo de piña para el manejo de la mosca de establo. Finca Anexco, Río Cuarto, 2019.	32
6	Peso seco promedio de los tratamientos según el factor aplicación de cal posterior la descomposición anaeróbica de rastrojo de piña, Río Cuarto, 2019.	53
7	Muestreo de estados inmaduros en el rastrojo posterior a la descomposición anaeróbica, según el tiempo de cobertura plástica.	58

INDICE DE FIGURAS

Figura N°	Titulo	Página
1	Comportamiento de la temperatura, pH y O ₂ , en las distintas etapas de compostaje.	16
2	Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos; 1- bacterias fermentativas; 2- bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3- bacterias homoacetogénicas; 4- bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas. Fuente: (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991, presentado por FAO (2011).	22
3	Clasificación de los estadios larvales de <i>S. calcitrans</i> .	24
4	Ciclo de la mosca del establo en condiciones del laboratorio.	25
5	Croquis del lote 309 de la finca Anexco, Ananas Export Company S.A., Río Cuarto, 2019.	28
6	Comportamiento de la temperatura y precipitación durante el período de estudio en la finca Anexo, Río Cuarto, Costa Rica, 2019.	29
7	Bloque número tres, lote 309, finca Anexco, Río Cuarto, 2019.	30
8	Mediciones de temperatura del rastrojo durante la descomposición; A) Medición de temperatura en el cordón; B) Medición de temperatura superficial; C) Medición de temperatura a 30 cm profundidad.	34
9	A) Medición del peso la muestras; B) Aplicación de los respectivo producto biológico a la muestra; C) Mayas de nylon con rastrojo triturado.	36
10	Trampa de emergencia de mosca del establo tipo pirámide.	37

11	Mapa bloque número tres del lote 309 y especificación del área experimental.	38
12	Manera de extender el rastrojo posterior a su respectivo tiempo de descomposición.	39
13	Identificación de las parcelas principales en el ensayo de descomposición de rastrojo de piña para el control de mosca del establo, finca Anexco, Río Cuarto, 2019.	40
14	Croquis de la distribución y asignación de los respectivos tratamientos en las parcelas principales, secundarias y terciarias en el ensayo de la evaluación de la descomposición del rastrojo de piña para el control de mosca del establo, Río Cuarto, 2019.	41
15	Comportamiento general de la temperatura superficial y a 30 cm de profundidad en el rastrojo de piña en la descomposición anaeróbica, Río Cuarto, 2019.	45
16	Temperatura promedio por tratamiento durante el proceso de descomposición anaeróbica de rastrojo de piña, Río Cuarto, 2019. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,05$).	47
17	Peso fresco promedio de los tratamientos según cobertura plástica, Río Cuarto, 2019. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,05$). Cob.= Días de cobertura plástica.	50
18	Peso seco promedio de los tratamientos según cobertura plástica, Río Cuarto, 2019. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,05$). Cob.= Días de cobertura plástica.	51

- 19 Porcentaje de materia seca promedio entre los tratamientos según el tiempo de cobertura plástica. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,05$). 52
- 20 Presencia de hongos saprofitos en el rastrojo de piña, posterior a la descomposición anaeróbica bajo cobertura plástica, Río Cuarto, 2019. 55
- 21 Emergencias de mosca del establo del rastrojo tratamiento posterior a la descomposición anaeróbica del rastrojo de piña, Río Cuarto, 2019. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,0266$). 57
- 22 Emergencia de mosca del establo durante los intervalos de muestreo según los días de cobertura plástica que tuvo el rastrojo del material, Río Cuarto, 2019. 59

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°	Titulo	Página
1	Medición de peso de planta de piña para estimación de la biomasa por hectárea.	73
2	Relleno de drenajes previo a la derriba de la plantación.	73
3	Primera trituración de plantas del material experimental .	74
4	Acordonado del rastrojo posterior a la primer trituración del material.	74
5	Segunda trituración del material.	74
6	Aplicación de cal al cordón de material previo a la segunda trituración del material.	75
7	Retiro del plástico a los 10 días de descomposición anaeróbica.	75
8	Coeficientes de correlación de las variables temperatura del rastrojo en descomposición y las variables ambientales.	76
9	Coeficientes de correlación de las variables temperatura del rastrojo en descomposición y variable de pérdida del peso del rastrojo.	76
10	Emergencias de moscas del rastrojo por tratamiento posterior a la descomposición anaeróbica del rastrojo de piña, Río Cuarto, 2019. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher (p=0,0266).	77
11	Foto panorámica del rastrojo bajo cobertura.	78

RESUMEN

El cultivo de piña es el segundo cultivo de importancia agrícola en Costa Rica. La mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*) es una plaga que se desarrolla en el rastrojo del cultivo de piña posterior al cierre del ciclo de producción, la cual tiene repercusiones negativas en las actividades de producción pecuaria. Con el objetivo de optimizar la descomposición anaeróbica del rastrojo triturado de piña para disminuir la presencia de la plaga, se desarrolló el presente estudio en la finca Anexo, Río Cuarto, Costa Rica. El estudio consistió en evaluar la temperatura interna del rastrojo, pérdida de peso y la emergencia de mosca del establo como efecto de la descomposición bajo la combinación de: 1) días de cobertura plástica (10, 20 y 30 días), aplicación de tres productos biológicos descomponedores de materia (Terrabiosa[®], Bioactivado[®] y E.M.-1[®]), y 3) la aplicación o no de cal [Ca(OH)₂]. La temperatura del rastrojo en descomposición presentó diferencias significativas según el producto biológico, con rangos entre los 36,73 °C a 43,71 °C en la parte superficial del cordón (p=0,0046) y 34,83 °C a 39,30 °C en la parte interna del cordón (p=0,0375). La pérdida de peso mostró diferencias estadísticas entre los factores producto biológico y tiempo de cobertura (p<0,0001). El factor más influyente en la pérdida de peso fue el tiempo de cobertura, donde los tratamientos a 20 y 30 días de cobertura mostraron un promedio de 43,01% de descomposición, mientras que a los 10 días fue de 17,93%. Por su parte, la no aplicación de cal presentó una pérdida de peso 5,52% mayor con respecto a la aplicación (p=0,0056). En cuanto a la emergencia de mosca, se mostró una tendencia de disminución del número de mosca conforme aumentan los días de descomposición del rastrojo (p=0,0266), relacionado a la descomposición del rastrojo.

Palabras clave: mosca del establo, *Stomoxys calcitrans*, piña, rastrojo, descomponedores, materia orgánica

ABSTRACT

Pineapple cultivation is the second crop of agricultural importance in Costa Rica. The stable fly (*Stomoxys calcitrans*) is a pest that develops on the stubble of the pineapple crop after the end of the production cycle, which has a negative impact on livestock production activities. With the objective of optimizing the anaerobic decomposition of the crushed pineapple stubble to reduce the presence of the pest, the present study was carried out at the Anexco farm, Río Cuarto, Costa Rica. The study consisted the evaluate of internal stubble temperature, weight loss and the emergence of stable fly as a result of the decomposition under the combination of: 1) days of plastic coverage (10, 20 and 30 days), application of three products Biological decomposers of matter (Terrabiosa[®], Bioactivated[®] and EM-1[®]), and 3) the application or not of lime [Ca (OH)₂]. The temperature of the decomposing stubble showed significant differences according to the biological product, with ranges between 36.73 °C and 43.71 °C in the superficial part of the cord (p = 0.0046) and 34.83 °C at 39, 30 °C in the inner part of the cord (p = 0.0375). The weight loss showed statistical differences between the biological product factors and coverage time (p <0.0001). The most influential factor in weight loss was the coverage time, where treatments at 20 and 30 days of coverage showed an average of 43.01% decomposition, while at 10 days it was 17.93%. On the other hand, the non-application of lime showed a 5.52% greater weight loss with respect to the application (p = 0.0056). Regarding the emergence of the fly, there was a tendency to decrease the number of fly as the days of stubble decomposition increase (p = 0.0266), related to the decomposition of the stubble.

Keywords: stable fly, *Stomoxys calcitrans*, pineapple, stubble, decomposers, organic matter

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo del sector agrario en Costa Rica ha influenciado positivamente en aspectos sociales y económicos. La competitividad del agro costarricense a nivel internacional, lo ha posicionado por la oferta de productos alta calidad (Valverde *et al.* 2018).

El producto agrícola de segundo grado de importancia de exportación en la actualidad de Costa Rica es la piña (*Ananas comusus* (L.) Merr.) cuya variedad más cultivada es la MD-2, derivada de un híbrido entre 58-1184 x 59-443 creado por el Instituto de Investigación en Piña (Pineapple Research Institute, PRI, Hawái) (Garita 2014). La alta participación de la comercialización de piña fresca en las exportaciones agrícolas y exportaciones totales, la convierten en una actividad productiva de gran importancia económica. Según datos de PROCOMER en el 2016, la exportación de piña fresca representó un 32,5% de las exportaciones pertenecientes al sector agrícola, lo que en valores monetarios representa \$ 875 millones; además a nivel de exportaciones totales, se encontró en segundo lugar representando el 9% (Alpízar *et al.* 2017). Según Mora (2018) basada en datos del SEPSA y el Banco Central de Costa Rica, para el primer semestre del 2018, la exportación de piña obtuvo un 32,8% del total de las exportaciones agrícolas, con un total de \$534,078 millones; sin contemplar exportaciones de piña orgánica y jugo de piña.

Como resultado de la gran actividad económica, la industria piñera tiene influencia directa e indirecta, en el campo social como es la generación de empleos. Cháves (2016), presidente de la Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña señala que la industria piñera genera aproximadamente 31 500 empleos indirectos y estima que 120 000 empleos indirectos.

Las condiciones actuales de la industria piñera, es resultado de un crecimiento productivo, que puede ser denominado como “explosivo”. Según la clasificación de Valverde y colaboradores (2018) la piña entra en la categoría de cultivos permanentes, los cuales tuvieron un aumento de 60 % del área cultivada en el período comprendido entre los años 1984 y 2014, para contemplar un área total de 377 212 ha. Si se hace énfasis únicamente en el cultivo de piña, su cultivo tuvo un aumento 1 422,1%, ya que pasó de 2 474,2 ha en 1984 a 37 659,9 ha en el 2014; inclusive se habla de que el país se ha llegado a manejar 45 000 ha de piña (Gonzales 2012; INEC 2015). No sólo el área sembrada aumentó un promedio anual de 1,5% entre el 2008 y el 2015, sino también la productividad, la cual aumentó un 11,25%, hasta alcanzar 63,54 toneladas (INEC 2017). Es importante resaltar que, a nivel cantonal, San Carlos posee mayor área dedicada a la piña con 10 448 ha; por delante de los cantones de Buenos Aires y Sarapiquí, con 7 101,7 y 4 928,3 ha, respectivamente; San Rafael de Río Cuarto se encuentra entre los cantones de San Carlos y Sarapiquí, sector que para el pasado censo agropecuario se encontraba en una zona donde las extensiones de tierra dedicadas al cultivo de piña se aproximaban las 3000 ha (INEC 2015).

Si bien el panorama del cultivo de piña en términos de productividad, economía y aporte a la sociedad costarricense se ha caracterizado por tener indicadores positivos de crecimiento, no la exenta a las adversidades que se presentan cotidianamente en las explotaciones agrícolas, como es el caso del manejo de plagas. La mosca de establo (*Stomoxys calcitrans* L.), es una plaga de suma importancia que se presenta en la etapa de derriba de las plantaciones de piña, esta no afecta directamente rendimientos productivos del cultivo, sin embargo, si impacta costos de producción al tener que contrarrestar brotes de esta mosca mediante prácticas culturales y/o aplicación productos químicos para su control.

El problema de ésta mosca radica en que se comporta como parasito externo, hematófago, su aparato bucal le permite succionar sangre, causando dolor e irritación en los animales, lo que provoca cambios en su comportamiento como

disminución del consumo de alimento y agrupamiento del hato. Lo anterior repercute en parámetros productivos tanto en la producción de carne como en leche; además de que esta mosca se puede comportar como vector de agentes causales de enfermedades como la anaplasmosis (Vargas y Solórzano 2016, Baldachino *et al.* 2013, Taylor 2012).

Las hembras de la mosca del establo necesitan de materia orgánica en descomposición para completar su ciclo de vida. Después de la oviposición, sus estados larvales se alimentan de cualquier tipo de materia orgánica (Solórzano *et al.* 2013; Justin 2008; Salem *et al.* 2012). La mosca del establo se establece en la piña posterior al cierre de un ciclo de producción (duración aproximada de dos años y cinco meses). Las plantaciones de piña poseen una biomasa que oscila entre 210 toneladas métricas (TM) y 250 TM (Solórzano *et al.* 2015), lo cual genera suficiente materia orgánica para continuar el ciclo biológico del insecto, lo cual es difícil de controlar en épocas lluviosas (Solórzano *et al.* 2013a, 2015b; González 2012; CANAPEP 2018).

Herrero *et al.* (1989) realizaron las primeras observaciones en 1987 de la mosca establo, donde se encontraron niveles poblacionales mayores a 700 moscas/animal/día; mientras que Herrero *et al.* (1991) reportaron que los niveles poblacionales de mosca del establo en localidades del Pacífico Sur, aledañas a plantaciones de piña sobrepasaron un umbral económico de 25 moscas por animal (Campbell *et al.* 2001). Otros autores mencionan que los umbrales económicos aceptables de esta mosca son de 14 moscas/pata/animal sin presentar repercusiones económicas (Berry *et al.* 1983), sin embargo, los umbrales de impacto económicos varían según el autor. Taylor (2012) menciona que esta plaga genera considerables pérdidas económicas en los Estados Unidos, donde los montos anuales pueden superar los \$2 billones.

Una estrategia de control de la mosca es la de convertir el rastrojo de la piña en un material menos atractivo para la mosca, para que no la utilice como sustrato para el desarrollo de sus etapas larvales.

1.1 Justificación

Como se mencionó en el apartado anterior, la mosca del establo genera serios problemas sanitarios. El control de los niveles poblacionales o bien posibilidades de diseminación; está regulado y supervisado en Costa Rica por instituciones gubernamentales con el MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) y el SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). González (2012:1-2), respalda esta información, haciendo mención del «Decreto No. 26921-MAG “Reglamento a la Ley de Protección Fitosanitaria No. 7664 en su artículo 88”; el cual estipula que el propietario u ocupante está obligado a tratar, procesar destruir el rastrojo, desechos y residuos de su finca o predios, cuando éstos constituyan riesgo de diseminación o aumento de la población de una plaga que signifique riesgo para determinado cultivo, la salud humana y animal.» Donde en caso de incumplir, se ven amenazados del cese de las labores de preparación de terreno y/o cese del empaque de fruta provenientes de fincas con alerta de mosca, así como denuncias a las autoridades respectivas, donde inclusive puede dar paso denuncias penales (MAG y SFE 2010, González 2012).

Los métodos de manejo del rastrojo de piña básicamente se resumen a dos técnicas: la derriba en verde y derriba en seco. La derriba en verde consiste en derribar la plantación mediante el uso de maquinaria agrícola con el objetivo final de incorporar la mayor cantidad de materia orgánica suelo, donde se pueden combinar con prácticas tales como la chapea de la plantación y el uso de insecticidas para el control de estados inmaduros y adultos de mosca de establo. Por otro lado, la derriba en seco reside en utilizar un herbicida desecante para reducir la biomasa y que el rastrojo se pueda llegar a quemar con fuego (para esto se requiere el permiso del MAG según el Decreto Ejecutivo No. 35368 MAG-S-SINAET) (González 2012,

Solórzano *et al.* 2013). Para ambas técnicas de manejo, en caso de una alta proliferación de mosca de establo, se utiliza como medida de emergencia el enterrado del rastrojo, al menos a dos metros de profundidad, a causa de una alta presión de los brotes altos de mosca del establo (Solórzano *et al.* 2013, 2015). Los costos operacionales del enterrado de rastrojo sobrepasan los costos de la derriba en seco y derriba en verde¹.

Gonzales (2012), menciona que el uso microrganismos descomponedores es otra opción viable para la degradación del rastrojo de piña, ya que estos aceleran el proceso de conversión de biomasa en materia orgánica. Conforme este proceso de degradación avanza, el rastrojo se vuelve menos atractivos para que la mosca lo utilice como sustrato para el desarrollo de su ciclo de vida. Una ventaja es que los microrganismos que se pueden utilizar tanto en derriba en seco como en verde. Solórzano *et al.* (2013) por su parte, señala que no existen suficientes datos para el uso de esta técnica en forma generalizada para el manejo del rastrojo y control de la mosca de establo.

Dada a la necesidad de investigación sobre el uso microrganismos descomponedores en el manejo del rastrojo, así como el uso de cal como regulador de pH y amortiguador de liberación de mal olor, se decidió incursionar en esta investigación.

¹ Orozco, P. 15 feb. 2019. Enterrado del rastrojo de piña por presión de altas poblaciones de mosca. (entrevista). Río Cuarto, Costa Rica, Ananas Export Company S.A.

1.2 Objetivo general

Optimizar la descomposición anaeróbica del rastrojo del cultivo de piña (*Ananas comusus* var. *comusus*) orientada al manejo de la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans* L.) (Dip.: Muscidae) mediante la adición de microorganismos y cal (Hidróxido de calcio) en Río Cuarto, Costa Rica.

1.3 Objetivos específicos

- Cuantificar la emergencia de la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans* L.) en el rastrojo de piña, posterior al período de descomposición anaerobia.
- Evaluar la eficiencia de los productos biológicos en la pérdida de peso por descomposición del rastrojo de plantas de piña.
- Determinar si la aplicación de cal favorece la descomposición del rastrojo de piña y disminuye el desarrollo de mosca del establo.
- Estimar el tiempo óptimo de descomposición bajo cobertura plástica previa para su incorporación al suelo.

