



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE BIOSISTEMAS

“Análisis de eficacia de las tierras diatomeas en el control de las plagas *Sitophilus oryzae* y *Rhizopertha dominica* durante el almacenamiento del arroz *Oryza sativa* en granza”

Trabajo Final de Graduación presentado ante la Escuela de Ingeniería de Biosistemas como
requisito para aspirar al grado de:

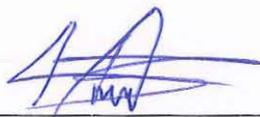
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y DE BIOSISTEMAS

EDUARDO DAVID BADILLA MENA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

2022

Trabajo Final de Graduación sometido a revisión por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas.



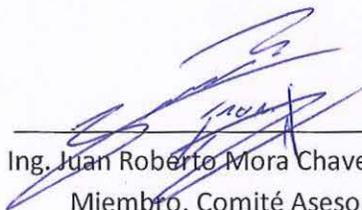
Ing. Eduardo David Badilla Mena, Bach.
Candidato



Ing. Giovanni Carmona Villalobos, Lic
Director, Comité Asesor



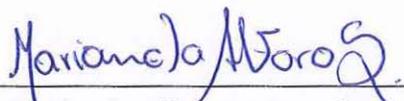
Ing. Guillermo Vargas Elías, D.Sc.
Miembro Comité Asesor



Ing. Juan Roberto Mora Chaves, Lic.
Miembro, Comité Asesor



Ing. Marta Montero Calderón, Ph.D.
Miembro Comité Examinador



Ing. Marianela Alfaro Santamaría, Ph.D.
Miembro, Tribunal Examinador

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Isidro y Aracelly, mis hermanos Wendy, Bryan, Elvis y Brandon por todo el apoyo que me brindaron durante todo este proceso que fue en muchos momentos difíciles y a pesar de todo, confiaron en que podría seguir adelante y concluir con esta importante etapa.

A mi novia Valeria Masis que se volvió una importante persona en mi vida y me brindo su apoyo incondicional en estos últimos años.

A la Universidad de Costa Rica y su sistema de becas que hizo posible concluir con mis estudios de Licenciatura, y sin su apoyo económico esto no hubiera sido posible.

Al comité asesor del TFG: El Ing. Geovanni Carmona Villalobos, el Dr. Guillermo Varga Elías y el Ing. Juan Roberto Mora Chaves por su disposición y consejos a lo largo de la elaboración de este trabajo.

Al Profesor Guillermo Vargas también quiero agradecer por su ayuda durante la crisis sanitaria que vivió el país, sin él quizás no hubiera podido finalizar con este trabajo, gracias por tanta paciencia y apoyo.

Al Ing. Roger Umaña de CONARROZ por su colaboración y donación del arroz en granza y las plagas de pie de cría.

A todos esos amigos que tuve el privilegio de conocer durante todo este proceso y que siempre confiaron en que podría salir adelante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	2
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
RESUMEN	4
CAPÍTULO 1.....	5
1.1 JUSTIFICACIÓN	5
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	8
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 INTRODUCCIÓN.....	9
2.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	11
2.3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
2.3.1 <i>Plagas que atacan los granos</i>	17
2.3.2 <i>Sitophilus Oryzae</i>	18
2.3.3 <i>Rhyzopertha dominica</i>	20
2.4 MÉTODOS DE CONTROL DE PLAGAS	22
2.4.1 <i>Aplicaciones químicas</i>	23
2.4.2 <i>Aireación</i>	23
2.4.3 <i>Atmósferas controladas</i>	24
2.4.4 <i>Tierras diatomeas (DE)</i>	24
CAPITULO 3. METODOLOGÍA.....	26
3.1 TRABAJO PREVIO (PIE DE CRÍA)	26
3.2 SITIO DE ESTUDIO	26
3.3 TIERRAS DIATOMEAS.....	27
3.4 ARROZ EN GRANZA <i>ORYZA SATIVA</i>	27
3.5 ENVASES	28
3.6 BIOENSAYO	28
3.7 PÉRDIDAS DE GRANO	29
3.8 CALIDAD DEL GRANO	30
3.8 DETERMINACIÓN COSTOS OPERACIONALES DE IMPLEMENTAR DE EN SILOS	31
3.9 ANÁLISIS DE VARIANZA	31
CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1 MORTALIDAD.....	32
4.2 NATALIDAD.....	35

4.3	ANÁLISIS DE CALIDAD DEL GRANO	39
4.4	PÉRDIDAS DE PESO GENERADAS POR LAS PLAGAS AL GRANO.....	47
4.5	COSTOS OPERATIVOS DE IMPLEMENTACIÓN DE DE A ESCALA DE GRANEL	52
5.	CONCLUSIONES.....	59
6.	RECOMENDACIONES.....	60
7.	REFERENCIAS	61
	ANEXOS	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Duración de desarrollo de las etapas larvaria de la especie <i>Rhizopertha dominica</i> ... 22
Cuadro 2.	Factores y grados de calidad de arroz pilado..... 31
Cuadro 3.	Porcentaje de mortalidad del <i>Rhizopertha dominica</i> y el <i>Sitophilus oryzae</i> 32
Cuadro 4.	Natalidad acumulada para <i>Rhizopertha dominica</i> y el <i>Sitophilus oryzae</i> 36
Cuadro 5.	Datos obtenidos de peso hectolítrico para todos los tratamientos con DE. 40
Cuadro 6.	Porcentajes de pérdidas obtenidas durante el proceso de molienda para cada tratamiento con DE..... 41
Cuadro 7.	Análisis de calidad del arroz pilado obtenido en el laboratorio de Granos del CIGRAS. 43
Cuadro 8.	Calificación asignada a los tratamientos según los factores y grados de calidad del arroz pilado. 44
Cuadro 9.	Variación del contenido de humedad del Steinlite con los resultados del Laboratorio del CIGRAS..... 47
Cuadro 10.	Datos obtenidos para el contenido de humedad con el equipo Steinlite para todos los tratamientos con DE..... 48
Cuadro 11.	Pérdidas de peso del grano efecto de las plagas <i>R. dominica</i> y <i>S. oryzae</i> 49
Cuadro 12.	Pérdidas de grano corregidas mediante la variación del contenido de humedad utilizando el Steinlite. 50
Cuadro 13.	Costo operacional anual de implementar DE en silos con un sistema semi-tecnificado..... 55
Cuadro 14.	Gasto por salario anual de un peón a medio tiempo requerido para la aplicación de DE en un sistema semi-tecnificado..... 56
Cuadro 15.	Costos materia prima para aplicar un silo de 2000 toneladas con dosis recomendada. 57
Cuadro 16.	Costo implementación sistema automatizado para aplicación de DE. 57
Cuadro 17.	Costo total de implementar tierras diatomeas en un silo de 2000 toneladas. 58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes básicas que componen un escarabajo.....	16
Figura 2. Corte transversal de la cutícula de los insectos.....	17
Figura 3. Duración de las etapas del ciclo de vida del <i>Sitophilus oryzae</i> , mostrando: 4 estadios larvarios, una etapa prepupal, pupa y adulto.....	19
Figura 4. Diferencias en el pronoto entre especies <i>Sitophilus oryzae</i> y <i>Sitophilus zeamais</i>	20
Figura 5. <i>Rhyzopertha dominica</i> : * a) vista frontal, dorsal y lateral **b) (Adulto, pronoto y larva).	20
Figura 6. Aspectos básicos para identificación especie <i>Rhyzopertha dominica</i> , A) Pronoto sin depresiones. B) escutelo cuadrado, C) Setas elitrales curvadas.....	21
Figura 7. Nivel de adherencia de las DE en los insectos al variar la dosis de aplicación.	25
Figura 8. Sistema implementado para el control de temperatura mediante placa Arduino MEGA 2560.	26
Figura 9. Balanza para peso hectolitro de 1 L de volumen.....	27
Figura 10. Procesadora de arroz GranEl modelo C-100.....	30
Figura 11. Mortalidad <i>Sitophilus oryzae</i> expuesto a diferentes dosis de tierras diatomeas durante 14 días.	33
Figura 12. Mortalidad <i>Rhyzopertha dominica</i> expuesto a diferentes dosis de tierras diatomeas durante 14 días.	34
Figura 13. Natalidad acumulada para las diferentes dosis de DE aplicadas al <i>Sitophilus oryzae</i> . 37	
Figura 14. Natalidad acumulada para las diferentes dosis de DE aplicadas al <i>Rhyzopertha dominica</i>	37
Figura 15. Porcentaje de pérdidas de peso del grano ocasionado por el <i>R. dominica</i> y el <i>S. oryzae</i>	51
Figura 16. a) Espolvoreador dorsal de fuelle Polmax 9* b) Pistola neumática Hazet 9043N-10 de 148mm, 3,3 CFM y 6,3-10.34 Bar**.	53
Figura 17. a) Dosificadora con canal vibrante, b) riel tipo araña.....	54