1.4 Hipótesis de investigación

La aplicación de productos biológicos y cal (Ca(OH)_2), durante la descomposición anaeróbica bajo cobertura plástica en el manejo del rastrojo de plantaciones de piña, disminuye los niveles poblacionales de la mosca del establo.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del cultivo de piña

2.1.1 Taxonomía

La piña (*Ananas comusus* var. *comusus*) se encuentra taxonómicamente en la familia Bromeliáceas, la cual pertenece al orden bromeliales (Garita 2014; Jiménez 1999). Dicha familia tiene cerca de 45 géneros y 2000 especies, donde la mayor parte son originarias del continente americano; siendo la piña la especie de mayor importancia económica (Paull y Duarte 2011). Se caracteriza por tener gran diversidad en sus integrantes, tanto en sus formas, como en sus colores. En este grupo se encuentran los géneros *Ananas*, donde se ubica la especie de piña de importancia económica. A continuación, se muestra la taxonomía completa de la planta de piña (Garita 2014).

Reino:	Plantae
División:	Magnoliphyta
Clase:	Lilliopsida (monocotiledónea)
Orden:	Bromeliales
Familia:	Bromeliácea
Genero:	<i>Ananas</i>
Especie:	<i>comusus</i>

2.1.2 Morfología de la planta

La piña es una planta herbácea, que desde el punto de vista productivo es considerada como una planta perenne. Debido que a partir de la planta principal o planta madre, se desarrollan brotes que posterior a una primera cosecha, pueden continuar con la producción de frutas (González *et al.* 2007). Cabe mencionar que el calibre del fruto disminuye con cada cosecha (Garita 2014).

Las plantas al alcanzar la madurez fisiológica adquieren tamaños que oscilan de 1 y 1,5 metros con hojas alargadas y estrechas que presentan un arreglo en espiral formando una roseta en el tallo. Se estima que la planta puede producir alrededor de 70 a 80 hojas, las cuales tienen la capacidad de generar brotes en cada axila. Estas yemas tienen la posibilidad de crecer y desarrollarse, donde dan a paso a brotes hijos que continúan con el ciclo productivo de la planta o bien, se utilizan como semilla asexual. Adicionalmente, las yemas también pueden permanecer en dormancia (Garita 2014; Samson 2003).

2.1.2.1 Tallo

El tallo es corto y robusto, en relación con el tamaño de la planta. Este se puede considerar como una maza, la cual se divide en dos zonas: la corteza y el cilindro, los cuales contienen tejidos vasculares delgados, interrumpido por los haces vasculares de las hojas (Garita 2014). En la porción aérea del tallo más cercana al suelo, forma una corona de raíces aéreas. La longitud de los tallos puede variar entre los 25 a 40 cm y puede alcanzar diámetro de 5 a 8 cm en zona más gruesa, mientras que la distancia entre nudos son relativamente cortas ya que pueden ir de 1 a 10 mm (Paull y Duarte 2011, Garita 2014).

Por lo general presenta un crecimiento erecto. Los tallos tienden a arquearse en los hijos provenientes de las yemas axilares. Si vienen de un retoño presentan menos curvatura y son erectos al provenir de una corona (Batholomew *et al.* 2003). Los hijos suelen separarse de la planta madre cuando adquieren pesos que van de los 250 a 450 g (Paull y Duarte 2011). Posterior al establecimiento de la plantación la planta aumenta el tamaño y peso del tallo progresivamente, sin desarrollar ningún cambio en su morfología. Al llegar la fase reproductiva, se pierde la dominancia apical y se da inicio a la formación y crecimiento de estructuras reproductivas e hijos vegetativos. Antes de ocurra este último proceso fisiológico, las plantas adquieren pesos que pueden ir de los 2 kg a los 2,5 kg, esto dependiendo de la variedad (Malézieux *et al.* 2003, Paull y Duarte 2011).

2.1.2.2 Hoja

Las primeras hojas se desarrollan alrededor del cono central el cual conforma la roseta central. Las hojas de piña tienen una fitolaxia 5/13, lo que básicamente consiste en que, si selecciona una hoja en un nudo, para encontrar una hoja en la misma posición en sentido vertical, se deben contar un número de total de 13 hojas y un total de cinco vueltas al tallo (Paull y Duarte 2011, Garita 2014).

Una planta puede llegar producir de 70 hojas a 80 hojas, estas pueden llegar a longitudes entre los 60 cm a 120 cm. Dado que las hojas de una planta de piña no poseen el mismo tamaño y forma, estas se pueden clasificar según su longevidad. Las hojas más jóvenes son las se encuentran más cerca del cono central y las más viejas son las que se encuentran en la parte del tallo más cerca al suelo. Es importante resaltar que las hojas intermedias son las hojas adultas más jóvenes las cuales se denominan hojas D, además son las hojas con mayor longitud (Paull y Duarte 2011, Garita 2014).

Las hojas presentan una forma acanalada (las que son muy jóvenes tienen un canal menos prominente), lo que les permite que el agua que cae sobre las plantas sea desviada hacia centro de esta. El agua que llega a la parte central puede ser absorbida por las raíces aéreas presentes en el tallo, aspecto que ha tenido relevancia en las aplicaciones foliares (Batholomew *et al.* 2003). Además, las hojas están compuestas por estructuras denominadas tricomas, que, a simple vista, es un polvo blancuzco. Estos se encuentran en mayor cantidad en la parte abaxial de hojas y en menor número en la parte adaxial (Paull y Duarte 2011, Garita 2014). A estas estructuras se les atribuye una función de protección contra la pérdida de agua, reteniendo humedad, solución nutritiva y por ende evitando la pérdida de agua por los estomas (Paull y Duarte 2011).

2.1.2.3 Composición nutricional del rastrojo de piña

2.1.3 Manejo del rastrojo de piña

Las plantaciones de piña se establecen por un período aproximado de dos años y seis meses, lo que la actividad piñera se denomina ciclo productivo (González 2012). La finalización de este ciclo da inicio a la etapa de manejo de residuos vegetales o rastrojo; donde se reportan grandes de cantidades de biomasa por hectárea, los cuales se estiman que pueden ir de las 210 toneladas 250 toneladas (Gonzales 2015; Solórzano *et al.* 2015).

El manejo de este material desde el punto de vista productivo se enfoca, en dar un tratamiento al rastrojo previo a la preparación de terreno, para dar a inicio a un nuevo ciclo de producción (García y Rodríguez s.f.). Sin embargo, el manejo de este material también es importante desde el punto de vista sanitario, debido a que la mosca de establo se desarrolla en el rastrojo en descomposición (PITTA PIÑA 2011; Solórzano *et al.* 2013a, 2015); Herrero *et al.* (1991) reportan aumentos poblacionales de la plaga en zonas aledañas a plantaciones de piña.

Según Gonzales (2012) los métodos convencionales del manejo del rastrojo consisten en tres técnicas:

1. Derriba en seco.
2. Derriba en verde.
3. Enterrado del rastrojo.

2.1.3.1 Derriba en seco

La derriba en seco consiste en desecar las plantaciones de piña mediante el uso de herbicidas desecantes, quemarlas con fuego y su posterior incorporación al suelo (Gonzales 2012). A continuación, se describe el procedimiento de derriba en seco señalado por Solórzano *et al.* (2013):

1. Chapea de plantas quince días antes de la aplicación de herbicida.

2. Aplicación de herbicida desecante, por lo general se utiliza paraquat.
3. Colocación de trampas pegajosas, renovándolas cada doce días, lo que va a depender del estado climatológico de la época.
4. Muestreo de estado inmaduro 15 días después de desecado.
5. Quema de la plantación 30 días a 45 días después de la aplicación del herbicida.
6. Incorporación del material al suelo, es importante que este proceso se debe hacer un período máximo de siete semanas después del desecado cuando la temperatura y humedad relativa son altas.

2.1.3.2 Derriba en verde

Solórzano *et al.* (2013) señala que esta es la técnica de mayor riesgo de brote de mosca. Esta consiste en triturar las plantas de piña en verde y luego incorporarla al suelo (Gonzales 2012). En esta técnica se recomienda utilizar herbicidas preventivos. El procedimiento de derriba en verde señalado por Solórzano *et al.* (2013), es:

1. Chapea de las plantas a una altura de 15 cm a 20 cm del suelo, 15 días antes de la derriba.
2. Derriba de la plantación de mediante trituradoras, además de colocar trampas pegajosas ese mismo día.
3. Aplicación de tratamientos preventivos de insecticidas, donde se sugieren los del grupo IGR.
4. Realizar muestreos de estados inmaduros cinco días después de la derriba del material, posterior al primer muestreo, realizar muestreos cada tres días.
5. Incorporar el material a suelo. Los días después de la derriba cuando se realiza este paso, van a depender de los resultados de los muestreos de estados inmaduros.

2.1.3.3 Enterrado del rastrojo

Esta técnica para el manejo del rastrojo es la más de drástica desde punto de vista operacional, debido es la técnica de menor riesgo de brote de mosca (Solórzano *et al.* 2013). Se utiliza cuando los niveles poblacionales de las moscas son muy altos. Consiste en realizar fosas de dos metros de profundidad, en las cuales se colocan el rastrojo de la plantación, ya sea plantas enteras o trituradas y se rellenan al menos con un metro de tierra². Es importante resaltar que los costos operativos de esta técnica son más costosos en relación con la derriba en seca y la derriba en verde, donde los costos por hectárea pueden rondar los \$2000³.

2.2 Materia Orgánica

La materia orgánica es toda sustancia de origen vegetal o animal que se encuentra en suelo. Si proviene de plantas se compone de hojas, tallos y raíces, mientras que, si se origina de animales se compone organismo muertos y por excretas (Garro 2016). La materia orgánica previa a su descomposición está conformada por hidratos de carbono simples y complejos, compuestos nitrogenados, lípidos, ácidos orgánicos, polímeros y compuestos fenólicos (ligninas) y minerales (Meléndez 2003). Dentro de la materia orgánica se deben contemplar el componente orgánico proveniente del plasma microbiano.

2.2.1 Descomposición materia orgánica

El proceso de descomposición se puede dividir en dos subprocesos simultáneos: la degradación de las partículas de gran tamaño a sus componentes estructurales y posteriores a esta es la catálisis de los compuestos orgánicos. En

² Pacheco, R. 21 de feb. 2019. Enterrado del Rastrojo de piña (entrevista). Río Cuarto, Costa Rica, Fyffes.

³ Padilla, C. 21 de feb. 2019. Costos operativos del enterrado del rastrojo de piña (entrevista). Río Cuarto, Costa Rica, Ananas Export Company S.A.

forma general, los compuestos orgánicos complejos de alto peso molecular son degradados mediante procesos hidrolíticos bióticos y abióticos, en compuestos de bajo peso molecular, lo cual desencadena la oxidación de estos compuestos orgánicos hasta obtener los compuestos inorgánicos simples que los constituyen (CO_2 , H_2S , NH_4^+ , PO_4^{3-} , H_2O); teniendo en cuenta que parte de la catálisis orgánica se transforma en biomasa microbiana (Álvarez 2005; Márquez *et al* 2008).

Cuando se inicia el proceso de descomposición de la materia orgánica proveniente de plantas, se genera la liberación de CO_2 mediante la oxidación del carbono (Meléndez 2003; Kass 2007). Kass (2007) menciona que los restos de plantaciones agrícolas, el 70% de su carbono se convierte en CO_2 en el transcurso de un año. Donde la mayoría de ese carbono, son compuestos de carbonos solubles en agua o bien los compuestos asimilados por microorganismos. Las proteínas y polisacáridos también presentan una oxidación acelerada. Los remanentes de estos compuestos pasan a formar parte de la materia orgánica en el suelo y los microorganismos.

Las concentraciones altas de ligninas afectan negativamente la tasa de descomposición, debido a que este compuesto atraviese procesos de descomposición lentos (Gallardo 1994). Márquez *et al.* (2008), mencionan que, durante un período de 200 días de compostaje, el porcentaje de degradación de las ligninas es 0%, basados en el cuadro "Biodegradabilidad de los principales componentes orgánicos de los sustratos" de Haug (1993). La degradación de lignina es el precursor de la formación de compuestos húmicos (Soto 2003; Meléndez 2003; Kass 2007).

Arguello (1991) señala que la descomposición de materia orgánica está condicionada a los factores climáticos de temperatura y humedad. En zonas tropicales se da una mayor degradación de materia orgánica, debido a que la mineralización de la materia orgánica inicia a partir de los 10°C y soporta temperaturas de rondan los 40°C ; las temperaturas donde se describe mayor acción

microbiana están dentro de este intervalo. La humedad está más relacionada con la rapidez de la degradación de materia orgánica; asociada a los niveles poblacionales de organismos de fauna edáfica y microbianos, encargados de la degradación de la materia orgánica; teniendo un rango óptimo para estos organismos que va de los 60% a 70 % humedad (Arguello 1991). La relación de una temperatura y humedad acelera los procesos de degradación de materia orgánica.

2.2.2 Compost

La técnica de elaboración de compost es descrita como un proceso biológico bajo condiciones controladas de transformación de materia orgánica en nutrientes, humus y CO₂. Consiste en la degradación aeróbica donde ocurren aumentos de temperaturas, reducción del volumen y el peso de los materiales, mediante la acción de microorganismos como hongos, bacterias, levaduras y lactobacillus, responsables de las transformaciones bioquímicas (Baltodano 2002; Soto 2003; Márquez *et al.* 2008; Garro 2016).

En el compostaje se deben monitorear parámetros afectan de forma directa el crecimiento y reproducción de los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica. Dentro de estos parámetros se encuentran: la aireación, humedad del substrato, temperatura, pH y la relación C:N (

Cuadro 1). Además, el factor que incide directamente en procesos degradativos son el tamaño de la partícula y el tamaño de montículo o pila de compost (Román *et al.* 2013; Sepúlveda y Alvarado 2013).

Cuadro 1. Condiciones óptimas para la producción de compost en diferentes fases del proceso.

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase mesofílica II (2-5 Semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1-35:1	15:1-20:1	10:1-15:1

Humedad	50%-60%	45%-55%	30%-40%
Concentración de O ₂	~10%	~10%	~10%
Tamaño de la partícula	<25 cm	~ 15 cm	< 1,6 cm
pH	6,5-8,0	6,0-8,5	6,5-8,5
Temperatura	45-60 °C	45 °C- Temperatura ambiente	Temperatura ambiente

Fuente: Román *et al.* 2013.

La producción de compost está marcada por tres etapas principales determinadas por las variaciones térmicas en proceso, sumándose una etapa de maduración (Sztern y Pravia 1999; FAO 2011). La primera etapa es conocida como Fase Mesófila; el material aumenta la temperatura en pocos días (incluso horas) hasta los 40°C - 45°C, los microorganismos mesófilos que utilizan fuentes sencillas de C y N provocando calor y producción ácidos orgánicos, disminuyendo el pH del medio (Soto 2003; Román *et al.* 2013; Sepúlveda y Alvarado 2013; Garro 2016).

La siguiente etapa corresponde a la fase termófila; en la cual la temperatura continúa aumentando gracias al calor liberado por el metabolismo de los microorganismos mesófilos quienes de forma paulatina van siendo sustituidos por microorganismos termófilos. Cuando las temperaturas sobrepasan los 45 °C, aparecen bacterias y hongos termófilos los cuales degradan compuestos como celulosa y lignina. El aumento de temperatura cesa hasta alcanzar 65 °C o 70 °C; etapa que favorece el desarrollo de bacterias productoras de esporas y actinomicetos, degradadores de compuestos como ceras, hemicelulosas y proteínas de alto peso molecular. En el transcurso de la etapa termófila también se da la transformación de N en NH₃, generando un pH que tiende a alcalinidad (Sztern y Pravia 1999; Román *et al.* 2013; Sepúlveda y Alvarado 2013; Garro 2016).

Después que el material alcance su temperatura máxima, inicia un proceso de enfriamiento donde la temperatura alcanza rangos de 40 C°-45°C, conocido como etapa Mesófila II. El descenso de la temperatura comienza una vez que las fuentes de C y N son agotadas. Por descender de los 60°C, reaparecen hongos

saprotitos termófilos degradadores de celulosa, haciéndose visibles talos vegetativos en la superficie del material. A los 40 °C-45 °C, se reinicia la actividad de microorganismos mesófilos generando un leve descenso del pH (Román *et al.* 2013; Sepúlveda y Alvarado 2013).

La etapa de final del proceso de compostaje es la etapa de maduración que tiene una duración promedio de dos meses, en la cual se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de humus (Garro 2016). En la Figura 1, se presentan el comportamiento de la temperatura, pH y O₂, en las distintas etapas de compostaje.

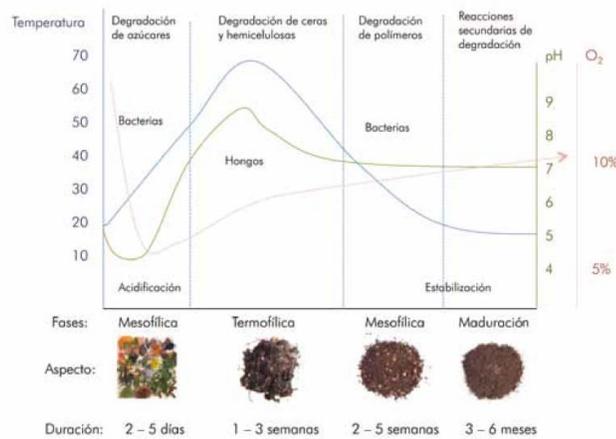


Figura 1. Comportamiento de la temperatura, pH y O₂, en las distintas etapas de compostaje.

Fuente: Román, FAO 2013.

2.2.3 Bokashi

El bokashi se describe como una técnica japonesa de producción de abono orgánico, en el que la materia orgánica es sometida a constantes volteos y temperaturas por debajo de los 45 °C-50 °C, hasta que la actividad microbiana disminuye a causa de la disminución de la humedad del material, considerado como un proceso de compostaje incompleto (Baltodano 2002; Soto 2003). Este abono se deja descomponer en un proceso aeróbico de materiales de origen animal o vegetal,

mezclado con tierra de bosque como inóculo para estimular el proceso de degradación de materia orgánica; sin embargo, en la actualidad se ha normalizado el uso de productos con agentes microbianos, los cuales ayudan a acelerar los procesos de degradación de las materias primas (Okumoto 2003; Ramos y Terry 2014).

La materia orgánica con microorganismos fermentadores mantiene el proceso a temperaturas homogéneas, lo que permite que la energía no sea liberada al exterior durante la elaboración del abono, de esta forma se puede aprovechar la máxima energía del producto final. La prevención de generar putrefacción y malos olores se logra mediante una buena fermentación del material y volteos frecuentes (Okumoto 2003).

Es importante aclarar que, a pesar de tratarse de una fermentación de compuestos orgánicos, la producción de bokashi es un proceso enteramente aeróbico. También, hay que tener presente que el descenso de la temperatura ocurre por la pérdida de la humedad del sustrato en condiciones de campo es probable que el bokashi entre en contacto con agua provocando que se caliente, al tener los microorganismos condiciones óptimas para su desarrollo (Soto 2003).

El objetivo principal de Bokashi es activar y aumentar la cantidad de microorganismos benéficos en el suelo, así como aportar nutrientes y materia orgánica a los microorganismos presentes en el suelo (Ramos y Terry y 2014). Entre los compuestos que aporta son aportados, están las vitaminas, enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, antibióticos, antioxidantes, etc., siendo útiles para las plantas y para la activación de los microorganismos benéficos del suelo (Okumoto 2003).

La producción bokashi difiere en varios aspectos con la producción de abono orgánico mediante el compostaje. En el Cuadro 2, se describen diferencias a gran escala en la elaboración de ambas técnicas.

Cuadro 2. Comparación de las características de preparación y uso del compost y el bokashi.

Característica	Compost	Bokashi
Producto final	Materia orgánica estable	Materia orgánica en descomposición
Temperaturas máximas en proceso	65-70 °C	45-55 °C
Humedad	60% durante todo el proceso	Se inicia con 60%, pero luego se deja secar el material
Frecuencias de volteo	Determinada por la humedad y la temperatura de la cama	Una a dos veces al día para evitar temperaturas muy altas
Duración del proceso	De 1 a 3 meses, dependiendo de la materia prima y la frecuencia de volteo	De 1 a 2 semanas
Temperatura después de aplicado	Estable	Material se recalienta al humedecerse de nuevo

Fuente: Soto 2003

2.2.4 Descomposición anaeróbica

En la búsqueda de alternativas para el manejo de residuos orgánicos, se encuentra el proceso producción energía a partir de su descomposición. La composición la materia orgánica por lo general se caracteriza por el predominio de macromoléculas, las cuales al degradarse en moléculas menor tamaño, liberan energía química mediante el rompimiento de los enlaces. La materia orgánica empleada en esta técnica se le denomina biomasa (Sztern y Pravia 1999). Las poblaciones microbianas participan activamente en la transformación de los residuos orgánicos, caracterizándose por poseer un rango amplio de respuestas frente a molécula de oxígeno, permitiendo bioprocesos tanto en presencia como su ausencia (FAO 2011).

Sztern y Pravia (1999) clasifica como procedimientos por vía húmeda, la degradación de los residuos orgánicos mediante la intervención de microorganismos. La digestión anaeróbica, se puede definir como un proceso de

degradativo que generalmente se desarrolla en temperaturas mesófilas, en el cual los residuos vegetales y animales son convertidos principalmente en biogás e indirectamente se obtienen lodos, que pueden ser utilizados como fertilizantes orgánicos (Sztern y Pravia 1999; FAO 2011; Corrales *et al.* 2015).

La digestión anaeróbica a vez se clasifica en dos subprocesos que se llevan a cabo sin la presencia de oxígeno, como lo son: la fermentación anaeróbica y la respiración anaeróbica. La fermentación anaeróbica, es la catálisis de la materia orgánica a través de reacciones oxidación-reducción en condiciones de oscuridad, mediadas por microorganismos anaerobios, teniendo como aceptor de electrones los productos orgánicos generados durante el proceso. La respiración anaeróbica, también es un proceso anaeróbico, en el que ocurren degradación por reacciones de oxidación-reducción, con la variante que transforma monosacáridos y que el aceptor de final de electrones es una molécula inorgánica distinta de oxígeno (por ejemplo: CO_2 , SO_4^{2-} o NO_3^-) (FAO 2011).

La degradación anaeróbica consta de cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis y metanogénesis [Lorenzo y Obaya 2005; Corrales *et al.* (2015)]. Se hará una breve descripción de los procesos que ocurren en las tres primeras etapas, siendo estas las más afines al desarrollo de este ensayo.

La etapa hidrolítica es la que ocurre la degradación de partículas y moléculas complejas, como lo son las proteínas, hidratos de carbono y lípidos, mediante la acción de exoenzimas como proteolíticas e hidrolíticas, liberadas por microorganismos hidrolíticos como acidogénicos (Lorenzo y Obaya. 2005; FAO 2011). Como resultado se obtienen compuestos solubles simples (monómeros y dímeros), los cuales tiene la capacidad ser absorbidos a través de pared celular de las bacterias (Corrales *et al.* 2015).

Los microorganismos acidogénicos, en primera instancia aprovechan los compuestos solubles disponibles en el sustrato y también los compuestos obtenidos en la hidrólisis. Repercutiendo con un incremento de la actividad metabólica de los

microorganismos, promoviendo la producción de ácidos orgánicos y compuestos fenólicos. Además, sintetizan nuevo contenido celular a partir de aminoácidos, favoreciendo la proliferación de bacterial (FAO 2011; Corrales *et al.* 2015). Es importante, reconocer que los procesos metabólicos en la etapa acidogénica realmente son procesos fermentativos, los cuales se aprovechan de la glucosa producida en la etapa hidrolítica, para tomar distintas rutas fermentativas, como la alcohólica, láctica y acética; en las que se obtienen diferentes productos (Cuadro 3) (Corrales *et al.* 2015).

Cuadro 3. Tipo de fermentaciones y productos generados.

Tipo de fermentación	Productos
Láctica	Lactato
Alcohólica	Etanol, CO ₂
Acida-Mixta	Etanol, Succinato, Acetato, Formiato, Lactato, CO ₂ , H ₂
Butilénglicólica	Butilénglicol, CO ₂
Aceto-butírica	Acetato, Acetona, Butirato, Butanol, Etanol, CO ₂ , H ₂

Fuente: Corrales *et al.* (2015).

Por su parte Lorenzo y Obaya (2005), describen la acetanogénesis como una acidogénesis intermedia, tal y como resalta la FAO (2011), porque algunos productos obtenidos en la acidogénesis, como el acetato y H₂, son procesados por microorganismos metanogénicos. En la acetanogénesis, los ácidos orgánicos, el etanol y algunos compuestos aromáticos deben ser transformados a compuesto mencionado, acetato y H₂. (Corrales *et al.* 2015). En la Figura 2, se muestra las reacciones que ocurren en la digestión anaeróbica de materiales poliméricos.

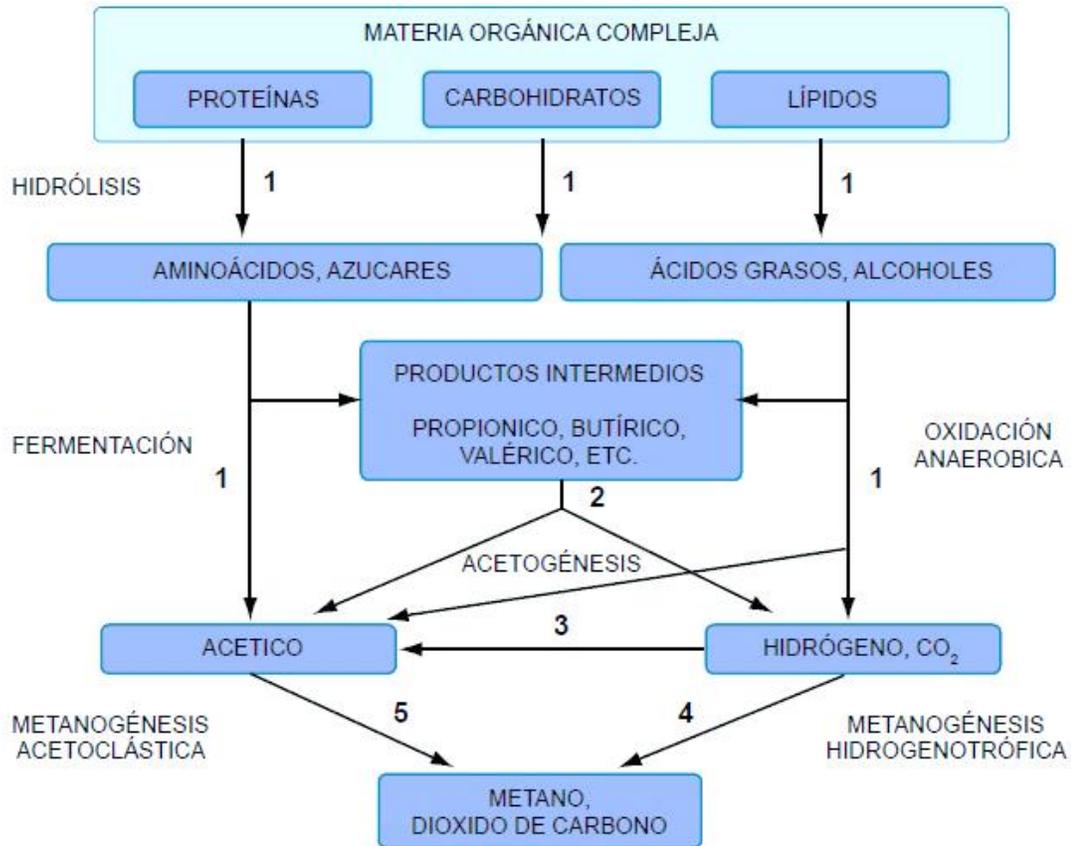


Figura 2. Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos; 1- bacterias fermentativas; 2- bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3- bacterias homoacetogénicas; 4- bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas. Fuente: (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991, presentado por FAO (2011)).

2.3 Mosca del establo (*Stomoxys calcitrans* L.)

La mosca de establo es una plaga cosmopolita, la cual es originaria de continente africano y endémica del trópico húmedo (Rojas *et al* 2010; Skovgard y Nachman 2017). Es un parásito externo, hematófago, el cual utiliza animales de corral como hospederos, repercutiendo negativamente en la productividad de actividades agropecuarias, así como en la transmisión de enfermedades a los animales (Cruz *et al.* 2000; Taylor *et al.* 2012; Baldacchino *et al.* 2013).

2.3.1 Taxonomía de la mosca

Zumpt (1973), Talley (2008), Rojas *et al.* (2010) Müller (2011); Salem (2012) y Kaufman y Weeks (2016) ubican taxonómica a *S. calcitrans* de la siguiente forma:

- **Reino:** Animalia
- **Phyllum:** Arthropoda
- **Subphyllum:** Hexapoda
- **Clase:** Insecta
- **Orden:** Diptera
- **Familia:** Muscidae
- **Subfamilia:** Stomoxyinae
- **Tribu:** Stomoxyini
- **Género:** *Stomoxys*
- **Especies:** *calcitrans* L.

2.3.2 Descripción

S. calcitrans se caracteriza por tener una metamorfosis completa, por ende, contempla los estadios de huevo, larva, pupa y adulto. Los huevos son de 1 mm de longitud, de forma elíptica y color blanco (PITTA PIÑA 2011; Kaufman y Weeks 2016; Skovgard y Nachman 2017). Según PITTA PIÑA (2011), la etapa larval está compuesta por cuatro estadios larvales los cuales se pueden apreciar en la figura 3, otros autores como Salem (2012); Solórzano *et al.* (2014) Kaufman y Weeks (2016) y Skovgard y Nachman (2017), solamente mencionan tres estadios larvales. El tamaño de la larva inicia desde los 1,25 mm y puede alcanzar hasta los 11-12 mm, las larvas inician con un color translucido hasta que este se torna blanco cremoso, además es importante resaltar que la larvas de *S. calcitrans* poseen dos espiráculos con forma de triángulo equilátero, lo que la distingue de otro dípteros.

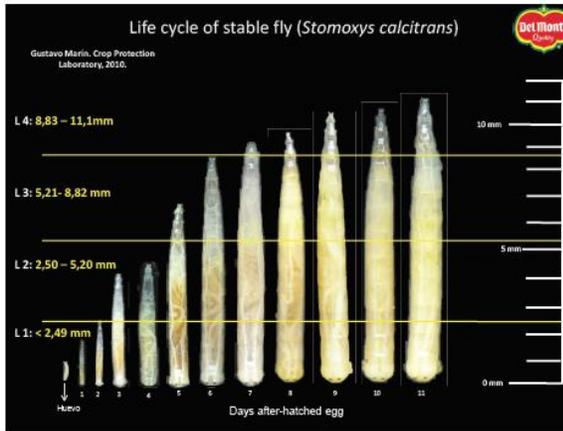


Figura 3. Clasificación de los estadios larvales de *S. calcitrans*.

Fuente: Del Monte 2010.

El cierre de la etapa larval está marcado por los procesos de pupación, el cual consiste en la contracción del integumento para formar una pupa, la cual de varia de 3-6 mm, conforme la pupa madura cambia de un café claro a un café oscuro (Salem 2012; Kaufman y Weeks 2016; Skovgard y Nachman 2017). El adulto de tamaño mediano, cerca de 6 mm de longitud y de color gris, tiene franjas oscuras en el protórax y su aparato bucal se extiende desde la parte inferior de la cabeza presenta una probocis larga y dura, con la que absorben la sangre de los animales. (Rojas *et al.* 2010; PITTA PIÑA 2011; Salem 2012, Solórzano *et al.* 2013).

2.3.3 Ciclo de vida

Vargas y Solórzano (2016) determinan que el ciclo biológico de la mosca del establo en condiciones de laboratorio puede ir de los 28 a los 32 días contemplando los días de ovulación (Figura 4). Las hembras pueden ovipositar por un período de hasta 17 días, donde la cópula inicia de 3 días a 5 días después de emerger, colocando huevos dos días después (Salem *et al.* 2012, Vargas y Solórzano 2016).

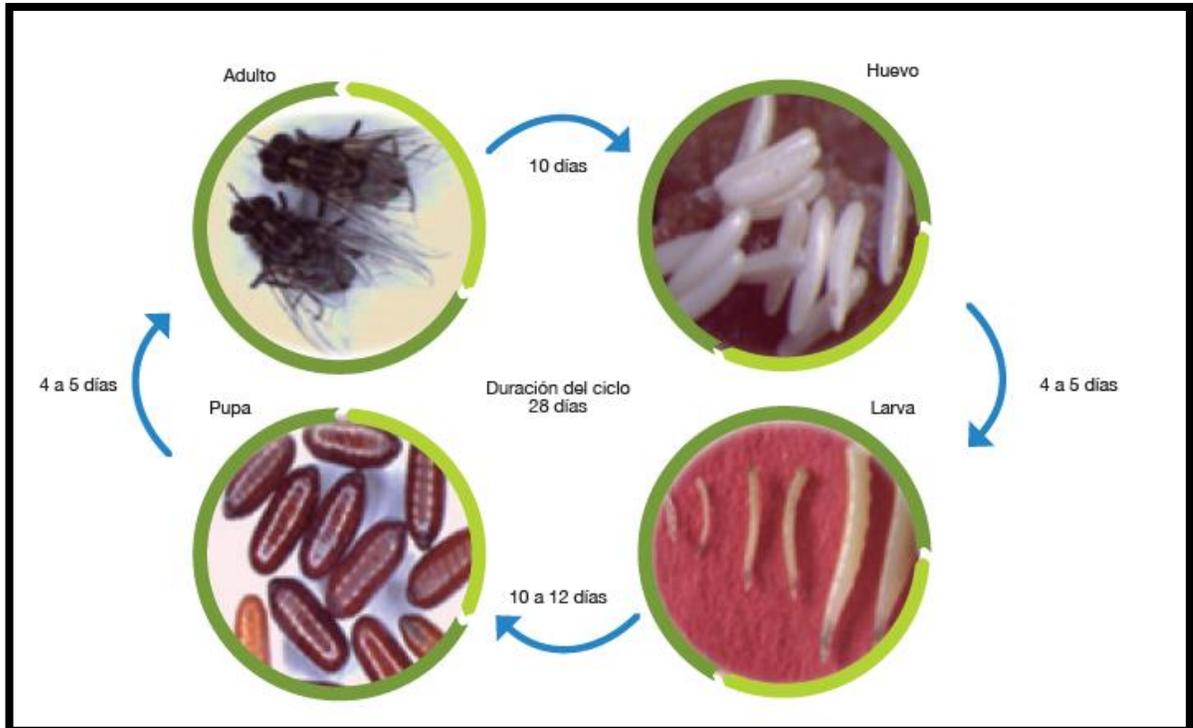


Figura 4. Ciclo de la mosca del establo en condiciones del laboratorio.

Fuente: Vargas y Solórzano 2013.

Solórzano *et al.* (2015) mencionan que el ciclo de vida de la mosca en condiciones de alta temperatura y alta humedad oscila entre los 15 días y los 27 días. Kaufman y Weeks (2016) mencionan que el ciclo oscila en de doce a 20 días cuando hay condiciones óptimas, pero que usualmente se prolonga hasta los 28 días. Por su parte, Skovgard y Nachman (2017) menciona que, durante verano, con temperaturas entre los 24 y 30 °C el ciclo puede durar entre los 13 y 18 días.

2.3.3.1 Control etológico

La técnica de control masivo de moscas consiste en colocar trampas aéreas para reducir los niveles poblacionales de moscas adultas. Esta consiste en utilizar bolsas plásticas (color blanco) recubiertas de pegamento color naranja con olor a vainilla, el cual debe ser mezclado con un diluyente para su aplicación en la bolsa.

Las trampas se deben colocar a una distancia que va de los 10 m a los 20 m a menor distancia si se determinan brotes de mosca en las plantaciones. Esta se debe colocar a una altura de 10 cm respecto al suelo y estas deben tener de 1 m a 1,2 m. El momento de colocación de éstas, se debe hacer previa a la derriba de una plantación (Solórzano *et al.* 2013). Solórzano *et al.* (2015), hacen mención que la utilización de trampas de tela durante dos semanas posterior a la derriba de plantación, favorece la atracción de hembras en oviposición.