RESUMEN

Se realizó una investigación para evaluar la efectividad de las tierras diatomeas para el control de las plagas al *Sitophilus oryzae* y *Rhizopertha dominica* en granos de arroz (*Oryza sativa*) almacenados, siendo estas las dos principales plagas de insectos que atacan al grano almacenado. Se utilizaron dosis de 500 ppm, 750 ppm, 900 ppm y 1500 ppm de tierras diatomeas, infectando muestras de 0,6 kg de arroz en granza con 50 adultos, entre 4-5 semanas de edad. Se evaluaron por separado ambas especies a una temperatura de $26,3 \pm 0,4$ °C y una humedad relativa de $67,5 \pm 2,5$ %; el ambiente fue micro controlado mediante una placa Arduino MEGA 2560. Las evaluaciones de mortalidad se realizaron a los 2 días, 5 días, 7 días y 14 días y las evaluaciones de natalidad cada 15 días durante 60 días. Se realizó el proceso de molienda del grano y caracterización final del grano en el laboratorio de granos del CIGRAS mediante pruebas quebrado total, factores de mesa y contenido de humedad del grano.

La dosis de 1500 ppm de tierras diatomeas (DE), permitió un porcentaje de mortalidad mayor para ambas especies evaluadas, siendo $34,8 \pm 5,83$ % para el *Rhizopertha dominica* y de $69,6 \pm 14,41$ % para el *Sitophilus oryzae*. En cuanto a disminución de la progenie se obtuvo diferencias significativas para el tratamiento de 1500 ppm con un valor de 89 % en el *Sitophilus oryzae* y de 61 % para *Rhizopertha dominica* en reducción de la progenie respecto al testigo. Se mostró disminución de peso hectolítrico y en los factores de calidad de mesa respecto al testigo. Las DE fue un tratamiento físico efectivo para el control de los insectos en el arroz tanto correctivo como preventivo, siendo la dosis de 1500 ppm de DE la que genero porcentajes de mortalidad más altos y valores de natalidad inferiores al compararlos con los testigos para ambas plagas evaluadas. La dosis de 1500 ppm fue recomendada como la más eficiente para controlar ambas plagas.

Se concluyó que las pérdidas de grano no presentaron diferencias significativas y no sobrepasaron el 0,7 % para ninguno de los tratamientos con DE y el contenido de humedad no presentó diferencias significativas, por lo que no influyó en la variación de estas pérdidas del grano. Además se determinó que los gastos operacionales de implementar tierras diatomeas como una alternativa para el control de plagas en granos almacenados en silos de 2 000 toneladas rondan los \$ 8 500, significando un costo operativo de 4,25 dólares por tonelada.

CAPÍTULO 1

1.1 JUSTIFICACIÓN

La importancia de implementar tecnologías sostenibles para el control de plagas en granos almacenados como el uso de tierras diatomeas, radica en que no genera daños al medio ambiente, ni resistencia por parte de los insectos (Maquirriain, 2017). Lo que permite reducir las pérdidas de granos generadas en la etapa de almacenamiento, ya que a nivel mundial estas pérdidas equivalen a grandes costos monetario en poscosecha, según Laguna et al. (2016) citando a Casini y Santajuliana, (2014), estas pérdidas se encuentran entre el 5%-30% del peso total del grano, y se atribuye entre un 5% a un 10% a los daños ocasionados por las plagas. Esto se traduce en costos que van desde 162 millones de dólares a 475 millones de dólares (Laguna et al., 2016). Por este motivo, se vuelve necesario implementar métodos preventivos de control de plagas para disminuir estos daños causados a los granos.

Es importante implementar nuevas técnicas para el control de plagas, que no emplean químicos, los generan un impacto negativo al medio ambiente (Torres et al., 2019), como el caso de las aplicaciones comúnmente usadas de organofosforados y piretroides, que aparte de la afectación al medio ambiente, generan resistencia por parte de las plagas (Wakil et al., 2013) citando a (Zettler y Arthur, 2000; Collins, 2006; Nighat et al., 2007). Este tipo de tecnología requiere dosis cada vez más elevadas para obtener resultados similares. Además de la connotación negativa que adquieren las empresas que utilizan químicos, y generando poca aceptación por parte de los consumidores, debido al daño ambiental que se genera (Plumier et al., 2019; Wakil et al., 2013).

Por la necesidad de implementar sistema de gestión integrados de control de plagas, surgen tecnologías como las tierras diatomeas (DE por sus siglas en inglés Diatomaceous Earth), las cuales se han empleado para el control de plagas, tanto en campo como en poscosecha por ser una alternativa sostenible y que no genera peligros para la salud, incluso se encuentran certificados como insecticidas orgánicos, no tóxicos; por lo que, no afectan a los ecosistemas, ni al grano (Wakil et al., 2013) citando (Simioni et al., 2010). Además, tiene la ventaja de ser un producto que no genera resistencia por parte de los insectos, porque emplean un modo de acción físico, que permite inactivar los lípidos impermeables de la cutícula de los insectos a través de la abrasión (Chintzoglou et al., 2008; Fusé et al., 2013), ocasionando que los insectos mueran por desecación (Fusé et al., 2013; Plumier et al., 2019). Todos estos factores muestran el gran potencial de las DE como método de control de plagas en granos almacenados.

El estudio de las DE aportará datos de referencia para su aplicación en granos almacenados, ya que, de acuerdo con consultas a entes como CONARROZ no se encuentran registros de su uso en Costa Rica, pero si se encuentra su aplicación en campo para mejoramiento de suelos salinos, método de control de plagas en diferentes cultivos y para absorber humedad por derrames de líquidos por poseer altas propiedades desecantes (SUR, 2020).

En el país básicamente se está utilizando como control de plagas en arroz muestreos para determinar umbrales y aplicaciones de tratamientos con plaguicidas fumigantes como el gas fosfina (ingrediente activo fosfato de aluminio y fosfato de magnesio), o de contacto como el K-Obiol (ingrediente activo Deltametrina), acompañados de limpieza y aspiración de residuos de arroz según indican Roger Umaña ingeniero de control de calidad de Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ).

Es importante poder hacer evaluaciones en el país con DE para poder implementarlas adecuadamente, ya que estas varían en efectividad dependiendo de las condiciones climáticas, de la especie, la etapa de desarrollo de la plaga, el origen de la formulación de DE y el tipo de grano almacenado (Chintzoglou et al., 2008). Estos factores podrían variar las dosis a aplicar, siendo importante probar los diferentes factores para poder ir estableciendo dosis óptimas para zonas tropicales.

1.2 Delimitación del Problema

Como problemática que se tiene son las pérdidas económicas que se generan por los daños causados en las arroceras alrededor del mundo y en Costa Rica por las plagas que atacan el arroz en granza, donde estas pérdidas se pueden incrementar en países tropicales por las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de plagas. Incluso se puede llegar a pérdidas cercanas al 30% sino se tiene una adecuada gestión y control de las plagas que atacan los granos almacenamientos (Rojas, 2012).

En el país lo más común es la aplicación de agroquímicos, que por su uso prolongado ha ido generando resistencia por parte de las plagas (Benavides, 2012). Por esto se requiere la implementación de nuevas tecnologías para el control de plagas que permitan disminuir la utilización de métodos químicos que son perjudiciales para el medio ambiente. De esto surge la idea de implementar las tierras diatomeas, una tecnología que ha mostrado buenos resultados en el control de plagas en granos almacenado, y han sido implementadas en diferentes países, plagas y diferentes granos almacenados.

Para este estudio se evaluaron dos plagas *Sitophilus oryzae* y *Rhizopertha dominica*, las cuales son plagas primarias que atacan al arroz almacenado, provocando grandes daños en el arroz en granza. El objetivo es determinar las concentraciones de tierras diatomeas que mejor

controlan la mortalidad y la natalidad de estas plagas, así como determinar los beneficios que puede tener en la calidad final del grano en la etapa de molienda, dependiendo de la dosis que se aplique. Pero todo esto aplicado a escala laboratorio, ya que no se puede tomar el riesgo de infectar todo un silo con plagas para utilizar este tipo de tecnología, por el costo que implica. Esto permitirá obtener una concentración de DE que se pueda implementar en los países tropicales, principalmente como método preventivo de control de plagas.

El trabajo se realizó en un rango de temperatura que garantizó un óptimo desarrollo de ambas especies en estudio, favoreciendo la propagación de las plagas mediante la oviposición, evitando las temperaturas elevadas, porque pueden acelerar el ciclo de vida de los insectos, ocasionando que mueran más rápido, por ende, disminuir la natalidad de los insectos (Sousa et al., 2013), y ocasionando que el estudio de las DE para el control de natalidad no muestre datos representativos.

El estudio permitió obtener datos preliminares de la implementación de tierras diatomeas en el país, ya que este método de control de plagas no se utiliza en Costa Rica, lo cual se corrobora con entrevista al ingeniero Roger Umaña de CONARROZ (Umaña, 2020). Además, permitirá determinar la concentración de DE a aplicar en Costa Rica para el control de plagas en arroz almacenado, ya que muchos de los estudios encontrados se centran más en otros granos como el trigo y el maíz. También permitirá realizar un análisis costos operacionales de implementar las DE, lo que determinará la dosis más económica asociada a una mejor calidad del grano; esto para la etapa final de molienda.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la eficacia de las tierras diatomeas para el control *Sitophilus oryzae* y *Rhyzopertha dominica*, al variar dosis de DE aplicadas al arroz *Oriza sativa* en granza.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Establecer la concentración de tierras diatomeas para el control de mortalidad y natalidad de las plagas en estudio y su efecto en la calidad final del grano, mediante la comparación con el testigo.
2. Determinar las pérdidas de arroz durante el almacenamiento a través del daño ocasionado por la plaga al grano.
3. Estimar el costo operativo por tonelada de las tierras diatomeas para el control de plagas en el almacenamiento de granos a una escala de granel mediante cotización de proveedores.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

El arroz es (*Oryza sativa*) es una planta monocotiledónea que inició a cultivarse en regiones húmedas de Asia tropical y subtropical; pero se cree que la primera vez que se cultivó fue en la India, debido a la gran cantidad de arroces silvestres autóctonos en esta zona; pero donde se presentó un mayor desarrollo del cultivo fue en China (León & Arroyo, 2011). El arroz es uno de los granos más consumidos por todo el mundo y Costa Rica no es la excepción, ya que consume cerca de 270 000 toneladas de arroz anuales (Corrales et al., 2017), su gran consumo destaca la importancia de mantener un adecuado almacenaje poscosecha del grano.

Al tenerse volúmenes tan grandes se pueden obtener pérdidas en la etapa poscosecha a lo largo del proceso de almacenaje, por lo cual, es importante disminuir las pérdidas por fallas en el transporte, el secado y en mayor medida por daños ocasionados por plagas; ya sea por consumo del grano, contaminación, calentamiento, generación de hongos y micotoxinas. Lo que afecta las características de los granos ocasionando pérdidas de peso, calidad, poder germinativo y valor comercial (Fusé et al., 2013).

En Costa Rica las principales pérdidas en almacenamiento de arroz son causadas por coleópteros, entre los principales se encuentran: el capuchino de los granos *Rhyzopertha dominica* (familia Bostrichidae), Falso gorgojo de la harina *Tribolium castaneum* (familia Tenebrionidae), el gorgojo del arroz *Sitophilus oryzae* (familia Curculionidae), la carcoma aplanada de los granos *Cryptolestes pusillus* (familia Cucujidae), gorgojo siamés *Lophocateres pusillus* (familia Lophocateridae), carcoma dentada *Oryzaephilus surinamensis* (familia Silvanidae) y una especie de psocóptero sin identificar denominada *Liposcelis sp.* (familia Liposcelidae) (Corrales et al., 2017).

De estas plagas mencionadas se ha observado en múltiples artículos que las especies más estudiadas son *R. dominica*, y *S. oryzae*. Siendo estas especies las que atacan frecuentemente el arroz almacenado generando la mayor parte de las pérdidas, y serán las plagas estudiadas en el presente trabajo.

Para reducir estas pérdidas es importante considerar nuevas tecnologías que permitan aumentar la eficiencia en el control de plagas en granos, al mismo tiempo evitar que las plagas generen resistencia a los métodos de control implementados (Walkil et al., 2015); como ha ocurrido con aplicaciones químicas, como el caso del uso de fosfina, que se empleada como fumigante y por su excesivo uso se ha generado resistencia por parte de varias especies alrededor del mundo (Wakil & Schmitt, 2015).

En Costa Rica los principales productos que se emplean como fumigantes de silos son el gas fosfina (ingrediente activo Fosfato de Aluminio o Fosfato de Magnesio) y el K-Obiol (ingrediente activo Deltametrina), los cuales son considerados altamente tóxicos, por esto el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) los encuentra clasificados como de uso restringido según el artículo 29 de la Ley de Protección Fitosanitaria N° 7664; donde el primero está restringido como fumigante y el segundo como insecticida técnico (Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), 2019). Donde este artículo indica que estos productos pueden ser vendidos únicamente con receta de un profesional en Ciencias Agrícolas debidamente incorporado en el Colegio de Ingenieros Agrónomos (Ley de Protección Fitosanitaria N°7664, 1997).

Para reducir el uso de este tipo de métodos de control de plagas en granos almacenados que presentan un alto riesgo para el trabajador y el medio ambiente, es necesario la implementación de tecnologías como las DE; ya que, han sido consideradas como un mecanismo eficaz para el control de plagas alrededor del mundo; convirtiéndolo en un gran complemento a métodos de control tradicionales. Su eficacia se debe a un efecto que combina la abrasión y la absorción de las partículas que componen el material y al hecho de ser un método de acción físico-mecánico que no genera resistencia por parte de los insectos (Maquirriain, 2017). Se cree que la tierra se adhiere a la cutícula del insecto, a través de las partículas de silicio que lo componen, lo que lleva a la desecación y la muerte del insecto (Cruz et al., 2015).