2.3.3.2 Control químico

Solórzano *et al.* (2013) sugiere que el control químico de *S. calcitrans*, se enfoca en el uso de insecticidas que tengan función ovicida y larvicida, así como, insecticidas que en su modo de acción se afecte la regulación de crecimiento como los IGR (grupo Benzoilureas), los cuales actúan en la síntesis de quitina. Además, recomienda el uso de diflubenzurón (3 l/ha), novalurón (1 l/ha) o triflumurón (1,5 l/ha), alternándolos con insecticidas como buprofenzin (inhibidor de síntesis de quitina) y ciromacina (disruptores de muda), para evitar la creación de resistencia.

2.3.3.3 Control biológico

Se han utilizado parasitoides como *Spalangia edius*, *Muscidifurax* y *Pachicrepoides* (Solórzano *et al.* 2013). Treviño (2018) reporta un descenso del 49% de emergencia de mosca del establo en rastrojo de piña con el uso de *Spalangia edius*. Por otro lado, a nivel *in vitro*, se ha reportado parasitismo por parte de *Beauveria bassiana* y el género *Bacillus* en *S. calcitrans*; pero se requiere pruebas a nivel de campo para comprobar su efectividad (Chinchilla 2011; Solórzano *et al.* 2013). Paganella-Chang *et al.* (2015), determinaron que el uso de estos productos puede reducir el número de estados inmaduros a través del tiempo si se comparan con un testigo sin dicha aplicación, pero la fluctuación de los datos no permite hacer una conclusión que asevere la eficiencia en el control.

2.3.3.4 Control mediante el uso de descomponedores de materia orgánica

González (2012) señala que en el manejo del rastrojo de piña se pueden utilizar microorganismos descomponedores, los cuales cumplen la tarea de acelerar la degradación del material, generando que la mosca encuentre menos atractivo el sustrato. Solórzano *et al.* (2013) dentro los organismos que puede utilizar para esta técnica están los hongos, levaduras, bacterias y actinos; sin embargo, este autor menciona que no existen suficientes datos para recomendar este manejo. Paganella *et al.* (2015) realizaron estudios sobre el uso descomponedores en rastrojo de piña, sin embargo, encontraron que el control de la mosca del establo estuvo afectado por el parasitismo por parte de *Acremonium sp.*, *Fusarium sp.* y *Trichoderma spp.* y no por la descomposición del material.

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación

El ensayo se estableció en el lote 309 (Figura 5) de la finca Anexco 1 de la empresa Ananas Export Company S.A., en San Rafael, Río Cuarto. Las coordenadas geográficas del bloque a evaluar son 10; 30; 10.39 de latitud y 84; 11; 24 longitud y se encuentra situada a los 104 msnm.

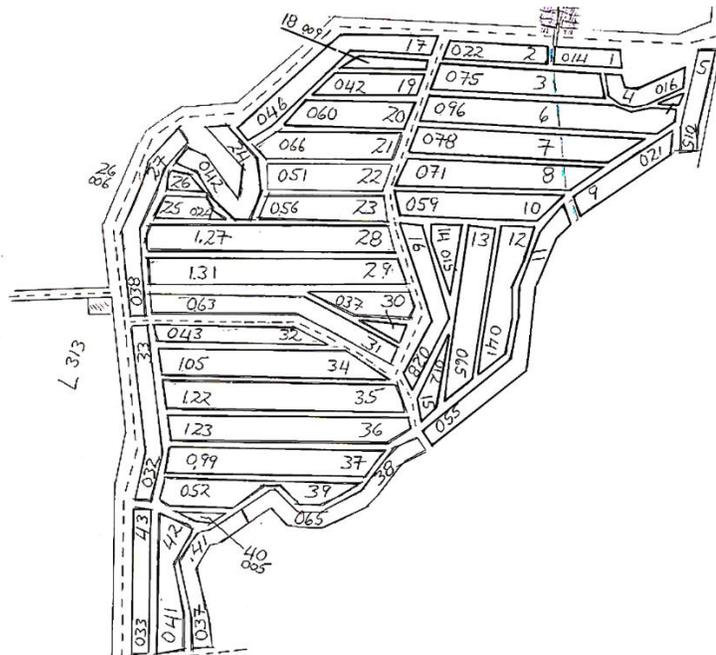


Figura 5. Croquis del lote 309 de la finca Anexco, Ananas Export Company S.A., Río Cuarto, 2019.

Fuente: Anexco, 2016.

Durante el período de estudio se presentó una temperatura que osciló de los 35,3 °C y los 23,1 °C con promedio de 25,89 °C, precipitación total de 241,13 mm y 87,08% de humedad relativa promedio (fuente Anexco); además en la Figura 6 se muestra el comportamiento de la temperatura y la precipitación. Además, el ensayo se estableció sobre un suelo clasificado como Alfisol.

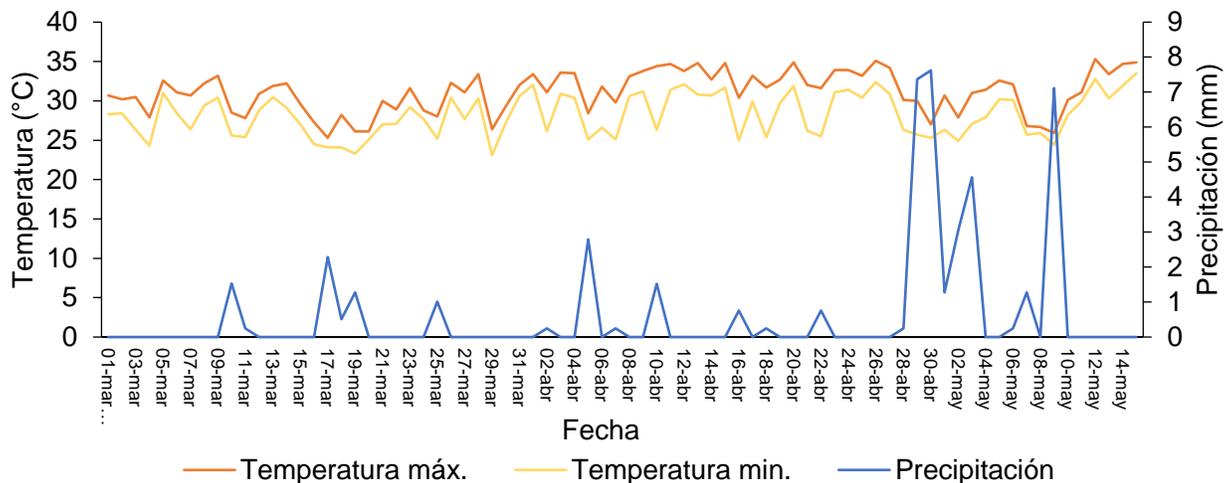


Figura 6. Comportamiento de la temperatura y precipitación durante el período de estudio en la finca Anexo, Río Cuarto, Costa Rica, 2019.

3.2 Período de estudio

Este ensayo se llevó a cabo durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo del 2019, específicamente de la semana nueve a la semana 20. En la semana nueve y diez se realizó el establecimiento del ensayo; mientras que, en semana once dieron inicio de las respectivas evaluaciones del ensayo hasta semana 20, específicamente el lunes 13 de mayo.

3.3 Material Experimental

El material experimental se obtuvo de la derriba en verde de plantas de piña del híbrido MD-2, de segundo ciclo de producción, cosechada el 21 de febrero del 2019, establecida el 7 de noviembre del 2016 a partir de semilla tipo guía recortada a 500 g, sembrada en el sistema “tres bolillo” a una densidad de plantación de 73 900 plantas/hectárea (Figura 7). El peso promedio de plantas posterior a la cosecha fue de 3,89 kg, lo cual se estimó pesando de 50 plantas seleccionadas al azar en la plantación (fuente propia).



Figura 7. Bloque número tres, lote 309. Finca Anexco, Río Cuarto, 2019.

El protocolo para la derriba de la plantación y el acordonamiento material propuesto, así como su fecha de ejecución, se describen en el Cuadro 4. El insecticida Namacur® (ingrediente activo: fenamifos) en dosis de 8 l/hta, se utilizó para reducir las poblaciones de mosca presentes previa a la derriba, así como la moscas atraídas por el material durante la etapa de establecimiento del ensayo. En la trituración se utilizaron trituradoras FAE 2.20, para el relleno de drenajes y el acordonado del material se utilizaron retroexcavadoras BOBCAT E50 para 5,5 toneladas.

Cuadro 4. Protocolo para la derriba en verde y acordonamiento de la plantación de piña para la descomposición de anaeróbica del rastrojo, finca Anexco, Río Cuarto, 2019.

Actividad	Día*	Fecha
Aplicación de Nemacur®	0	miércoles, 27 de febrero de 2019
Relleno de drenajes	3	sábado, 2 de marzo de 2019
Primer pase de trituración	5	lunes, 4 de marzo de 2019
Estimación de biomasa (50 plantas)	5	lunes, 4 de marzo de 2019
Colocación de trampas para moscas adultas	5	lunes, 4 de marzo de 2019
Aplicación de microorganismos	6	martes, 5 de marzo de 2019
Primer acordonado	7	miércoles, 6 de marzo de 2019
Segundo pase de trituración	7	miércoles, 6 de marzo de 2019
Segundo acordonado	7	miércoles, 6 de marzo de 2019
Aplicación de cal	7	miércoles, 6 de marzo de 2019
Tercer pase de trituración	7	miércoles, 6 de marzo de 2019
Tercer acordonado	7	miércoles, 6 de marzo de 2019
Colocado de mayas dentro de su tratamiento	10	sábado, 9 de marzo de 2019
Recolección de ñongas	10	sábado, 9 de marzo de 2019
Colocación de plástico	13	martes, 12 de marzo de 2019

*Días posteriores al inicio de ensayo.

3.4 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos se conformaron por tres factores de evaluación: 1) tiempo de descomposición bajo cobertura plástica, 2) aplicación o no de cal, y 3) aplicación o no de productos biológicos. Los diferentes niveles e interacción se describen a continuación (Cuadro 5).

Cuadro 5. Tratamientos evaluados durante descomposición anaeróbica de rastrojo de piña para el manejo de la mosca de establo. Finca Anexo, Río Cuarto, 2019.

Tratamientos	Producto biológico	Aplicación de cal	Tiempo de cobertura (días)
1	Terrabiosa®	Si	10
2	Terrabiosa®	Si	20
3	Terrabiosa®	Si	30
4	Terrabiosa®	No	10
5	Terrabiosa®	No	20
6	Terrabiosa®	No	30
7	E.M.-1®	Si	10
8	E.M.-1®	Si	20
9	E.M.-1®	Si	30
10	E.M.-1®	No	10
11	E.M.-1®	No	20
12	E.M.-1®	No	30
13	Bioactivado®	Si	10
14	Bioactivado®	Si	20
15	Bioactivado®	Si	30
16	Bioactivado®	No	10
17	Bioactivado®	No	20
18	Bioactivado®	No	30
19	Sin aplicar	Si	10
20	Sin aplicar	Si	20
21	Sin aplicar	Si	30
22	Sin aplicar	No	10
23	Sin aplicar	No	20
24	Sin aplicar	No	30

El factor de cobertura plástica consistió en colocar plástico color negro sobre el cordón de rastrojo, exponiendo el rastrojo en tres períodos distintos; a los 10 días, 20 días y 30 días, posteriores a su colocación.

El efecto de la cal se evaluó solamente en dos niveles: la aplicación de cal y otros donde no se aplicó. Se realizó la aplicación manual entre la tercer triturada y el tercer acordonamiento. Se utilizó $\text{Ca}(\text{OH})_2$ como fuente de cal, a una dosis de 1000 kg por hectárea.

Por otro lado, como factor de productos biológicos se utilizaron tres productos comerciales diferentes: Terrabiosa[®], Bioactivado[®] y E.M.-1[®]; añadiendo un testigo, sin el uso producto biológico. La aplicación de los productos biológicos se efectuó entre la primer triturada y la primer acordonada de rastrojo.

Se realizó la aplicación foliar de los productos biológicos con una motobomba Carpi CPC-25; utilizando un volumen de aplicación de 1000 l/ha, esto bajo la recomendación del supervisor del departamento de investigación y desarrollo de la finca. A continuación, se presenta una descripción técnica de productos biológicos utilizado utilizados:

- **Terrabiosa[®]**: Este producto es fabricado por BIOSA DANMARK APS. Es una mezcla de diez cepas de microorganismos benéficos y 19 extractos de especies vegetales aromáticas que cumplen función enzimática en producto. La composición del producto es 50×10^8 UFC/ml p/v de cultivo de bacterias y 1% p/v de extracto de hierbas. Las bacterias que se encuentran abarcan los géneros *Lactobacillus spp*, *Bifidobacterium sp*, *Streptococcus spp*, *Lactococcus sp*, *Leuconostoc spp* y *Rhodospseudomonas spp*; además cuenta de con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La dosis utilizada fue de un litro por tonelada métrica de material (238,5 ml/ l de disolución).
- **E.M.-1[®]**: Fabricado por EM Producción y Tecnología S.A. El producto es mezcla de bacterias fototróficas (*Rhodopseudomonos spp.*), bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus spp.*) y levaduras (*Saccharomycetes spp.*). La concentración de sus componentes según la hoja de seguridad es de 96% agua, 3% de melaza, 1% de levaduras y bacterias ácido lácticas y fototróficas; específicamente contiene: bacterias ácido lácticas $6,7 \times 10^6$ UFC/ml, hongos y levaduras $2,6 \times 10^6$, bacterias aerobias, $1,52 \times 10^7$ y bacterias anaerobias $2,0 \times 10^7$. Este producto se recomienda utilizar 2 L de E.M.-1. activado en 18 l de agua por cada 1000 kg de materia orgánica, en

el compostaje de materia orgánica. La activación de E.M.-1[®] consiste en mezclar 5% de E.M.-1[®], 5% de melaza y 90% de agua. Se utilizó una dosis de 2 l por tonelada métrica (477,03 ml/l)

- **Bioactivado[®]**: Producto formulado por BIOECO. El cual consiste en un concentrado de bacterias benéficas, entre las que se encuentran: *Bacillus subtilis* (1x10⁷ UFC/ml), *Lactobacillus spp* (1x10⁷ UFC/ml), actinomicetes (1x10⁷ UFC/ml), *Streptomyces spp*, (1x10⁸ UFC/ml) y *Azotobacter spp* (1x10⁸ UFC/ml). La dosis utilizada, proveniente de la recomendación del técnico fue utilizar una concentración de 10 ml/l.

3.5 Variables de respuesta

3.5.1 Temperatura del rastrojo en descomposición

Mediante el uso de termómetro de sonda HANNA[®], se midió la temperatura superficial y la temperatura interna del cordón, está última se midió a 30 cm de profundidad desde a superficie del (Figura 8). La mediciones se realizaron cada dos días, entre las 14:00 y 16:00 horas.

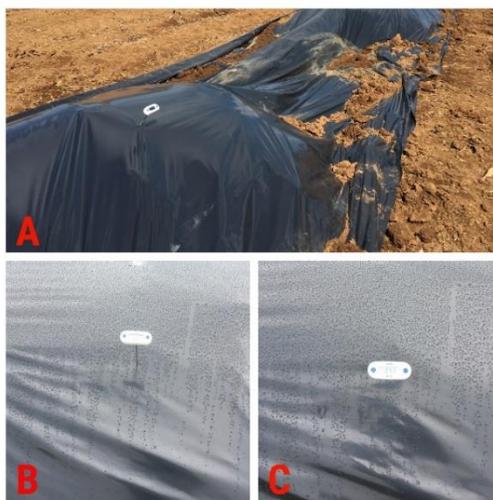


Figura 8. Mediciones de temperatura del rastrojo durante la descomposición; A) Medición de temperatura en el cordón; B) Medición de temperatura superficial; C) Medición de temperatura a 30 cm profundidad.

3.5.2 Peso fresco y peso seco de rastrojo

Se utilizó el método conocido como “litter bags”, el cual estima de manera directa la descomposición de la materia orgánica, técnica es utilizada desde el año 1966 (Singh y Gupta 1977). Además, esta metodología se ha estandarizado como análisis de descomposición en diferentes especies vegetales como: maíz (Westerman y Crothers 1980; Pérez *et al.* 2000), palmito (Soto *et al.* 2002) y la descomposición de hojarasca en sistemas boscosos (Villavicencio 2012).

En la evaluación de estas variables se procedió a extraer 50 plantas de las plantas de piña previo a la trituración de material experimental. Las cuales fueron trituradas *ex situ*, mediante el uso de una trituradora de estacionaria utilizada para la trituración de coronas de piña.

Por triturado el material se llenaron mayas de nylon de 40 cm x 30 cm con 1,5 kg de rastrojo triturado, pesados con una romana Ocony-SS®. Las mayas correspondían cada una de las repeticiones de sus respectivos tratamientos; por lo que la aplicación de productos biológicos se realizó con un pulverizador manual espalda simétrico Guarany® y la aplicación de cal se hizo de forma manual (Figura 9).



Figura 9. A) Medición del peso la muestras; B) Aplicación de los respectivo producto biológico a la muestra; C) Mayas de nylon con rastrojo triturado.

El día que se colocó la cobertura plástica, en cada repetición se enterró en su respectiva maya a 20 cm de profundidad. Conforme se retiraba la cobertura plástica se extraía la maya correspondiente, se procedía a pesar en fresco y luego secado; cual se realizó colocando las muestras en un horno de convección por un período de siete días a una temperatura de 58 °C.

Además, se calculó el porcentaje de materia seca con los datos de peso fresco final y peso seco final (pesos posteriores al período de descomposición). A partir de diez muestras con el mismo peso inicial que el de las mayas (1,5 kg), se calculó el peso fresco y peso seco promedio del rastrojo previo a su descomposición.

3.5.3 Emergencia de moscas adultas

El conteo de moscas adultas de *Stomoxycs calcitrans* L. que se desarrollaron en sus estadios juveniles en el rastrojo descompuesto, se llevó a cabo mediante el uso de trampas para captura de mosca tipo pirámide (Figura 10), facilitadas por el INTA. Dicha trampa, se colocaba sobre el rastrojo (un área donde coincidiera con un muestreo de estadios larvales).