El silicio es el principal componente de las DE en proporciones de 70% al 90% dependiendo de la tierra diatomea, el resto lo conforman minerales como: calcio, fósforo, azufre, níquel, zinc, manganeso, aluminio, hierro, magnesio, sodio y cal (Cruz et al., 2015). Por otra parte, su capacidad insecticida varía dependiendo del contenido de SiO₂, el tamaño de las partículas, así como la capacidad de adsorción de lípidos y la presencia de impurezas. Estas propiedades pueden ser determinadas mediante bioensayos, lo cual requiere una gran cantidad de insectos en condiciones controladas, lo que puede tener un costo elevado; o bien como indica Fusé et al. (2013) citando a Korunic (1997) se puede utilizar un método menos costoso para determinar esta capacidad insecticida de las DE, al determinar parámetros como el peso hectolítrico del grano, la capacidad de las partículas a adherirse a la superficie del grano y el pH.

En cuanto a toxicidad estas DE amorfas se clasifican como Clase III según la Organización Mundial de la Salud, por lo que se considera como un producto no tóxico para mamíferos e incluso están autorizadas para su implementación en alimentos almacenados por parte de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América y por la Administración de Drogas y Alimentos de USA (FDA), así como por organismos de control de la Unión Europea (Fusé et al., 2013). Esto ratifica que las DE son una alternativa a considerar para el control de plagas en granos almacenados, y aún más con las regulaciones que están haciendo muchos países respecto

al uso de químicos, por los daños que generan al ambiente. Lo que ha impulsado mucho la investigación y la aplicación de métodos alternativos para el control de plagas.

2.2 Antecedentes del problema

Cuando se habla de tierras diatomeas se pueden encontrar en literatura variedad de información donde se aplican diferentes dosis, tipos y combinaciones de DE con productos de uso comercial y aditivos; mostrando resultados favorables para diferentes especies de insectos que afectan a diferentes granos almacenados.

El trabajo efectuado por Nwaubani et al. (2014), los autores tenía como objetivo determinar la eficacia insecticida de dos DE derivadas de Nigeria (Bularafa y Abakire), contra el gorgojo del arroz, *Sitophilus oryzae* (L.) y el barrenador de grano menor, *Rhyzopertha dominica* F. en trigo almacenado. Para el estudio se colocaron las dos especies en fase adulta y se mezclaron con 100 g de trigo, con dosis de 1000 ppm, se colocaron en tres lotes a una temperatura de 30 °C y 55 % HR. Entonces las tres DE utilizadas fueron Insecto, Bularafa y Abakire. Se obtuvo mortalidades de 73,6 %, 61,2 % y 40,4 %, a los 14 días para las tres DE respectivamente. Y para el caso de DE Bularafa se obtuvo una mayor efectividad que la DE Abakire, tanto en términos de mortalidad de insectos, como en supresión de la progenie F1 (primera generación). Los autores indicaron que las DE analizadas tenía mayor eficiencia el Insecto, seguido del Bularafa y el menos eficiente fue Abakire. Las tres DE redujeron significativamente la producción de progenie por *R. dominica* y *S. oryzae* en comparación con el testigo. Los autores concluyeron que la DE de Insecto y Bularafa tienen potencial para controlar *S. oryzae* en condiciones de almacenamiento tropical y Bularafa DE se puede usar contra la mayoría de las infestaciones de *S. oryzae*.

Por su parte, Wakil et al. (2015) realizaron una evaluación de la eficacia de un aislamiento nativo de *Metarhizium anisopliae*, sólo y en conjunto con tierra de diatomeas en contra de los adultos del gorgojo del arroz *Sitophilus*. Para lo cual tomaron 100 gramos de arroz, se mezclaron con las dosis correspondientes de DE (100 ppm y 200 ppm) y emplearon tres dosis de conidios ($2,78 \times 10^6$ kg⁻¹; $2,78 \times 10^7$ kg⁻¹ y $2,78 \times 10^8$ kg⁻¹) de forma individual y luego combinadas con DE. El estudio se realizó a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ y 55 % H.R. Además, les colocaron 50 adultos de *S. oryzae*. Los adultos muertos se retiraron posteriormente después de cada período de exposición y realizando evaluaciones a 7 días, 14 días y 21 días. Se demostró que al combinar 200 ppm de Protect-It con la dosis mayor de *M. anisopliae* se tiene una mejor efectividad, obteniendo una mayor mortalidad y reducción de la progenie de *S. oryzae*. Los autores corroboraron la eficacia de *M. anisopliae* en presencia de tierra de diatomeas, y que estos se pueden emplear en programas de manejo integrado de *S. oryzae* en granos almacenados; por lo que éstos recomiendan la

combinación de hongos entomopatógenos con DE, ya que aumentan la eficacia relativa de ambas sustancias

Igualmente, Kavallieratos et al. (2015) proponen realizar un estudio del efecto de DE, compuestas por diversos ingredientes activos para el control de adultos de *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus oryzae* (L.) y *Tribolium confusum*. En este caso se emplearon las tierras diatomeas denominadas DEBBM, DEA y DESGBAIT. Se aplicaron en trigo y maíz con dosis de 200 ppm, 400 ppm, 600 ppm, 800 ppm y 1000 ppm; controlados a temperatura de 25 °C y 65 % de H.R. La mortalidad se midió a los 7 y 14 días de infectado. El estudio permitió determinar que DEA y DEBBM fueron más efectivos que el DESGBAIT, tanto para todas las especies como tratamientos. En el caso de *R. dominica*, se tuvo una mortalidad por encima del 90% después de 14 días, para ambos productos tratados con DEA, incluso a 200 ppm. Igualmente, después de 14 días todos los adultos de *S. oryzae* tratados con DE en trigo murieron, esto para todas las dosis aplicadas. Los autores concluyeron que las DE tienen una gran efectividad contra las principales plagas que atacan los productos almacenados, además de tener una baja toxicidad.

Un estudio similar fue el realizado por Wakil & Schmitt (2015), quienes evaluaron la eficacia insecticida de dos tierras diatomeas en combinación con *Beauveria bassiana* e Imidacloprid contra las especies: *Rhyzopertha dominica* F., *Tribolium castaneum* Herbst, *Cryptolestes ferrugineus* Stephens, y la especie *Psocoptera Liposcelis paeta* Pearman. Estas especies son las principales plagas de insectos que afectan al trigo almacenado en granjas en Pakistán. La formulación de DE utilizada fue DEBBM (DE y bitterbarkomycin). Los autores utilizaron en los ensayos DEBBM a una tasa de 150 ppm, Imidacloprid a 5 ppm, *B. bassiana* a una tasa de 3×10^{10} conidios kg⁻¹ de trigo, y un testigo. Los tratamientos fueron realizados en lotes de 40 kg de trigo por repetición, y cada lote se dividió en cuatro partes de 10 kg. En total realizaron 336 lotes de 10 kg de trigo (con 4 especies de prueba, 7 tratamientos, 3 repeticiones, 4 granjas diferentes); a su vez los granos fueron infectados con 20 adultos vivos de cada especie. Luego se realizó muestreos de 200 g por lote, cada mes durante seis meses. Los mejores resultados se presentaron para Imidacloprid y DE, el cual presentó el menor número de adultos sobrevivientes y menor porcentaje de daño en granos. Esto permitió establecer el siguiente orden de sensibilidad de las especies evaluadas: siendo el más susceptible *Liposcelis paeta*, seguido de *Cryptolestes ferrugineus* y *Rhyzopertha dominica*, y el menos susceptible el *Tribolium castaneum*.

Cruz et al. (2015) determinaron la eficacia de las DE sobre el gorgojo del maíz. Para esto evaluaron las siguientes dosis de DE: 1,0 g/kg, 2,0 g/kg, 3,0 g/kg, 4,0 g/kg y 5,0 g/kg, y una dosis de Deltametrina a 1,0 ml/kg, así como un testigo. Realizaron evaluaciones de mortalidad a los 15 días, 30 días, 45 días y 60 días después de la aplicación, germinación del grano y número de oviposturas. Del total de repeticiones por dosis obtuvieron los promedios de mortalidad, obteniendo valores de 93,4 %, 98,1 %, 97,7 %, 96,5 % y 97,1 %, para las dosis antes citadas. El

Deltametrina tuvo una eficiencia del 100% y no se encontraron diferencias significativas con los tratamientos a base de diatomea. Igualmente se observó que las DE inhibieron la oviposición de la plaga en granos de maíz. Los autores concluyen que las dosis de 1 g/kg a 5 g/kg empleados contra el gorgojo del maíz tienen eficiencias de cercanas al 97 % para tiempos de exposición de 45 y 60 días; y además que la DE inhibe la oviposición del gorgojo del maíz en todas las dosis aplicadas.

El estudio realizado por Perišić et al. (2018) evaluó la actividad insecticida de tres tierras de diatomeas: DE S-1 (78,8% SiO₂), DE S-2 (63,2% SiO₂), y Protect-It, (83,7% SiO₂); aplicando dosis de 0,5 g/kg, 1,0 g/kg, y 1,5 g/kg, para control de *Rhizopertha dominica* en granos de trigo, cebada, centeno, avena y triticale. Se evaluaron los efectos sobre los granos y variación de propiedades como: adherencia, masa de hectolitros, humedad, proteína y contenido de ceniza. Se tomaron muestras de 50 g infectados con 25 adultos de *R. dominica*, y se almacenaron a $26 \pm 1^\circ\text{C}$ y $60 \pm 5\%$ R.H. Se evaluó la mortalidad a los 7 días, 14 días y 21 días. Obtuvieron un aumento en la mortalidad de adultos de *R. dominica* después 21 días, para las dosis de 1,0 g/kg y 1,5 g/kg de Protect-It, y 1,5 g/kg de DE S-1 y DE S-2 aplicado en cebada, obtuvieron mortalidades de 95 % al 100%. El daño al grano más bajo se obtuvo con la dosis de 1,0 g/kg y 1,5 g/kg de DE para todos los granos evaluados. La mayor adherencia a las ED fue de 83 % a 95% para trigo, 87% a 92% en avena, y las más bajas fueron de 71% a 77% en centeno y 59% a 73% en triticale (cruce entre trigo y centeno).

El trabajo realizado por Korunic et al. (2020) quienes utilizaron tres formulaciones naturales (P natural inerte, P natural y Py EC) y un insecticida estándar Celatom[®] MN-51; estas contenían tierras diatomeas y otros aditivos para evaluar su efecto insecticida en las plagas *Sitophilus oryzae*, *Rhizopertha dominica* y *Tribolium castaneum* en granos de trigo. El estudio se realizó a una temperatura de $28 \pm 1^\circ\text{C}$ y $60 \pm 5\%$ H.R., y se realizaron evaluaciones de mortalidad a los 2 días, 4 días y 6 días para las primeras dos especies y para la tercera se evaluó a los 2 días, 4 días y 8 días de exposición. Las evaluaciones de la progenie se realizaron a las 7 semanas para (*S. oryzae* y *R. dominica*) y a las 9 semanas para el *T. castaneum*. Para las tres formulaciones se observó reducción de la generación de progenie en las tres especies de plagas evaluadas. En el caso del Py EC mostró modalidades del 100% en concentración de 2 ppm después de 2 días de exposición para las especies *Sitophilus oryzae*, y *Tribolium castaneum* y después de 6 días en el caso del *Rhizopertha dominica*. En las tres formulaciones se observaron reducciones significativas de la progenie F1 al compararlas con el control, y se mostraron que dosis inferiores a las 200 ppm de DE fueron efectivas contra las especies evaluadas.

La mayoría de los estudios de este tipo tienen mucho en común en sus análisis, ya que tratan de evaluar la efectividad de diferentes DE, las cuales difieren principalmente en la concentración

de sílice; el grano en estudio, las especies y estadio de desarrollo de la plaga evaluada. Si bien estas difieren en metodologías, principalmente en la escala, todos tienen en común que al emplear las DE, sin importar la dosis y combinación con otros productos comerciales. La mayoría mostraron aumentos en la mortalidad de las especies en estudio y logran reducir la generación de prole; lo que evidencia la eficiencia de las DE. Igualmente, algunos autores coinciden en que la utilización de dosis muy elevadas no es muy recomendada, y concuerdan en que es mejor combinarlas con otros productos comerciales para incrementar el beneficio y efectividad de las DE.

Se observó que diferentes estudios tuvieron mejores rendimientos para especies determinadas, con mortalidades elevadas incluso del 100%, y en otros casos se mantenían mortalidades no tan altas; lo que requería el incremento de las dosis de DE para poder obtener resultados comparables con los resultados más favorables. Esto se debe a la susceptibilidad de una especie u otra; principalmente por la composición de las paredes de quitina de los insectos; lo que puede hacer más resistente una especie respecto a otra; o bien dependiendo del estado larvario de la especie en estudio.

En caso de Costa Rica no hay registro de la implementación de tierras diatomeas para el control de plagas y hay pocos estudios referentes a control de plagas en arroz almacenado, entre los trabajos sobresalientes, hay dos trabajos de tesis que evalúan la mortalidad de insectos, uno empleando un control de plagas mediante atmósferas modificadas y el otro utilizando un control con plaguicida (Deltametrina).

Benavides (2012). Evaluó la mortalidad de las plagas *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica* y *Tribolium castaneum* en arroz en granza y en maíz blanco, sometiendo a una atmósfera modificada con nitrógeno industrial al 99% y un testigo con 79% de nitrógeno; esto para dos localidades diferentes Planta Barranca, Puntarenas (temperaturas superiores a los 24°C y altura de 0 msnm a 800 msnm) y Planta La China en Heredia (temperaturas de 10°C a 24°C y altura de 800 msnm a 2000 msnm). Realizó mediciones diarias durante 3 días, luego mediciones de día por medio durante 6 días y por último una medición a los 3 días. El *Sitophilus zeamais* fue la especie que resultó más afectada, debido a ser una especie muy agresiva, lo que provocó que consumiera con mayor rapidez el oxígeno disponible. El autor concluye que se tuvo una mortalidad del 100 % para las tres especies en estudio tanto en fase adulta, como larval. Además, indicó que el efecto de la atmósfera controlada incrementa su eficiencia al aumentar la temperatura, mostrando diferencias significativas entre las dos localidades en estudio.

Acuña (2013), evaluó las plagas de *Rhyzopertha dominica* y *Sitophilus oryzae* para determinar su desarrollo bajo diferentes porcentajes de arroz en granza descascarado y el insecticida K-

Obiol® (Deltametrina) como método de control para las plagas *Rhyzopertha dominica* y *Tribolium castaneum*, igualmente en arroz en granza. Para esto utilizó puntilla de arroz tratada con el insecticida K-Obiol® (Deltametrina), aplicando a muestras de 1 kg con 3 % de grano descascarado; con porcentajes de puntilla tratada con Deltametrina (0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 %) como parte de ese 3 %. Luego infectó el grano con 20 insectos sin sexar de cada especie. Las evaluaciones de mortalidad las realizó a las 2 semanas, las de generación de la progenie a las 6 semanas, esto para cada especie evaluada. También se agregaron distintos porcentajes de puntilla tratada con Deltametrina. El autor indicó que se tuvo mayor desarrollo poblacional para las especies *Rhyzopertha dominica* y *Sitophilus oryzae*; las cuales tuvieron porcentajes de mortalidad mayores y menor generación de progenie, cuando se tenían porcentajes de grano descascarado mayores; por lo que este método de control de plagas fue efectivo para estas especies. Este estudio concluyó que este método de control permite realizar aplicaciones de insecticida enfocadas en fracciones del grano descascarado de arroz, permitiendo emplear dosis más bajas de estos productos, incluso la dosis de 50 % de granos descascarados tratados con insecticida equivale a un 1,5 % del peso de un silo.