Figura 10. Trampa de emergencia de mosca del establo tipo pirámide.

La captura de moscas iniciaba el día 12 posterior al retiro de la cobertura plástica, y se extendió durante un período total de 20 días haciendo conteo cada cinco días. Es decir, se realizaban conteos los días 17, 22, 27 y 32.

3.6 Área experimental y unidad experimental

El ensayo se llevó a cabo en el lote 309 de la finca Anexco 1. Específicamente en el bloque número tres, el cual es un bloque “entero” (posee 32 camas de cultivo) con un área de 7500 m², utilizando 5184 m² como área experimental (Figura 11).

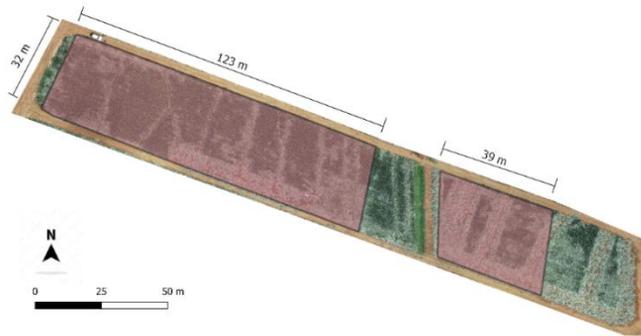


Figura 11. Mapa bloque número tres del lote 309 y especificación del área experimental.

La demarcación de ambas secciones del área experimental se realizó mediante el uso de cinta métrica (Trooper® de 50 m). Se dividió en dos secciones 3936 m² (123 m x 32 m) y 1248m² (39 m x 32 m); para su identificación se clasificaron en sección 1 y sección 2, respectivamente. Dentro de esta área se establecieron dos cordones a largo de cada sección. Cada cordón estuvo constituido por el material vegetal triturado de 16 camas de cultivo, acordonado en 3 m de ancho. Ambas secciones se dividieron a lo ancho clasificándose como cordón 1 y cordón 2.

De acuerdo con el diseño experimental empleado, se conformaron 16 parcelas principales de 18 m x 15 m (270 m²) cada una. Se distribuyeron ocho parcelas en cada cordón, ubicando seis parcelas por cordón en la sección 1 y dos parcelas por cordón en la sección 2. Para evitar traslape en la aplicación de productos biológicos, así como mezcla de material experimental de distintos tratamientos durante el segundo y el tercer pase de la trituradas, las parcelas principales estaban divididas por 3 m entre parcelas de un mismo cordón y 2 m entre parcelas del cordón adyacente. El material que se encontraba fuera de parcelas, de

igual manera se incluía en la conformación del cordón final, dividiendo el material en dos y acercándolo a la parcela inmediata.

Las parcelas secundarias se delimitaron después del segundo acordonamiento del material. Se dividieron las parcelas principales en dos partes de 8,25 m, separados por 1,5 m. Por otro lado, las parcelas terciarias correspondieron a la extracción y extensión de material por parte de los cordones a los 10 días y 20 días de descomposición. A los 30 días de descomposición se retiró completamente el plástico, solamente se extendió el rastrojo. En la Figura 12, se muestra la forma en la que se extendió el material.



Figura 12. Manera de extender el rastrojo posterior a su respectivo tiempo de descomposición.

En cuanto a las unidades experimentales, estas variaron según la variable de respuesta evaluada. Los muestreos de temperatura interna y superficial del rastrojo se ejecutaron tomando las parcelas terciarias como unidad experimental. Mientras que, para las variables de peso del rastrojo posterior a la descomposición, la unidad experimental fue representada por las mayas de nylon que contenían un peso inicial 1,5 kg de rastrojo fresco triturado.

La cuantificación de emergencia de adultos se realizó en 1 m², área comprendida por la trampa tipo pirámide. Es importante mencionar, que esta no se cambió de posición durante la captura de moscas.

3.7 Diseño experimental y arreglo de tratamientos

Se utilizó el diseño parcelas subdivididas distribuidas completamente al azar. Estableciendo los productos biológicos como factor de evaluación en las parcelas principales, el factor aplicación de cal a las parcelas secundarias y el factor tiempo de cobertura plástica a las parcelas terciarias. Como se mencionó anteriormente, se establecieron 16 parcelas principales. En la Figura 13, se muestra la clasificación de las parcelas principales con sus respectivos productos biológicos.



Figura 13. Identificación de las parcelas principales en el ensayo de descomposición de rastrojo de piña para el control de mosca del establo, Finca Anexco, Río Cuarto, 2019.

3.7.1 Croquis y especificación del diseño de tratamientos

En la Figura 13, se muestra el producto biológico y la repetición asignada a cada una de las parcelas principales enumeradas en la Figura 14. Además, también se muestran las distribuciones de los tratamientos del factor de cal en las parcelas secundarias y dentro de estas la distribución de los tratamientos de tiempo de cobertura en las parcelas terciarias.

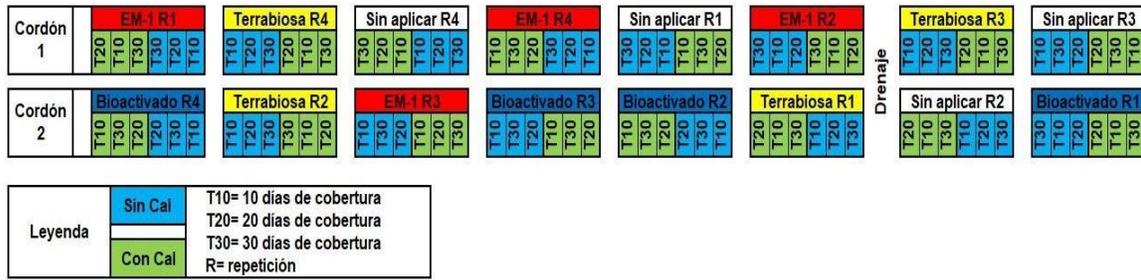


Figura 14. Croquis de la distribución y asignación de los respectivos tratamientos en las parcelas principales, secundarias y terciarias en el ensayo de la evaluación de la descomposición del rastrojo de piña para el control de mosca del establo, Finca Anexco, Río Cuarto, 2019.

3.7.2 Modelo estadístico

Para el análisis de los tratamientos, se evaluó bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + PP_i + \varepsilon_i + PS_j + PP_i * PS_j + \varepsilon_{ij} + PT_k + PP_i * PT_k + PS_j * PT_k + PP_i * PS_j * PT_k + \varepsilon_{ijk}$$

, donde:

- | | |
|--|--|
| Y_{ijk} = Observación de la unidad experimental | ε_{ij} = error de la parcela secundaria |
| μ =media general del ensayo | PT_k = efecto del k-ésimo de la parcela terciaria |
| PP_i = efecto del i-ésimo de la parcela principal | PP_i*PT_k = efecto de la interacción de la parcela principal y la parcela terciaria |
| ε_i = error de la parcela principal | PS_j*PT_k = efecto de la interacción de la parcela principal y la parcela secundaria |
| PS_j = efecto del j-ésimo de la parcela secundaria | $PP_i*PS_k* PT_k$ = efecto de la interacción de todas las parcelas |
| PP_i*PS_k = efecto de la interacción de la parcela principal y parcelas secundaria | ε_{ijk} = error de la parcela terciaria |

3.8 Análisis estadístico

Para cada variable en el programa InfoStat/P (Di Rienzo *et al.* 2017) se realizaron comparaciones entre tratamientos con la técnica de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix), con corrección de heterocedasticidad, en datos de temperatura y pérdida de peso del rastrojo se utilizó la función “*varComb*varIdent*” para el factor producto biológico; mientras que, para la variable de emergencia de moscas se utilizó la función “*varComb*varIdent*” para el factor días cobertura plástica y la función “*varIdent*” para la variable producto biológico. Es importante mencionar que, para la variable temperatura, no se incluyó el factor días de cobertura plástica. Las diferencias entre tratamientos se determinaron con la Prueba de Comparación de Medias según LSD Fisher, con un nivel de significancia de 0,05.

Se realizaron análisis de correlación de la variable temperatura del rastrojo con las condiciones climáticas. A su vez, se realizó la correlación de las variables temperatura de rastrojo, pérdida de peso del rastrojo y emergencia de mosca, con un nivel de significancia del 0,05. Todos los análisis se ejecutaron con el Programa estadístico InfoStat/P (Di Rienzo *et al.* 2017).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descomposición del rastrojo

La medición de la descomposición del rastrojo de piña en este estudio inició posterior a la colocación de la cobertura plástica. La cobertura plástica favoreció la generación de un ambiente de oscuridad y la retención del agua, que se evaporó por reacciones degradativas, factores importantes en la digestión anaeróbica (Lorenzo y Obaya. 2005; FAO 2011; Román *et al.* 2013). A pesar de ello, los microorganismos presentes de forma natural en el rastrojo dieron inicio a una degradación aeróbica, consumiendo el oxígeno residual en la superficie del rastrojo y el plástico (Elferink *et al.* 2001; FAO 2011). Este suceso, implicó la oxidación de las fuentes carbono, provocando un aumento en la biomasa de los microorganismos y la emisión CO₂ (Lorenzo y Obaya. 2005; Román *et al.* 2013).

Para un adecuado compostaje de materia orgánica, es necesaria la oxigenación periódica del material (Garro 2016). Cuando se tienen concentraciones de oxígeno inferiores al 5% se presenta una condición de anaerobiosis (Sztern y Pravia 1999; Sepulveda y Alvarado 2013; Román *et al.* 2013). Soto (2003) menciona que concentraciones de oxígeno superior al 8% permiten un buen compostaje del material, pero otros autores señalan que el rango ideal oscila entre 5% y 15% (Román *et al.* 2013), o 10% al 20% (Sepulveda y Alvarado 2013). Sin embargo, la concentración de oxígeno es desigual en distintas secciones de la pila de compost (Sztern y Pravia 1999).

Conforme se inició el proceso de descomposición del rastrojo, se propició a la sustitución del O₂ presente por CO₂, disminuyendo la concentración de oxígeno dentro del sistema, favoreciendo una atmósfera anaerobia, sobre una aeróbica, lo que pudo haber influido tipo de descomposición que atravesó el rastrojo.

El propiciar un ambiente anaeróbico pudo haber favorecido la supervivencia de los microorganismos facultativos presentes en el material; además de estimular la activación metabólica de los de microorganismos anaeróbicos obligatorios; así como el establecimiento y colonización de los microorganismos suministrados en aplicaciones de los productos biológicos en cada tratamiento. Adicionalmente, las condiciones anaeróbicas propiciaron la inactivación metabólica de microorganismos aeróbicos obligatorios; análogo a los procesos fermentativos en el ensilaje de pasturas para la alimentación animal, en la cual, posterior a la disminución de O₂, estos organismos detienen sus metabolismo (Elferink *et al.* 2001).

Es posible inferir que se desarrollaron procesos de digestión anaeróbica como los son la hidrólisis, acidogénesis y acetanogénesis; etapas en la cuales se realiza la transformación de los componentes complejos de los sustratos de sólidos (hidratos de carbono, lípidos y proteínas) productos solubles, necesarios para el metabolismo bacterial, así como fermentación de los compuestos hidrolizados en ácidos orgánicos, alcohol, CO₂ e hidrógeno (Lorenzo y Obaya. 2005; FAO 2011; Corrales *et al.* 2015).

El incremento de la temperatura durante la descomposición de rastrojo inició posterior al último acordonamiento del material, como consecuencia de la relación superficie-volumen del cordón y la actividad metabólica los microorganismos presentes (Sztern y Pravia 1999). Conforme los microorganismos degradan las fuentes lábiles de carbono y nitrógeno, estos liberan energía calórica la cual es medible gracias a variaciones de temperatura (Soto 2003; Román *et al.* 2013; Sepulveda y Alvarado 2013; Garro 2016).

En la Figura 15, se muestra el comportamiento general de la temperatura en los días de medición en el rastrojo, tanto la temperatura superficial como la temperatura a 30 cm de profundidad. Se determinó que el rango medio de la temperatura superficial osciló entre los 36,73 °C y los 43,71 °C, mientras que, para la temperatura a 30 cm de profundidad, se reportó un rango 34,83 °C y 39,30 °C.

La existencia de mayor amplitud en rango de temperatura superficial se pudo haber debido a que la superficie del cordón haya entrado en mayor contacto con aire mediante la filtración por debajo del plástico, donde pudieron ocurrir variaciones en descomposición del material, llevándose acabo de reacciones aerobias (Soto 2003, Román *et al.* 2013).

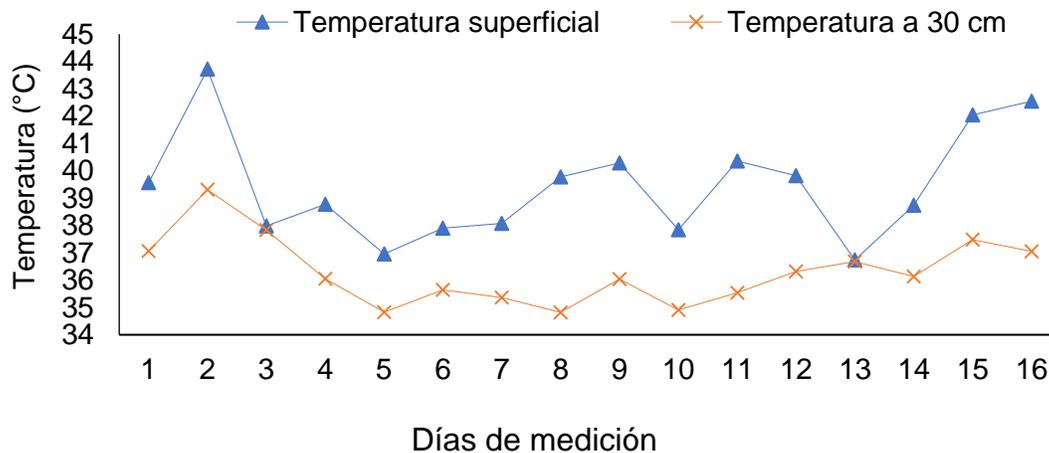


Figura 15. Comportamiento general de la temperatura superficial y a 30 cm de profundidad en el rastrojo de piña en la descomposición anaeróbica, Finca Anexco, Río Cuarto, 2019.

La descomposición aeróbica de materia orgánica como el caso del compostaje, se caracteriza por tener variaciones de la temperatura a través del tiempo en diferentes etapas la cuales van de los 35 °C a los 65 °C; razón por la cual se descarta que la descomposición del rastrojo en este estudio se apego a este proceso (Soto 2003a; Román *et al* 2013; Sepulveda y Alvarado 2013). Soto (2003), menciona que temperaturas de fase termófila (>45 °C-50 °C), no son indispensables para el compostaje de residuos de origen vegetal, mencionando durante que la producción de bokashi, las temperaturas no superan los 45 °C-50 °C. Temperaturas dentro del rango de 45 °C y 50 °C, favorecen la velocidad descomposición y temperaturas entre los 35 °C y 45 °C, favorecen la diversidad microbiológica (Stentiford 1996; Soto 2003; Sunar *et al.* 2009).

Las temperaturas registradas durante el período de descomposición del rastrojo coinciden con las temperaturas en la cuales se lleva cabo la producción de abono tipo bokashi; proceso donde ocurre fermentación de compuestos orgánicos, la cuales son inferiores a los 45°C (Okumoto 2003; Garro 2016). En la fermentación intervienen organismos anaeróbicos obligatorios, pero una característica particular es que la mayoría microorganismos fermentadores son anaerobios facultativos (Sztern *et al.* 1999; Okumoto 2003; Garro 2016).

Soto (2003) menciona que a pesar de que el bokashi es descrito como abono orgánico fermentado, este se realiza en procesos enteramente aeróbicos; debido a los frecuentes volteos del material (Soto y Meléndez 2004; Ramos y Terry 2014; Garro 2016). Por otro lado, Okumoto (2003) menciona que existe un tipo de bokashi anaeróbico; sin embargo, ocurre a temperatura ambiente (25 °C-30 °C). Cabe la posibilidad que hayan ocurrido procesos de descomposición análogos a la fabricación de bokashi, en secciones del cordón donde existió contacto con corrientes de aire, como es el caso de la superficie del cordón.

Por su parte, los procesos de la digestión anaeróbica que pudieron participar en la descomposición del rastrojo se vieron beneficiados porque las condiciones desarrolladas, se acoplaban a los rangos óptimos de acción de los microorganismos que participan en ella. A diferencia de la descomposición aeróbica, durante la digestión anaeróbica es idóneo que no ocurran variaciones bruscas en los cambios de temperatura. Lo anterior es debido a que los rangos de temperaturas reportadas para microorganismos mesófilos son menores. Rangos óptimos de temperatura entre los 25 °C y los 35 °C; son más eficientes para sistemas de producción de biogás, donde se dan procesos de fermentación que van de los 30 días a los 60 días (Lorenzo y Obaya. 2005; FAO 2011).

Como se explicó en los párrafos anteriores, la temperatura durante el período de descomposición no mostró patrones térmicos característicos de los procesos de compostaje, inclinando la descomposición del rastrojo mediante fermentación de

materia orgánica. Motivo por el cual, se realizó el análisis estadístico de las variables de temperatura utilizando el promedio de temperaturas de todas las mediciones efectuadas durante la evaluación del ensayo, resumidas en la Figura 15.

En la Figura 16, se puede observar que el factor producto biológico fue el único que presentó efecto significativo para la variable temperatura superficial y temperatura a 30 cm de profundidad ($p=0,0046$ y $p=0,0375$, respectivamente). Los tratamientos que contenían Bioactivado® alcanzaron las temperaturas más altas en el rastrojo, tanto en la parte superficial como en a los 30 cm de profundidad. Los tratamientos con Terrabiosa® no se diferenciaron estadísticamente de los tratamientos con Bioactivado®, así como de los tratamientos con E.M.-1 y los que no fueron tratados con microorganismos.

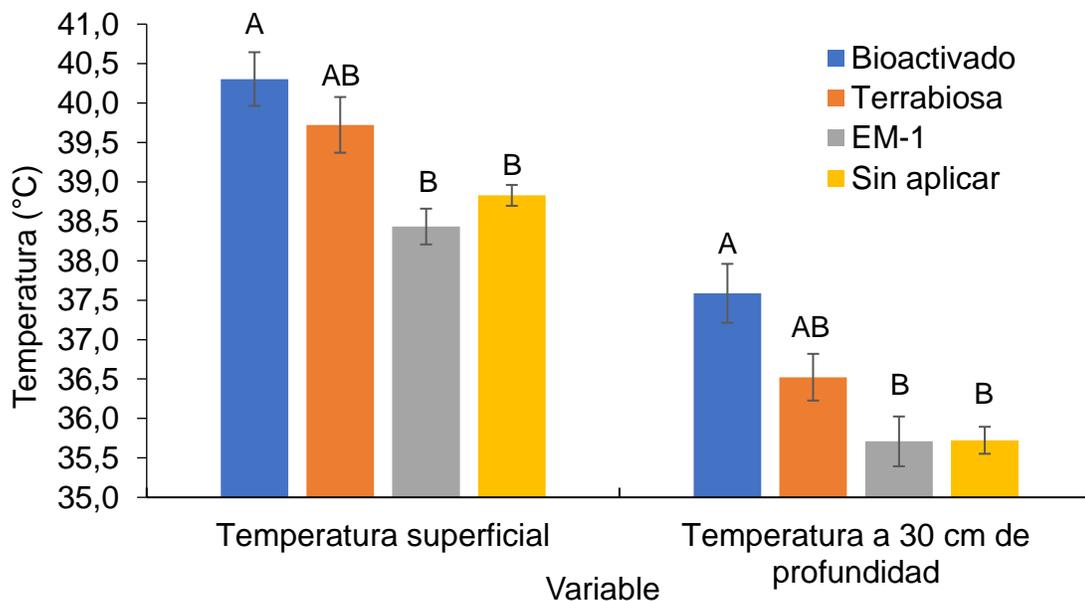


Figura 16. Temperatura promedio por tratamiento durante el proceso de descomposición anaeróbica de rastrojo de piña, Finca Anexco, Río Cuarto, 2019.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p<0,05$).

De manera general, los tres productos contenían microorganismos, con capacidad degradativa por medio de la fermentación, como es el caso de bacterias de ácido lácticas, levaduras y actinos. Sin embargo, en base a la composición reportada en etiqueta, se encontró diferencias en la presencia de microorganismos en específico. Como, por ejemplo, el producto Terrabiosa® que contiene microorganismos fermentativos que no se reportan en los otros productos como es el caso de: *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* y bacterias del género *Streptococcus* que es conocido por ser una bacteria catalogada dentro del grupo de las putrefactivas (Elferink *et al.* 2001; Corrales *et al* 2015). Por su parte, Bioactivado® coincide como Terrabiosa® y E.M.-1®, en que también contienen bacterias del género *Lactobacillus*; aunque difiere al contener *Bacillus subtilis* y bacterias del género *Azotobacter*, *Streptomyces*. Corrales *et al.* (2015) y FAO (2011), hacen referencia que estas bacterias participan en la fase no metanogénica de la digestión de anaerobia, en procesos como fermentación y descomposición de compuesto nitrogenados (Soto 2003).

La descomposición anaeróbica es fuertemente dependiente de la temperatura. La velocidad de reacción de procesos degradativos como la hidrólisis se ven directamente afectados por la velocidad de crecimiento de microorganismos descomponedores y este proceso a su vez, se ve afectado por temperatura en la que lleve a cabo (FAO 2011). FAO (2011) también señala de la existencia de la regla general, que la actividad biológica se duplica cuando hay un aumento de rango de 10 °C dentro de los umbrales óptimos. A pesar de encontrarse diferencias significativas entre los productos biológicos, la diferencia entre tratamientos de la temperatura promedio no superó los 3 °C, que, desde el punto de vista del metabólico, los microorganismos se encontraban en la misma zona de degradación de materia, inclusive en los tratamientos donde no hubo aplicación de microorganismos.

Al correlacionar la temperatura del rastrojo con las variables climáticas, no se encontraron factores de correlación que permitieran determinar que el

comportamiento de la temperatura del rastrojo en descomposición varía acorde a los cambios en las condiciones ambientales (Anexo 8). A pesar de ello, la Figura 5 y la Figura 6 evidencian que la temperatura superficial supera entre los 2 °C y 3 °C la temperatura a 30 cm de profundidad en el rastrojo. Los coeficientes de correlación evidencian que el cambio en las variables climáticas de temperatura y radiación, no impactan de la misma manera la temperatura de superficial con respecto a la temperatura a los 30 cm de profundidad; esto debido a que los coeficientes de correlación oscilan entre los 0,48 y los 0,49 para la primer variable y entre 0,08 y 0,10 para la segunda.

4.1.1 Pérdida de peso del rastrojo durante la descomposición

En cuanto a la pérdida de peso fresco del rastrojo de piña, se encontró que la interacción de los factores: cobertura plástica y producto biológico, presentaron efecto significativo ($p=0,0039$). Se determinó que, para los cuatro tratamientos de producto biológico, se mantiene una misma tendencia de la disminución del peso fresco hasta llegar a su valor mínimo transcurrido 20 días, así como un ligero aumento al llegar a los 30 días de cobertura plástica (Figura 17). Es importante resaltar, el caso atípico del producto Bioactivado[®], que presentó el mismo peso a los 10 días y 30 días cobertura, ya que obtuvieron peso de 749,48 g y 743,63 g respetivamente.

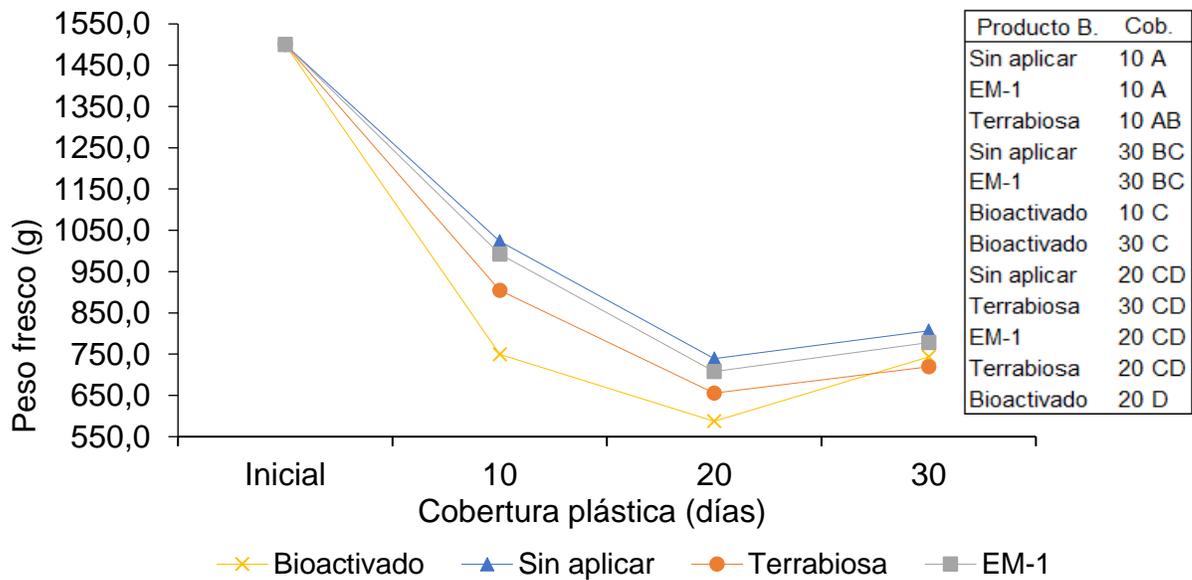


Figura 17. Peso fresco promedio del rastrojo de los tratamientos según cobertura plástica, Finca Anexco, Río Cuarto, 2019.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,05$). Cob.= Días de cobertura plástica.

Similar al peso fresco, el peso seco del rastrojo mostró un efecto significativo ($p = 0,0439$) entre tratamientos y tiempo de cobertura. Sin embargo, el comportamiento del peso fresco fue diferente a la tendencia del peso seco el cual disminuyó en lugar de aumentar transcurridos 30 días (Figura 18).

Por otro lado, el peso seco permitió evidenciar que no hubo efecto de efecto de tratamiento cobertura plástica de 20 días y 30 días para todos los productos biológicos, pero si con los tratamientos a los 10 días de cobertura plástica. Con la excepción de los tratamientos E.M.-1[®] a los 20 días con el tratamiento Bioactivado[®] a los 10 días, las diferencias significativas fueron relacionadas al tiempo de cobertura.

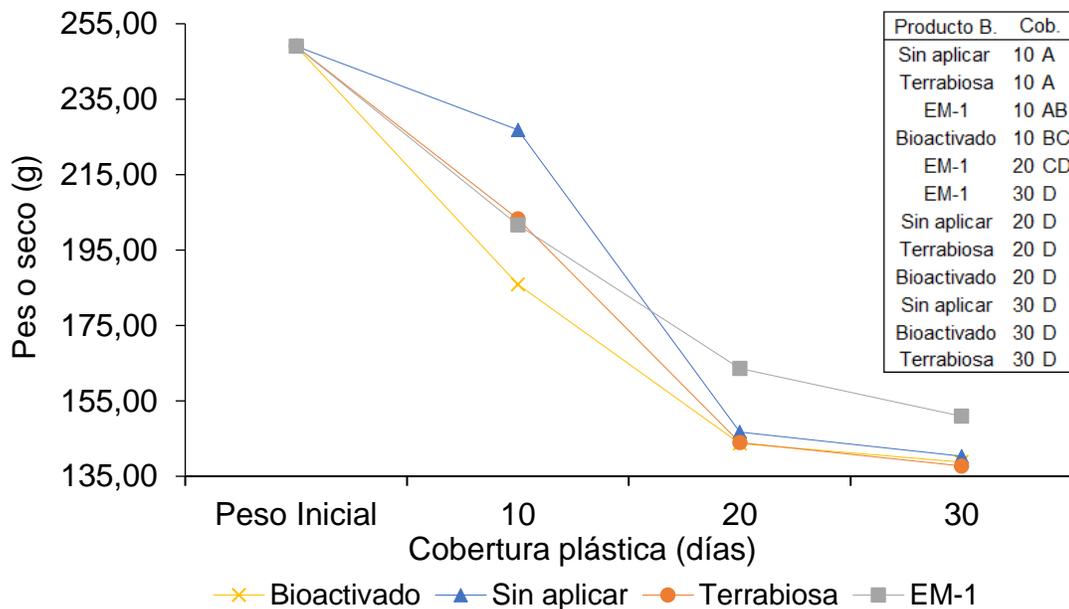


Figura 18. Peso seco promedio del rastrojo de los tratamientos según cobertura plástica, Finca Anexco, Río Cuarto, 2019.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,05$). Cob.= Días de cobertura plástica.

El porcentaje de materia seca del rastrojo evidenció que ninguna de las interacciones entre tratamientos y tiempos de cobertura de evaluación fue significativa. Por lo que se procedió a analizar el efecto de la cobertura plástica ($p < 0,0001$). Los tratamientos correspondientes los 10 días y 20 días de cobertura presentaron diferencias no significativas entre sí, en cambio, los tratamientos a correspondientes a 30 días cobertura plástica, mostraron que los promedios de materia seca fueron más bajos (Figura 19). Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en las variables peso fresco y peso seco, debido a que pesar de que los valores de peso fresco a los 30 días de cobertura obtuvieron el menor promedio de pesos. El rastrojo en el transcurso de 20 días a 30 días de cobertura plástica, pudo haber adquirido mayor peso por encontrarse en un medio de alta humedad, lo cual deberá ser validado en otro estudio.

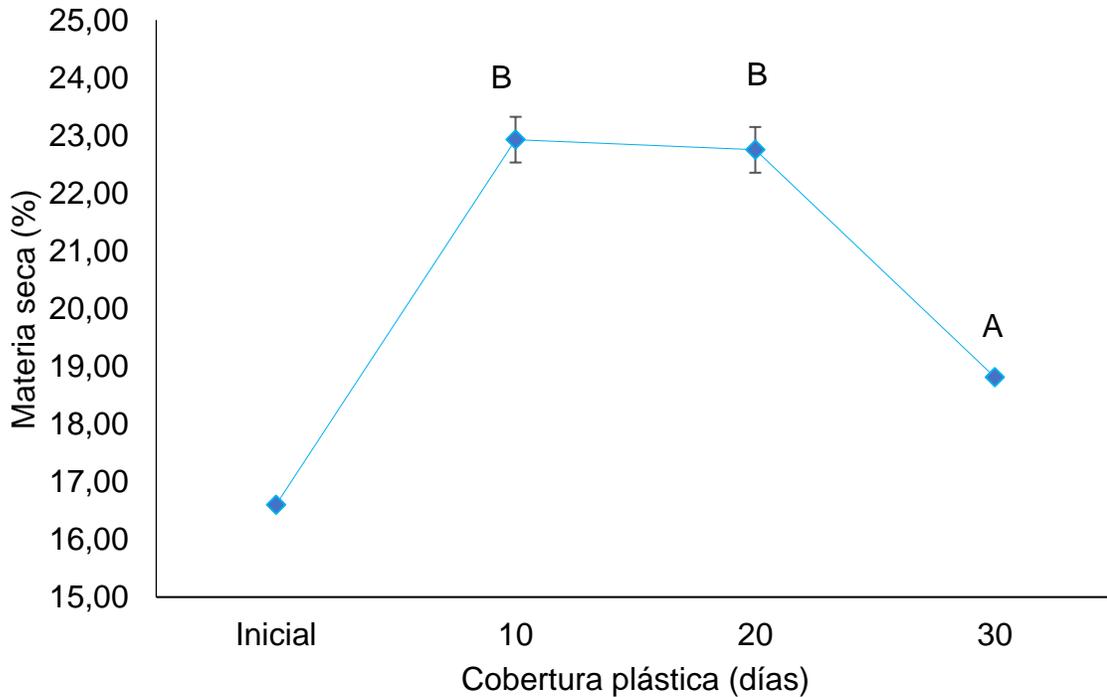


Figura 19. Porcentaje de materia seca promedio del rastrojo entre los tratamientos según el tiempo de cobertura plástica, Finca Anexco, Río Cuarto, 2019

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,05$).

El comportamiento indicado en la Figura 19 se asimila al encontrado por Baltodano (2002) en la evaluación de la producción de bokashi, quien reporta un descenso en el porcentaje de humedad de material durante los primeros 10 días de evaluación, con un aumento para el día 15, encontrando que al mismo tiempo aumentó la población de actinomicetos y bacterias. Dicha tendencia pudo estar relacionada con el aumento de la humedad en este ensayo.

Por otra parte, también se encontró que la aplicación de cal tuvo un efecto significativo ($p = 0,0056$) en la interacción cobertura plástica y producto biológico (Cuadro 6). La aplicación de cal provocó menor pérdida de peso durante el proceso de descomposición del material, los tratamientos a los que se les aplicó cal perdieron un 30,87% de peso seco con respecto a peso seco inicial; mientras que los tratamientos en los que no se aplicó cal presentaron 36,39% de pérdida de peso.

Cuadro 6. Peso seco promedio de los tratamientos según el factor aplicación de cal posterior la descomposición anaeróbica de rastrojo de piña, Río Cuarto, 2019.

Aplicación de cal	Peso seco promedio (g)	Error Estándar
Si	172,16 A	3,75
No	158,40 B	3,84

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,05$)

El pH fuera de los rangos óptimos puede provocar una disminución en la tasa crecimiento, multiplicación y supervivencia de microorganismos, teniendo un rango ideal de 4,5 a 8,5, en procesos de descomposición aeróbica (Román *et al.* 2013). FAO (2011) menciona que el rango pH para microorganismos acidogénicos oscila entre los 5,5 y los 6,5; recordando que este tipo microorganismos participan en la hidrólisis de materia orgánica. Además, Garro (2016) menciona que es aconsejable manejar pH en el suelo dentro del rango 5,3 y 6,1, ya que en este se adaptan la mayor parte de microorganismos. Cabe la posibilidad de que la dosis utilizada de cal en el presente ensayo, alcalinizaran el rastrojo fuera de los rangos óptimos.

No se encontró que existieran factores de correlación entre las variables de peso con las variables de temperatura del rastrojo, como se puede ver en el Anexo 9. En contraste, se encontró un factor de -0,69 ($p > 0,0001$) entre la variable de peso seco y el factor de cobertura, por ende, conforme aumente el tiempo de cobertura el peso del material disminuirá.

Dentro de los primeros 10 días cobertura plástica se perdió 17,93% de peso seco con respecto promedio inicial de rastrojo. En el período comprendido entre los 10 y los 20 días de cobertura se perdió un 22,04% de peso seco. Mientras que en el período comprendido entre los 20 días y 30 días de cobertura plástica solamente se perdió un 3,04% de peso seco.

A partir del comportamiento del peso seco en el presente ensayo, se puede inferir que durante el intervalo de tiempo comprendido entre los 20 y los 30 días de cobertura plástica, inició la degradación de moléculas de alto peso molecular y compuestos lignocelulósicos.

Costaldi *et al.* (2005 citado por Márquez *et al.* 2008) menciona que los microorganismos aprovechan con mayor rapidez los compuestos lábiles y/o solubles, lo que concuerda con autores como Álvarez (2005), Corrales *et al.* (2015) y Rodríguez *et al.* (2016), quienes mencionan que las moléculas complejas se rompen para formar moléculas sencillas, utilizando como ejemplo la degradación de proteínas en aminoácidos y en última instancia la producción de amoníaco.

Álvarez (2005) señala que en ecosistemas acuáticos el proceso de descomposición de la materia orgánica, los compuestos de alto peso molecular y componentes lignocelulósicos son metabolizados de forma muy lenta en comparación los compuestos sencillos de bajo peso molecular. Comportamiento que extiende a otros ecosistemas naturales como los ecosistemas forestales según describe Gallardo (1994), dado que clasifica la descomposición de la hojarasca en tres etapas; siendo la primera una biodegradación rápida de la mayoría de los compuestos hidrosolubles y polisacáridos, la segunda es una disminución lenta de compuestos hidrosolubles fenólicos y hemicelulosíticos y finaliza con un aumento en la concentración de ligninas y proteínas.