Igualmente en el país se destacan otros estudios en arroz que se enfocan más en el efecto que tiene un método de almacenamiento determinado en la calidad del grano.

Hangen (2002), se enfocó en determinar la calidad molienda de tres variedades de arroz *Oryza sativa*: CR- 4338, CR -1821 y Fedearroz -50; almacenadas en silos durante 6 meses, en silos distintos, bajo las mismas condiciones de aireación, con temperaturas del aire entre 17 °C y 22°C y humedad relativa entre 60 % y 90 %. El estudio evaluó la calidad de molienda del grano, primero mediante el índice de pilado del grano y luego mediante la calidad culinaria. Finalmente concluyó que la calidad de molienda se conservó durante todo el periodo de almacenamiento, además que la aireación a bajas temperatura y las altas humedades relativas conservaron adecuadamente la calidad del grano, porque no hubo variación en la calidad culinaria de ninguna de las tres variedades de arroz evaluadas.

Rojas (2012), tenía el objetivo de análisis de calidad del grano de arroz en granza *Oryza sativa* almacenado por un periodo aproximado de tres meses en el silo York #3 de Compañía Arrocera Industrial Planta Río Claro, empleando los parámetros de calidad utilizados por la industria, basándose en el reglamento RTC 406-2007 indicado por la Corporación Arrocera Nacional. Además evaluó la incidencia de plagas en el silo y los caudales de aire empleados en la aireación. Para esto realizó mediciones cada 15 días. El autor concluyó que el mayor deterioro de la calidad y la mayor presencia de plagas se daba en el fondo del silo; además, en cuanto a calidad molinera, el grano entero fue el que presentó un mayor decremento de la calidad durante toda la

evaluación de calidad, con una disminución cercana al 6,42 %, representando una pérdida importante en términos de calidad y en términos económicos.

En el caso de Mora (2013) investigó el efecto del enfriamiento artificial del grano de arroz en granza, en la calidad final del grano (grano entero, manchado, impurezas, dañado), así como los costos operativos asociados a esta técnica. El estudio se realizó en Parrita, en tres silos que se monitorean diariamente mediante termopares; un silo correspondía al testigo, el otro se mantuvo a una temperatura de 20°C-30°C y el último se almacenó mediante el método convencional, el cual, corresponde a la aplicación de plaguicidas. Los silos tenían un contenido de humedad de 13% en promedio y se almacenaron por un periodo de 3 meses para el testigo y 4 meses para los otros dos silos. El autor concluye que el sistema de enfriamiento artificial es más eficiente, ya que conserva mejor el contenido de humedad del grano y la materia seca, añadido a un control de plagas primaria y secundarias más eficaz. Por otra parte, en cuanto a calidad del grano no se mostró diferencias significativas en el porcentaje de impurezas, manchado o grano dañado respecto al método de control convencional.

2.3 Fundamentos teóricos

Para una mejor comprensión de cómo actúan las DE sobre las plagas se debe comprender mejor la morfología de las plagas que se evaluaron en el presente estudio. Entre las estructuras básicas de los escarabajos se encuentran las siguientes: cabeza, pronoto, escutelo, tórax (protórax, mesotórax y metatórax), abdomen, élitros, antenas, mandíbula, ojos compuestos, (Chen, 2015). Estas partes se detallan en la Figura 1.

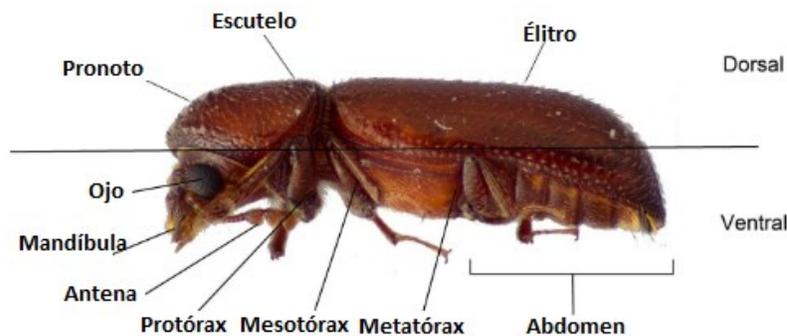


Figura 1. Partes básicas que componen un escarabajo.

Fuente: (Chen, 2015).

De igual forma, es pertinente identificar los componentes de la cutícula de los insectos (Figura 2), ya que las DE tienen un mecanismo de acción físico que actúa sobre esta estructura externa de los insectos, la cual es una estructura relativamente rígida que actúa como exoesqueleto y brinda protección a los insectos. Esta estructura se encarga de evitar la pérdida de agua de los insectos y permitirle adaptarse a diferentes tipos de hábitats, gracias a componentes como la quitina y proteínas. La cutícula se puede dividir en dos estructuras principales, la epicutícula (capa externa delgada y amorfa) y la procutícula (capa interna de mayor grosor). Donde la primera, tiene un espesor entre $0,1 \mu\text{m}$ y $3 \mu\text{m}$, y tiene una composición hidrofóbica que ayuda a que los insectos a no tener fugas hídricas, y se conforma por capas de proteínas tanificadas y capas de ceras, con espesores variables dependiendo de la especie de insecto. Luego la capa procutícula se encuentra conformada principalmente por quitina y proteínas, siendo la capa que le confiere las características de flexibilidad y de resistencia tensil que les permiten a los insectos soportar grandes esfuerzos mecánicos sin fracturarse (Wappner & Quesada-Allué, 1995).

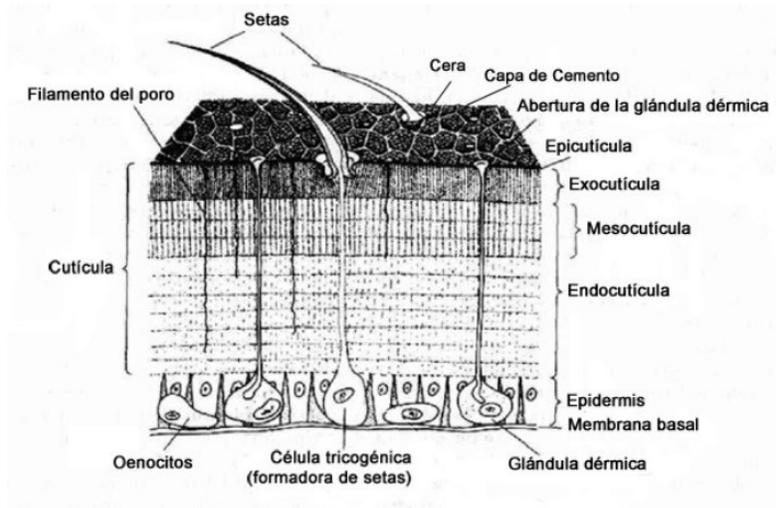


Figura 2. Corte transversal de la cutícula de los insectos.

Fuente: (Villaverde, 2014).