La técnica de compostaje se ajusta al comportamiento de descomposición en ecosistemas naturales, con la variante térmica, en la cual, la degradación de los distintos componentes de la materia orgánica está sujetos a los cambios de temperatura en el proceso. Los compuestos lábiles en lo que se encuentran azúcares, proteínas, almidones y parte de las hemicelulosas son degradados en etapas mesofílicas. La degradación de compuestos como celulosa y lignina inicia en etapas termofílicas y continua en etapa mesofílica II o enfriamiento (Sztern y

Pravia 1999; Márquez *et al.* 2008; Román *et al.* 2013, Sepúlveda y Alvarado 2013; Garro 2016).

Si bien, dentro el proceso de descomposición durante este ensayo no se desarrolló la curva térmica que caracteriza el compostaje, en todos los tratamientos se desarrolló el crecimiento de hongos saprofitos posterior a la exposición del rastrojo al ambiente (Figura 20). Román *et al.* (2013), resaltan que la presencia de este tipo de organismos aparece en la etapa mesófila de II, los cual comprende rangos de temperatura de 40 °C - 45 °C.



Figura 20. Presencia de hongos saprofitos en el rastrojo de piña, posterior a la descomposición anaeróbica bajo cobertura plástica, Río Cuarto, 2019.

De igual manera, en la descomposición anaeróbica suceden procesos similares a la descomposición aeróbica. Iniciando con el aprovechamiento de los compuestos simples que son capaces de atravesar la membrana celular, favoreciendo el crecimiento de la biomasa microbiana y simultáneamente, hidrólisis de sólidos insolubles (celulosa y hemicelulosa) y coloides orgánicos (proteínas) y

lípidos; mediante la liberación de exoenzimas bacterianas (Lorenzo y Obaya. 2005; FAO 2011; Corrales *et al.* 2015). La principal limitante en la etapa hidrolítica es la degradación de los compuestos lignocelulósicos, repercutiendo negativamente en la velocidad de las reacciones (FAO 2011).

Los componentes celulosa, hemicelulosa y lignina conforman la Fibra Detergente Neutro (FND); mientras que sólo la celulosa y lignina conforman Fibra Detergente Acida (FDA) y son los más difíciles de degradar en los distintos procesos de descomposición. Por otro lado, Irías y Lutz (2014) en base Córdoba (2011), reporta que el rastrojo de piña posee 66% de celulosa y 8% lignina; además Irías y Lutz (2014) bajo fuente propia, reportan valores de lignina de hasta 10,3%. es por ello por lo que, posiblemente la descomposición en este estudio, abarco en su mayoría compuestos presentes en otros componente nutricionales del rastrojo como la proteína cruda, carbohidratos no estructurales, entre otros; recordando que hemicelulosa es compuesto que se puede degradar en fases hidrolíticas iniciales.

4.2 Emergencia de mosca adulta del rastrojo

La emergencia de mosca del rastrojo posterior a la descomposición bajo cobertura plástica presentó un efecto significativo ($p=0,0266$) en la interacción de los tres factores de evaluación: cobertura plástica, producto biológico y aplicación de cal (Figura 21). Se encontró que el mayor efecto fue en respuesta al tiempo de cobertura, donde el rastrojo a los 30 días de cobertura plástica presentó la menor emergencia de moscas/m² en comparación con las demás variables.

A pesar de no existir diferencias estadísticas en los tratamientos a los 30 días de cobertura plástica, los tratamientos sin la aplicación de cal presentaron menor emergencia de moscas (Anexo 10); con la excepción del tratamiento de E.M.-1[®] con cal a los 30, el cual se ubicó como el segundo tratamiento con la menor cantidad de moscas.

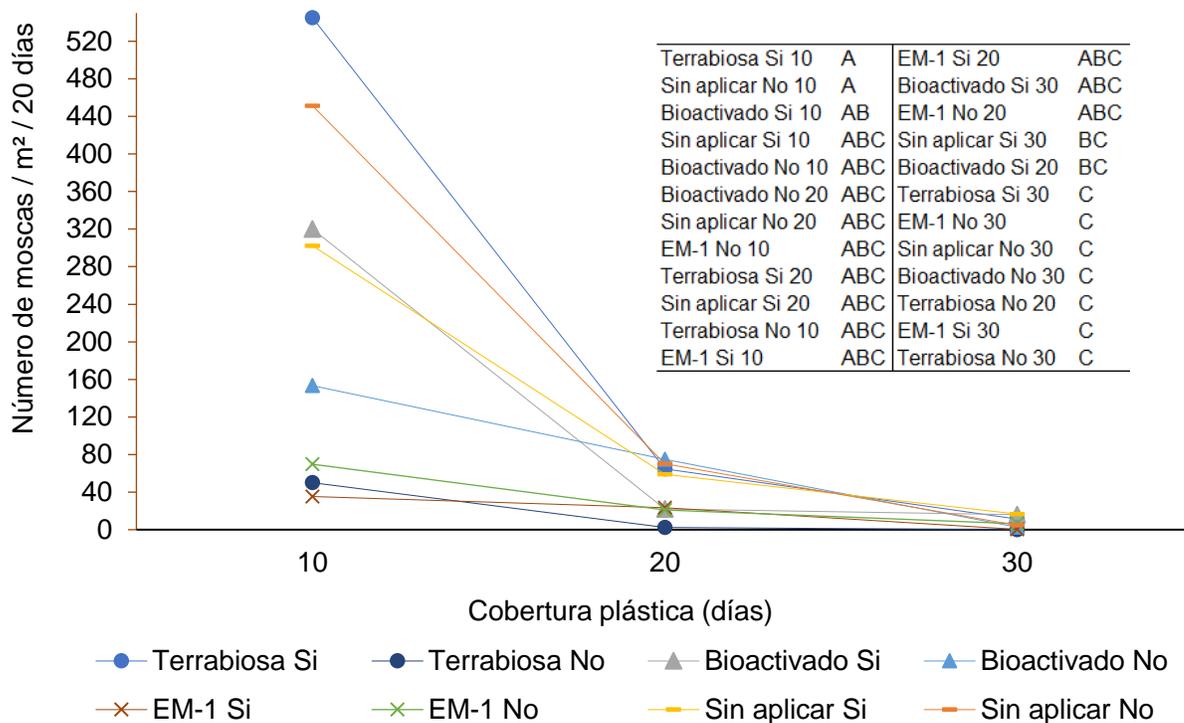


Figura 21. Emergencias de mosca del establo del rastrojo tratamiento posterior a la descomposición anaeróbica del rastrojo de piña, Río Cuarto, 2019. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p < 0,0266$).

La mosca del establo se ve atraída por rastrojo de piña a partir de ruptura de tallos y hojas de plata, al liberarse olores llamativos para *S. calcitrans*, cuya atracción incrementa hasta el día 6 o 7 (Solórzano 2014). Durante el establecimiento del presente ensayo se generó un ambiente propicio para la atracción de mosca de establo; sin embargo, el desarrollo se vio afectado e inhibido, por la aplicación de Nemacur® pre-derriba, así como los tres pases de trituración y acordonado del material, previos a la colocación de la cobertura plástica.

Mediante muestreos de estados inmaduros, dirigidos al rastrojo, a los tres días después de retirar la cobertura plástica en cada uno de los tres tiempos de descomposición. Se determinó inicio la atracción de mosca del establo una retirado el plástico, encontrando solamente huevos a los tres días y la aparición de larvas a los seis días, Cuadro 7. Lo que determina que las moscas que fueron capturadas,

mediante las trampas de pirámide, correspondían a moscas desarrollados durante el período de exposición del rastrojo posterior a su descomposición.

Cuadro 7. Muestreo de estados inmaduros de mosca de establo en el rastrojo posterior a la descomposición anaeróbica, según el tiempo de cobertura plástica, Finca Anexco, R

Días de cobertura plástica	DDRP*	Huevos/ 0,0625 m ²	Larvas/ 0,0625 m ²
10		204.67	0.00
20	3	27.08	0.00
30		9.50	0.00
10		162.46	2.46
20	6	26.63	0.38
30		9.04	0.17

*DDRP: Días después de retirado el plástico

La reducción en la emergencia se pudo ver reducida por motivos como: un cambio de los olores liberados por el rastrojo en proceso de descomposición o bien, un cambio en la descomposición que afectara la composición nutricional del rastrojo. Se ha reportado durante la cría y desarrollo de *S. calcitrans*, en condiciones de laboratorio, dieta es un factor que puede: alargar el ciclo de mosca, o bien, evitar que moscas pasen al siguiente estadio (Angulo y Lecuona 2014; Vargas y Solórzano 2016).

Es importante mencionar que posterior a las tres trituraciones del material durante el presente ensayo, se encontraron tallos y plantas enteras dentro de los cordones, lo cual pudo interferir con la descomposición homogénea que sí se dio con el rastrojo de mayor grado de trituración. Debido a que un factor que afecta la descomposición de la materia orgánica tanto en condición aerobia como anaerobia es el tamaño de la partícula, se puede favorecer la hidrólisis conforme más pequeño

se le material, y así disminuir la materia no descompuesta donde se albergue la mosca (FAO 2011; Román *et al.* 2013; Corrales *et al.* 2015).

Un comportamiento de interés es el que se presenta en la figura 22, la cual muestra el comportamiento de emergencia de moscas durante los intervalos de muestreo clasificando por los tratamientos por el factor de cobertura plástica. Se aprecia que en el conjunto de los tratamientos de 30 días de cobertura plástica posiblemente existe menor cantidad de moscas. Además, se evidencia que, para los tratamientos de 20 y 30 días de cobertura plástica, durante el último intervalo (del día 27 al día 32 posterior al retirado del plástico) tienden a decrecer en el número de moscas. Por otra parte, en este último intervalo de muestro, el número de moscas se encuentra en aumento en el rastrojo a los 10 días de cobertura plástica. Por ende, existe la posibilidad que, en los tratamientos con 10 días de cobertura, continúe la emergencia de moscas por un tiempo más prologado que en los otros dos tratamientos.

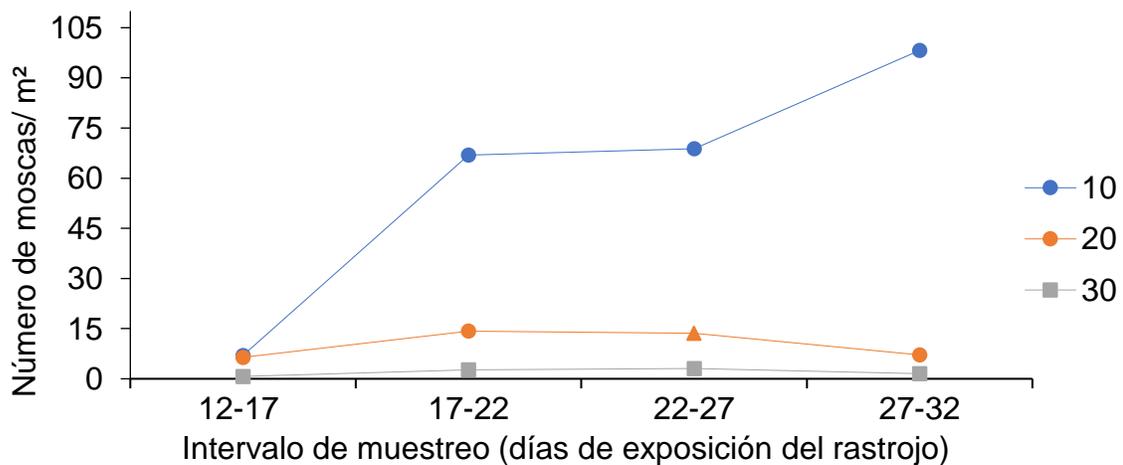


Figura 22. Emergencia de mosca del establo durante los intervalos de muestreo según los días de cobertura plástica que tuvo el rastrojo del material, Río Cuarto, 2019.

Los resultados obtenidos de emergencia de mosca del establo en este ensayo se efectuaron con material sobre la superficie del suelo; por lo cual, los valores de emergencia del rastrojo posterior a su descomposición pueden llegar a ser menores si el material se incorpora conforme se retira la cobertura plástica. Gómez (2018) determinó que posterior a la incorporación del rastrojo al suelo tratados mediante el método de derriba en seco, continua la emergencia de moscas en restos de plantas que quedan en las partes más superficiales, llegando 6 moscas/m² en dos semanas de captura. Gonzales (2012) menciona que la incorporación del material mediante el uso de rastra ayuda disminuir la proliferación de mosca del establo.

Si bien en este estudio, se procuró evaluar la descomposición del rastrojo como medida de control sobre la mosca del establo, existen otros procesos adicionales que podrían implementarse (Solórzano *et al.* 2013). Por ejemplo, Treviño (2018) reportó que posterior a la derriba, la emergencia de mosca de establo fue 409,6 moscas/m², valor que se redujo un 49,8% al utilizar el parasitoide *Spalangia edius* para el control de mosca del establo. La emergencia de adultos utilizando control químico de los ingredientes activos triflumoron, novaluron, ciromacina a dosis un 1 y 2 L/ha, oscila entre los 2,5 y 12,5 moscas/m², en comparación con 52,5 moscas/m² en el tratamiento testigo (Solórzano *et al.* 2013). Por ello, el uso de no sólo la descomposición del rastrojo debe integrarse al paquete como método de control de la mosca del establo.

5 CONCLUSIONES

- A pesar de la existencia de diferencias en las variables de temperatura del rastrojo, todos los tratamientos se encuentran en el rango de temperaturas mesófilas.
- El rastrojo presentó una pérdida de peso seco acelerada hasta el día 20 de descomposición, perdiendo 39,97% del peso. De los 20 a 30 días se desaceleró la descomposición, perdiendo solamente un 3,04%.
- La aplicación de cal al rastrojo de piña disminuyó la pérdida de peso del rastrojo, los tratamientos en los que no se aplicó fue 5,52% más eficiente.
- Conforme aumenta el tiempo de descomposición del rastrojo bajo cobertura plástica se evidencia una disminución en la emergencia de moscas por metro cuadrado.
- El factor más influyente en el ensayo fue el tiempo de cobertura plástica de los rastrojos; donde los tratamientos de 20 y 30 días de descomposición fueron los más eficientes para pérdida de peso y emergencia de mosca.

6 RECOMENDACIONES

- Continuar con la línea de investigación del manejo cultural de rastrojo de piña mediante la descomposición bajo cobertura plástica.
- Realizar modificaciones en aspectos metodológicos como: tipo de cobertura, tamaño (ancho y alto del cordón), tiempos de descomposición superiores a los 30 días.
- Aumentar el número de repeticiones por tratamientos para la variable de emergencia de mosca del establo en condiciones de campo.
- Realizar ensayos de cría y desarrollo de estados inmaduros de *Stomoxys calcitrans* bajo condiciones *in vitro*, utilizando como medio nutricional rastrojo de piña con diferentes edades de descomposición.
- Analizar la composición del rastrojo de piña previo a su descomposición bajo el sistema planteado; tales como: análisis bromatológicos, pH, relación C: N, concentración de diferentes elementos, entre otros.
- Realizar una identificación de los microorganismos que se encuentran presentes antes, durante y después del proceso de la descomposición del rastrojo.
- Analizar la calidad del rastrojo de piña como abono orgánico, posterior a su descomposición, mediante: análisis de químico de laboratorio de suelos, indicadores de madurez o estabilidad, humedad, prueba de toxicidad, inocuidad, presencia de materiales externos y presencia de metales pesados.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Alpizar, M.; Godínez, J.; Medaglia, C.; Mora, E.; Moreira, L.; Segura, S.; López, K.; Ulloa, E. 2016. Estadísticas de Comercio Exterior Costa Rica (en línea). San José, Costa Rica, PROCOMER. 249 p. Consultado el 14 de sep. 2018. Disponible en: https://procomer.com/downloads/estudios/estudio_estadistico_2016/AnuarioEstadistico2016.pdf
- Álvarez, S. 2005. La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. *Revista Ecosistemas*, 14(2): 17-29.
- Angulo, M.; Lecuona, R. 2014. First colony of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) successfully established under laboratory conditions in Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 73(3-4).
- Arguello, H. 1991. Descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. *Agronomía Colombiana* (8) 2: 384-388.
- Baldacchino, F.; Muenworn, V.; Desquesnes, M.; Desoli, F.; Charoenviryaphap, T.; Duvallat, G. 2013. Transmission of pathogens by *Stomoxys flies* (Diptera, Muscidae): a review. *Parasite*, 20.
- Baltodano, P. 2002. Determinación de la calidad microbiológica del abono orgánico bokashi durante el proceso de fabricación y almacenamiento. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 39 p.
- Barrientos, O.; Chaves, G. 2008. Región Huetar Norte: Oferta Exportadora actual y oferta potencial de productos agropecuarios alternativos (en línea). San José, Costa Rica, PROCOMER. 100 p. Consultado el 16 de nov. Disponible en: http://www.infoagro.go.cr/MarcoInstitucional/Documents/Huetar_NorteLibro-final.pdf

- Bartholomew, DP; Paull RE; Rohrbach, KG. 2003. The pineapple: botany, production and uses. New York; US. 319 p.
- Berry, I.; Stage, D.; Campbell, J. 1983. Populations and economic impacts of stable flies on cattle. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 26: 873–877.
- Campbell, J; Skoda, S; Berkebile, D; Boxler, R; Thomas, D; Adams, D; Davis, R. 2001. Effects of stable flies (Diptera: Muscidae) on weight gain of grazing yearling cattle. *Journal of Economic Entomology.* 94(3):780-783.
- CANAPEP. 2018. Producen biogás y biofertilizantes con desechos de piña (en línea). Piña de Costa Rica. (29) 24. Consultado el 10 de feb. 2019. Disponible en: <https://canapep.com/revista-2/>
- Castaldi P.; Alberti G.; Merella R.; Melis P. 2005. Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Management*, 25: 209-213.
- Cháves, A. 2016. La industria de la piña: motor económico y social de Costa Rica. CANAPEP (en línea). Piña de Costa Rica. (23) 2-10 pp. Consultado el 15 de sep. 2018. Disponible en: <https://canapep.com/revista-2/>
- Chichilla, Y. 2011. Aislamiento e identificación bioquímica y microscópica de bacterias representativas del género *Bacillus* con potencial insecticida contra *Stomoxys calcitrans*. Tesis Bach. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 48 p.
- Córdoba, M. 2011. Determinación del efecto de la concentración de la base NaOH de la celulosa y celobiasa en la hidrólisis para la producción de etanol a partir del rastrojo de piña. Tesis de Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica.

- Corrales, L.; Antolínez, D.; Bahórquez, J.; Corredor, A. 2015. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 13(24): 55-82.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Elferink, S.; Driehuis, F.; Gottschal, J.; Spoelstra, S. 2001. Estudio 2.0-Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. Mannedje, L. *Uso del Ensilaje en el Trópico Privilegiando Opciones para Pequeños Campesinos*, 1999, Conferencia Electrónica. FAO.
- FAO. 2011. Manual de Biogás. MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. Santiago, Chile, FAO. 120 p.
- Gallardo, J. 1994. Dinámica de descomposición orgánica en sistemas conservacionistas. Memorias del congreso VII de la Sociedad Colombiana de la Ciencia y del Suelo.
- García, A.; Rodríguez, M. s.f. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para la producción de piña en Costa Rica. BANACOL, MAG, MINAE. 66 p.
- Garita, RA. 2014. La piña. 1 ed. Cartago, CR. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 568 p.
- Garro, J. 2016. El suelo y los abonos orgánicos: acciones climáticas en el sector agropecuario. San José, Costa Rica, INTA. 106 p.
- Gómez, Y. 2018. Muestreo y fluctuación poblacional de mosca del establo en rastrojo de piña. *Alcances Tecnológicos*. 12(1):25-36.
- González, EA; Cedillo, PE; Días, GL. 2007. Morfología y Anatomía de las plantas con flores. Universidad Autónoma Chapingo. México DF, MX. 276 p.

- González, L. 2012. Manual técnico para el manejo rastrojo en cultivo de piña. San Jose, Costa Rica. MAG; SFE. 18p
- Haug, R.T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Boca Raton Florida, Lewis Publishers. 752 p.
- Herrero, M. V., Montes Pico, L.; Hernández, R. 1991. Abundancia relativa de *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae) en seis localidades del Pacífico Sur de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 39: 309–310.
- Herrero, M.; Montes, L.; Sanabria, C.; Sánchez, A.; R. Hernández. 1989 estudio inicial sobre la mosca de los establos *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae), en la región del pacífico sur de Costa Rica. Cienc. Vet. 11:11–14.
- INEC. 2015. VI Censo Nacional Agropecuario, Atlas Estadístico Agropecuario. San José, Costa Rica, INEC. Consultado el 15 de sep. 2018. Disponible en: http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/01_atlas_estadistico_agropecuario_2014.pdf
- INEC. 2015. VI Censo Nacional Agropecuario, Cultivos Agrícolas, Forestales y Ornamentales. San José, Costa Rica, INEC. Consultado el 15 de sep. 2018. Disponible en: http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/agropecuario/publicaciones/real_gropeccenagro2014-tii-007.pdf
- INEC. 2017. Una visión del sector agropecuario Basado en CENAGRO (en línea). San José, Costa Rica, INEC. 588p. Consultado el 16 de sep. 2018. Disponible en: <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/imgsimposio-cenagro-08122017.pdf>

- Irías, A.; Lutz, G. 2014. Composición química de la biomasa residual de la planta de piña variedad MD2 proveniente de Guácimo, Limón. *Revista de Ciencia y Tecnología*: 30(2).
- Jiménez, J. 1999. Manual práctico para el cultivo de piña de exportación. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Costa Rica. 222 p.
- Justin, T. 2008. Management and characterization of stable fly larval habitats at round hay bale feeding sites in Pastures. 2008. Tesis PhD. Kansas State University. 109 p.
- Kass, D. 1998. Fertilidad de suelos. San José, CR, EUNED. 272p
- Kaufman, P; Weeks, E. 2016. Stable Fly *Stomoxys calcitrans* (L.) (Insecta: Diptera:Muscidae). Gainesville, USA, Nematology Department, UF/IFAS Extension. 6 p. Technical report EENY642.
- López, H. M. 2008. Valoración nutricional de los rastrojos de piña (*Ananas comosus*) como una alternativa forrajera de bajo costo para la alimentación del ganado. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 106 p.
- López, M.; WingChing, R.; Rojas, A. 2009. Características fermentativas y nutricionales del ensilaje de rastrojo de piña (*Ananas comosus*). *Agronomía Costarricense*. 33(1): 1-15.
- Lorenzo, Y.; Obaya, C. 2005. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 39(1): 35-48.
- Malézieux, E. Cote, F. Bartholomew, DP. 2003. Crop Environment, Plant Growth and Physiology. CABI Publishing. New York, USA. 301p.
- Márquez, P.; Díaz, M.; Cabrera, F. 2008. Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje. *In*. Moreno, J. Compostaje. Madrid, España, Mundi-Prensa. 530 p.

- Meléndez, G. 2003. Residuos orgánicos y la materia orgánica del suelo. Meléndez, G; Soto, G. Taller de abonos orgánicos, 2003, San José, Costa Rica. San José, Costa Rica, UCR-CATIE. 155 p.
- Mora, S. 2018. (en línea). Comercio Exterior del Sector Agropecuario, I Semestre 2017-2018 (en línea). San José, Costa Rica, SEPSA. 17p. Consultado el 16 de sep. 2018. disponible en: http://www.sepsa.go.cr/DOCS/2018-019-Comercio_Exterior_Sector_Agropecuario_I_Semestre_2017-2018.pdf
- Müller, G.; Hogsette, J.; Kravchenko, V.; Revay, E.; Schlein, Y. 2011. New records and ecological remarks regarding the tribe Stomoxyini (Diptera: Muscidae) from Israel. *Journal of Vector Ecology*, 36(2), 468-471.
- Okumoto, S. 2003. Uso de inoculante microbiano para la elaboración de abono orgánico. Meléndez, G; Soto, G. Taller de abonos orgánicos, 2003, San José, Costa Rica. San José, Costa Rica, UCR-CATIE. 155 p.
- Paganella-Chang, G.; Blanco, H.; Vargas, M. Manejo de las poblaciones de *Stomoxys calcitrans* (L.) (diptera: muscidae) mediante el uso de descomponedores en el rastrojo de piña (*Ananas comosus*) (L.) Merr. *Entomología Mexicana*. (2):312-318
- Paull, R.; Duarte, O. 2011. 2 ed. CAB International. London, UK. 400 p.
- Pérez, A.; Etchevers, J.; Navarro, H.; Núñez, R. 2000. Aporte de los residuos del cultivo anterior al reservorio de nitrógeno en tepetates. *Agrociencia*, 34(2): 115-125.
- PITTA PIÑA. 2011. Guía Práctica de diagnóstico de la mosca del establo *Stomoxys calcitrans* y otros dípteros asociados a rastrojo de piña. INTA, FITACORI, DEL MONTE. 28 p.
- Ramos, D.; Terry, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bokashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59.

- Rojas, A. 2011. Alimentación de bovinos con rastrojo de piña (*Ananas comosus*). UTN Informa, 13(58), 16-20.
- Rojas, T.; Porras, S.; Bolaños, A.; Van der Lutch, A. 2010. Plan de acción conjunto SFE/SENASA para el combate de la “mosca de establo” (*Stomoxys Calcitrans L.*): MAG, SENASA, SFE. 136 p.
- Román, P.; Martínez, M.; Pantoja, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina Santiago, Chile, FAO. 108 p.
- Salem, A. 2012. *Stomoxys calcitrans* (L. 1758): morphologie, biologie, rôle vecteur et moyens de lutte. Tesis Ph. D. Toulou, Francia, Institut National Polytechnique de Toulouse. 137 p.
- Salem, A.; Franc, M.; Jacquiet, P.; Bouhsira, E.; Liénard, E. 2012. Feeding and breeding aspects of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) under laboratory conditions. Parasite, 19(4), 309-317 pp.
- Samson, JA. 2003. Tropical Fruits. 2 ed. Londres, GB. Backwell Publishing. 335 p.
- Sepulveda, L.; Alvarado, J. 2013. Manual de compostaje: Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá. Medellin, Colombia, Litografía Nicolás Aristizabal. 84 p.
- Singh, J.; Gupta, S. 1977. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The botanical review, 43(4): 449-528.
- Skovgard, H.; Nachman, Gösta. 2017. Modelling Biological Control of Stable Flies by Means of Parasitoids. Denmark, The Danish Environmental Protection Agency. 133p.
- Solórzano, A. 2014. Manejo integrado de la Mosca del Establo *Stomoxys calcitrans* en Costa Rica. Premio Innovagro. Costa Rica, INTA.

- Solórzano, J. A., Gilles, J., Bravo, O., Vargas, C., Gomez-Bonilla, Y., Bingham, G. V., & Taylor, D. B. 2015. Biology and trapping of stable flies (Diptera: Muscidae) developing in pineapple residues (*Ananas comosus*) in Costa Rica. *Journal of insect science*, 15(1).
- Solórzano, J.; Treviño J.; Hidalgo. E.; Gómez, H.; Blanco, M.; Apuy, L.; González, L. Meneses, D. 2013. Manual de recomendaciones para el manejo de la mosca del establo *Stomoxys calcitrans* en el cultivo de piña. Memorias Taller manejo de rastrojo del cultivo de piña y plagas que afectan la competitividad 30, 31 octubre y 01 de noviembre Hotel Tilajari, Muelle de San Carlos. PITTA PIÑA. CANAPEP/ FITTACORI. 32 p
- Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: El proceso de compostaje. Meléndez, G; Soto, G. Taller de abonos orgánicos, 2003, San José, Costa Rica. San José, Costa Rica, UCR-CATIE. 155 p.
- Soto, G.; Luna, P.; Wagger, M.; Smyth, T.; Alvarado, A. 2002. Descomposición de residuos de cosecha y liberación de nutrimentos en plantaciones de palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 26(2): 43-51.
- Soto, G.; Meléndez, G. 2004. Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 72: 91-97.
- Stetinford, E.I. 1996. Composting control: Principles and practices. In: De Bertoldi, M., P.Sequi., B., Lemmes y T. Papi (eds.) *The Science of Composting. Part I*. Blackie Academicand Professional, Chapman and Hall, London.
- Sunar, N.; Stentiford, E.; Stewart, D.; Fletcher, L. 2009. The Process and Pathogen Behaviour in Composting: A Review. *Proceeding UMT-MSD 2009 Post Graduate Seminar 2009*. Universiti Malaysia Terengganu, Malaysian Student Department UK & Institute for Transport Studies University of Leeds. 78-87.
- Sztern, D.; Pravia, L. 1999. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. OPS, HEP. HES, URU. 67 p.

- Talley, J 2008. Management and characterization of stable fly larval habitats at round hay bale feeding sites in pastures. Thesis Ph.D. Manhattan, Kansas, Kansas State University. 97 p.
- Taylor, D.; Moon, R.; Mark D. 2012. Economic impact of Stable Fly (Diptera: Muscidae) on beef cattle production. J. Med. Entomol. 49: 198–209.
- Treviño, J. 2018. Control biológico de *Stomoxys calcitrans* (Linnaeus) (Diptera: Muscidae) en rastrojo de piña, con el parasitoide *Spalangia endius* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae) como parte del manejo agroecológico de plagas, en Pital de San Carlos, Costa Rica. Tesis MSc. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional. 72 p.
- Uribe, L. 2003. Inocuidad de abonos orgánicos. Meléndez, G; Soto, G. Taller de abonos orgánicos, 2003, San José, Costa Rica. San José, Costa Rica, UCR-CATIE. 155 p.
- Valverde, M.; Rodríguez, G.; Mora E. 2018. Informe de gestión agropecuario y rural (mayo 2014-abril 2018) (en línea). San José, Costa Rica, SEPSA. 155 p. Consultado el 13 de sep. 2018. Disponible en:http://www.sepsa.go.cr/docs/2018-005-Informe_Gestion_Sector_Agropecuario_2014-2018.pdf
- Vargas, C.; Solórzano, J.A. 2016. Biología y cría de la mosca del establo *Stomoxys calcitrans* L. Alcances Tecnológicos, 11(1): 1-16.
- Villavicencio, L. 2012. Producción, pérdida de peso y tasas de descomposición de hojarasca en cafetales tradicional y rústico, y selva mediana, en Veracruz, México. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 18(2): 159-173.
- Westermann, D.; Crothers, S. 1980. Measuring Soil Nitrogen Mineralization Under Field Conditions 1. Agronomy Journal, 72(6): 1009-1012.

Zumpt, F. 1973. The Stomoxyinae biting flies of the world. Taxonomy, biology, economic importance and control measures. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 175 pp.

8 ANEXOS



Anexo 1. Medición de peso de planta de piña para estimación de la biomasa por hectárea.



Anexo 2. Relleno de drenajes previo a la derriba de la plantación.



Anexo 3. Primera trituración de plantas del material experimental.



Anexo 4. Acordonado del rastrojo posterior a la primer trituración del material.



Anexo 5. Segunda trituración del material.



Anexo 6. Aplicación de cal al cordón de material previo a la segunda trituración del material.



Anexo 7. Retiro del plástico a los 10 días de descomposición anaeróbica.

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	T sup	T 30	Tmax	Tmin	Humedad	Prec	Tmax 8-14	Tmin 8-14	H 8-14	PREC 8-14	RS 8-14	RS1	TProm
T sup	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.8E-07	0.00	0.00	0.00	1.5E-06	0.00	0.00	0.00
T 30	0.54	1.00	2.4E-03	2.2E-03	0.01	0.52	4.4E-04	3.4E-04	1.1E-03	0.33	1.0E-03	0.01	2.3E-03
Tmax	0.48	0.10	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tmin	0.48	0.10	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humedad	-0.48	-0.09	-0.95	-0.97	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prec	-0.16	-0.02	-0.31	-0.38	0.42	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tmax 8-14	0.49	0.11	1.00	0.99	-0.95	-0.29	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tmin 8-14	0.49	0.11	0.99	0.99	-0.97	-0.35	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H 8-14	-0.49	-0.10	-0.95	-0.96	0.99	0.38	-0.96	-0.97	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PREC 8-14	-0.15	-0.03	-0.29	-0.36	0.40	1.00	-0.27	-0.33	0.36	1.00	0.00	0.00	0.00
RS 8-14	0.49	0.10	0.96	0.97	-0.96	-0.38	0.96	0.96	-0.96	-0.35	1.00	0.00	0.00
RS1	0.47	0.08	0.96	0.96	-0.96	-0.34	0.96	0.96	-0.95	-0.32	1.00	1.00	0.00
TProm	0.48	0.10	1.00	1.00	-0.96	-0.35	0.99	0.99	-0.96	-0.32	0.96	0.96	1.00

Anexo 8. Coeficientes de correlación de las variables temperatura del rastrojo en descomposición y las variables ambientales.

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	P fres fi	P sec fi	MS	PFI - PFF	PSI-PSF	T sup	T 30	TProm	Cob
P fres fi	1.00	2.0E-12	3.5E-05	0.00	2.0E-12	3.9E-05	2.6E-03	2.6E-04	3.0E-04
P sec fi	0.64	1.00	3.2E-05	2.0E-12	0.00	0.26	0.71	0.73	0.00
MS	-0.41	0.41	1.00	3.5E-05	3.2E-05	6.6E-04	7.1E-05	1.3E-04	5.2E-05
PFI - PFF	-1.00	-0.64	0.41	1.00	2.0E-12	3.9E-05	2.6E-03	2.6E-04	3.0E-04
PSI-PSF	-0.64	-1.00	-0.41	0.64	1.00	0.26	0.71	0.73	0.00
T sup	-0.41	-0.12	0.34	0.41	0.12	1.00	0.00	0.00	0.61
T 30	-0.31	0.04	0.40	0.31	-0.04	0.88	1.00	0.00	0.02
TProm	-0.37	-0.04	0.38	0.37	0.04	0.97	0.97	1.00	0.15
Cob	-0.36	-0.69	-0.40	0.36	0.69	-0.05	-0.23	-0.15	1.00

Anexo 9. Coeficientes de correlación de las variables temperatura del rastrojo en descomposición y variable de pérdida del peso del rastrojo.

Anexo 10. Emergencias de moscas del rastrojo por tratamiento posterior a la descomposición anaeróbica del rastrojo de piña, Río Cuarto, 2019. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p=0,0266$).

Producto biológico	Aplicación de cal	Cobertura plástica	Moscas/ m ² / 20 días	Error Estándar
Terrabiosa®	Si	10	545.00 A	264.68
Sin aplicar®	No	10	451.33 A	209.29
Bioactivado®	Si	10	320.00 AB	154.57
Sin aplicar®	Si	10	302.33 ABC	209.29
Bioactivado®	No	10	153.33 ABC	154.57
Bioactivado®	No	20	75.00 ABC	15.27
Sin aplicar®	No	20	70.00 ABC	20.52
E.M.-1®	No	10	69.67 ABC	69.03
Terrabiosa®	Si	20	64.67 ABC	25.87
Sin aplicar®	Si	20	59.00 ABC	20.52
Terrabiosa®	No	10	50.00 ABC	264.68
E.M.-1®	Si	10	35.33 ABC	69.03
E.M.-1®	Si	20	23.33 ABC	7.23
Bioactivado®	Si	30	22.00 ABC	7.40
E.M.-1®	No	20	21.00 ABC	7.23
Sin aplicar®	Si	30	16.67 BC	9.72
Bioactivado®	Si	20	16.00 BC	15.27
Terrabiosa®	Si	30	11.33 C	12.11
E.M.-1®	No	30	6.33 C	4.10
Sin aplicar®	No	30	4.67 C	9.72
Bioactivado®	No	30	2.67 C	7.40
Terrabiosa®	No	20	2.33 C	25.87
E.M.-1®	Si	30	0.33 C	4.10
Terrabiosa®	No	30	0.00 C	12.11

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, LSD Fisher ($p<0,05$).



Anexo 11. Foto panorámica del rastrojo bajo cobertura.