2.3.1 Plagas que atacan los granos

Las plagas se pueden clasificar dependiendo de su mecanismo de adaptación al ambiente de almacenamiento como plagas primarias y plagas secundarias. Donde las plagas primarias tienen la facilidad de penetrar el grano y depositar sus huevos para desarrollarse dentro del grano; por otro lado, las secundarias no realizan su desarrollo dentro del grano. Entre las plagas primarias más comunes en arroz se encuentran: *Sitophilus oryzae* (Curculionidae), *Rhyzopertha dominica*

(Bostrichidae), y *Sitotroga cerealella* O. (Gelechiidae), y entre las plagas secundarias destacan: *Tribolium spp.* (Tenebrionidae), *Oryzaephilus surinamensis* L. (Cucujidae) y *Cryptolestes spp* (Cucujidae)(Acuña, 2013).

En el caso de Costa Rica las principales pérdidas en almacenamiento de arroz son causadas por coleópteros, entre los principales se encuentran los antes mencionados: el capuchino de los granos *Rhyzopertha dominica*, Falso gorgojo de la harina *Tribolium castaneum*, el gorgojo del arroz *Sitophilus oryzae*, la carcoma aplanada de los granos *Cryptolestes pusillus*, gorgojo siamés *Lophocateres pusillus*, carcoma dentada *Oryzaephilus surinamensis* y *Liposcelis sp.* (Corrales et al., 2017).

2.3.2 *Sitophilus Oryzae*

Corresponde a una las principales plagas a nivel mundial que se pueden encontrar en granos almacenados, siendo de gran preocupación para la industria y las labores de exportación de granos, por los grandes daños que ocasiona a gran variedad de granos como: el trigo, cebada, avena, maíz, sorgo, arroz, mijo, alforfón y centeno. Se ha encontrado incluso en cerca del 67,7% de las muestras de cereales, ocasionando pérdidas de hasta 45% de la producción total de cereales a nivel mundial. Equivalente a unos 1056×10^6 millones de toneladas; además de afectar aproximadamente el 55% del total de los cereales exportados, lo que equivale a 39×10^6 millones de toneladas, según estudio que evaluó 50 países. (Fahad et al., 2018).

Este insecto pertenece al orden Coleoptera de familia Curculionidae y su nombre común es gorgojo del arroz. En su etapa adulta es de color marrón negruzco y de 2,5 mm a 4 mm de longitud. Presenta un peculiar pico en su rostro que facilita su distinción, y en el caso del macho es más corto y rugoso que el de la hembra (Pérez et al., 2018). Para propagarse, la hembra perfora el grano y coloca un huevo, luego sella el orificio con secreción mucilaginosa (Pascual & Aguilar, 2007). Solo se desarrolla un adulto por grano, pero la hembra puede depositar más de un huevo por grano, una vez dentro, este se alimenta del grano hasta su desarrollo (Fahad et al., 2018).

La larva puede llegar a dañar entre el 50%-70% del endospermo del grano, en el caso del trigo (Pérez et al., 2018). Su ciclo de vida tarda entre 35 días-45 días (Pascual & Aguilar, 2007), entre 26 días a 38 días (Davis, 2011), y las condiciones óptimas de desarrollo son 28°C-30°C y 75%-90% de humedad relativa (Fahad et al., 2018). El ciclo de vida se completa en alrededor de un mes (Fahad et al., 2018; Gómez, 2009).

El *Sitophilus oryzae* tiene cuatro estadios en su desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto; donde el tiempo de desarrollo de cada etapa puede variar dependiendo de factores como el clima, temperatura, humedad del grano y humedad relativa (Davis, 2011; Fahad et al., 2018). Su ciclo de vida se puede observar en la Figura 3.

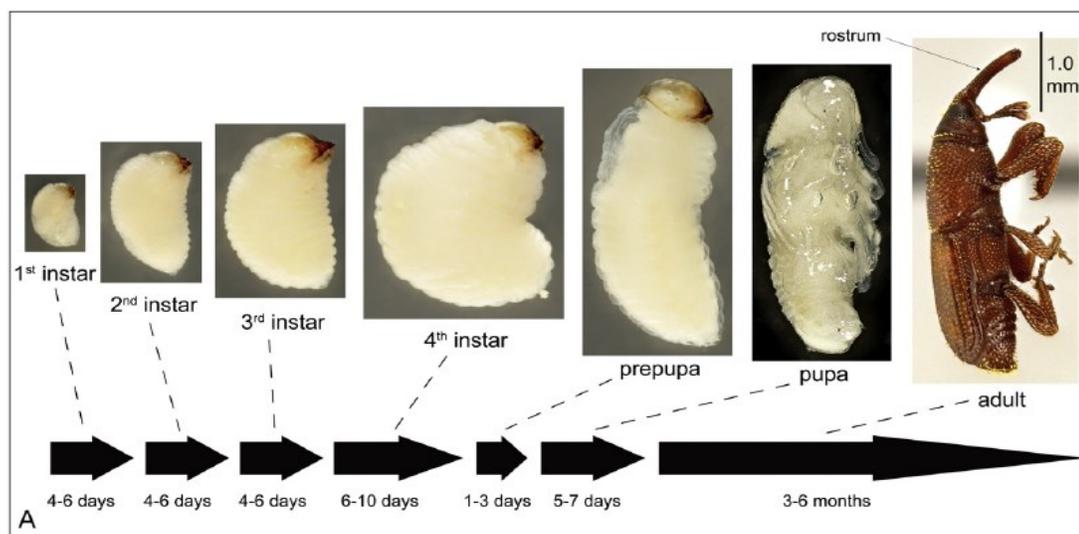


Figura 3. Duración de las etapas del ciclo de vida del *Sitophilus oryzae*, mostrando: 4 estadios larvarios, una etapa prepupal, pupa y adulto.

Fuente: (Davis, 2011).

La hembra puede ovipositar a lo largo de su vida entre 300 a 400 huevos y el periodo de incubación puede tardar entre 6 días y 7 días (Fahad et al., 2018). La fase de pupa puede tardar en promedio 6 días \pm 3 días. El insecto adulto permanecerá dentro del grano durante 3 a 4 días hasta que se endurece y madura, para salir del grano, y una vez adulto puede vivir entre 3 a 6 meses en condiciones de verano (Pérez et al., 2018). Cuando llega a su etapa de madurez y sale del grano ya está listo para aparearse, pero en algunos casos puede tardar hasta 2 días para poder aparearse (Fahad et al., 2018).

Las condiciones ambientales para su desarrollo son 15°C-34°C de temperatura y humedades relativas superiores a 40% (Pascual & Aguilar, 2007). Según Valdés & Castellanos (2018) citando a Stadler (1988), las hembras alcanzan su máxima reproducción a 24°C, con condiciones del grano de 14% de humedad, permitiendo que los insectos alcancen su ciclo de vida en aproximadamente 6 semanas.

En cuanto a la identificación de *Sitophilus oryzae* se requiere de microscopio para identificar de otras especies muy similares como el *Sitophilus zeamais*, el cual tiene punciones pronotales muy espaciadas, pequeñas, casi circulares (mucho menos del doble de largo que de ancho) como se observa en la Figura 4, además de espacios entre las punciones generalmente estrechos (5C); punciones estríales grandes, cuadrangulares, que invaden fuertemente los intervalos, separados unos de otros por estrechas crestas transversales (5D). Por otra parte, *Sitophilus oryzae* se puede

distinguir porque presenta línea media del pronoto generalmente libre de punciones (6E). Si ambas especies se encuentran infectando el grano al mismo tiempo, se pueden diferenciar, porque generalmente los insectos de la especie *S. oryzae* son más pequeños y pálidos que los de *S. zeamais*. Pero la forma más confiable de diferenciarlos es solamente por los genitales masculinos (Gorham, 1991).

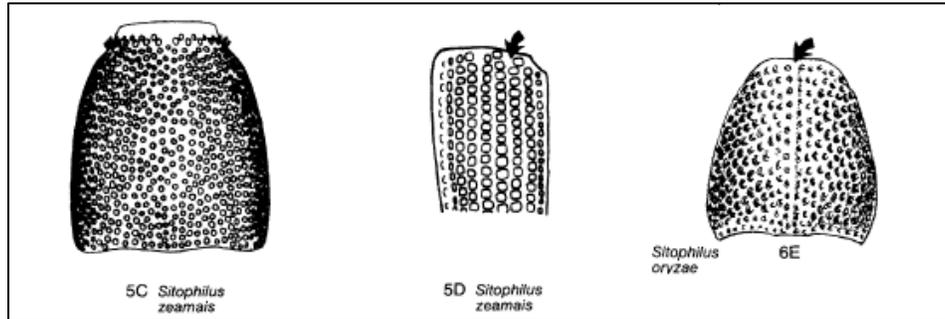


Figura 4. Diferencias en el pronoto entre especies *Sitophilus oryzae* y *Sitophilus zeamais*.

Fuente: (Gorham, 1991).

2.3.3 *Rhyzopertha dominica*.

Su nombre común es el capuchino de los granos, pertenece al orden de Coleoptera y familia Bostrichidae, el cuerpo de los adultos es cilíndrico y miden de 3 mm a 4 mm de largo y entre 0,8 mm a 1 mm de ancho, su particularidad es que si se observan desde arriba su cabeza no se aprecia ver Figura 5, ya que se encuentra retraída en el protórax; además, presenta punteaduras características en los élitros (Pascual & Aguilar, 2007). A lo largo de su desarrollo pasa por 4 estadios larvarios (de gran movilidad), los dos primeros se denominan campodeiformes y los otros dos escarabeiformes (Buonocore et al., 2017).



Figura 5. *Rhyzopertha dominica*: * a) vista frontal, dorsal y lateral **b) (Adulto, pronoto y larva).

Fuente: * (Buonocore et al., 2017), ** (Pascual & Aguilar, 2007).

Para su identificación se puede apreciar que presenta un pronoto sin depresiones, un escutelo cuadrado; setas elitrales curvadas (Ver Figura 6). En cuanto al dimorfismo sexual se

puede identificar en la punta del abdomen, donde las hembras son divergentes de tres segmentos y protuberantes, contrario a los machos que son convergentes de dos segmentos y protuberantes (Edde, 2012).

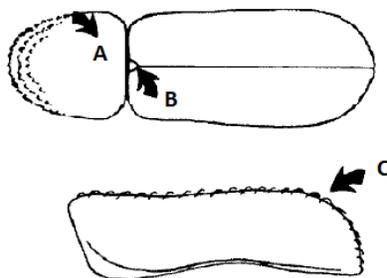


Figura 6. Aspectos básicos para identificación especie *Rhyzopertha dominica*, A) Pronoto sin depresiones. B) escutelo cuadrado, C) Setas elitrales curvadas.

Fuente: (Gorham, 1991).

Las hembras ponen los huevos fuera del grano y las larvas al ser móviles pueden ingresar al grano para alimentarse, pero van perdiendo su movilidad al ir tomando forma de "C" (Pascual & Aguilar, 2007). Las hembras pueden poner entre 200 y 500 huevos durante su vida (Buonocore et al., 2017). Donde la tasa media de oviposición se encuentra en 10,4 huevos/día con un rango de 4-15 huevos bajo condiciones de 25°C y 70%. Una tasa por debajo de 6,5 huevos/día a 29 °C y 75% RH, pero en general la tasa máxima de oviposición de hembra está entre 33 huevos y 45 huevos por día (Edde, 2012).

Su desarrollo puede variar dependiendo de las temperaturas, Pascual & Aguilar (2007) indican que se desarrolla de forma óptima en temperaturas de 20 °C a 38°C y humedad relativa superior al 30% y su ciclo dura aproximadamente 30 días. Por otra parte, Buonocore et al. (2017) señala que su ciclo puede variar entre 29 días a 81 días, dependiendo de las condiciones de la humedad y el contenido de humedad del grano, además de otros factores como la temperatura, lo cual podría hacer que esta plaga pueda completar hasta seis generaciones por año (Buonocore et al., 2017). Igualmente, señala que esta especie puede completar su ciclo de vida incluso a temperaturas bajas de entre 18°C-20°C, pero es incapaz de soportar temperaturas por encima de 39°C, e inferiores a 3°C, siendo las condiciones óptimas para el desarrollo una temperatura de 28°C, pero tiene un desarrollo más rápido a 34°C (Buonocore et al., 2017).

Según Edde (2012) mencionando a Kucerova y Stejskal (2008), quien indica que los huevos se depositan en racimos fuera del grano, pero sin granos rotos para realizar su alimentación, esta especie disminuye la oviposición en casi un octavo de su tasa normal. Su desarrollo se puede ver influenciada por la temperatura ambiental, donde temperaturas bajas alargan los tiempos de desarrollo y temperaturas altas los acortan; por ejemplo en condiciones de 25°C y 70% H.R.,

requiriendo cerca de 30 días a 28°C y de 46 días a 28°C para su desarrollo larvario, pero en condiciones óptimas la etapa larvaria tarda unos 16 días a 34°C y 70% H.R., en granos de trigo con un contenido de humedad del 14% (Edde, 2012).

El estadio de prepupa es una etapa de corta duración, tardando cerca de 1,5 días, y la etapa de pupa unos 4 días en las condiciones óptimas antes citadas de 34°C y 70% H.R. Según Edde (2012) citando a Edde y Phillips (2006a), la etapa adulta del insecto puede llegar a vivir entre 17 semanas a 52 semanas, en granos de trigo a 28 °C y 65% H.R. El contenido de humedad óptimo del grano para el correcto desarrollo del *R. dominica* está entre 12 y 14% a temperaturas de 26°C-34°C (Edde, 2018). En total el ciclo de vida en condiciones óptimas de 28°C tiene una duración desde la etapa de huevo a adulto de 40 días (Edde, 2012); pero puede variar de 24 días a 45 días con un promedio de 33,3 días (Faroni & García Mari, 1992).

En el Cuadro 1 se puede observar la variación en tiempo de los diferentes estadios larvales, dependiendo de la temperatura de exposición de la especie *Rhyzopertha dominica*.

Cuadro 1. Duración de desarrollo de las etapas larvaria de la especie *Rhyzopertha dominica*.

Estadios larvales	Duración (días)			
	22 °C	25 °C	30 °C	33 °C
I	15	9.5	10	6.7
II	14.7	9.7	8.2	5.7
III	21.7	14	11.2	9.2
IV	6.5	12	-	-
Total	57.9	45.2	29.4	21.6
Prepupa	-	1.45	1.08	-
Pupa	-	8.4	6.5	-

Fuente:(Pacheco et al., 2008).

2.4 Métodos de control de plagas

Es importante identificar los métodos de control de plagas en granos almacenados más empleados, para identificar sus ventajas y desventajas y poder seleccionar la tecnología que mejor se adapte a los requisitos buscados por cada productor a la hora de realizar la gestión de plagas en sus empresas. Seguidamente se detalla algunos de estos métodos.

2.4.1 Aplicaciones químicas

Es el método que más emplea alrededor del mundo para el control de plagas en granos almacenado por su alto rendimiento, siendo quizás la fosfina en sus inicios, el producto que presenta un costo más accesible, con una rápida aplicación, y genera pocos residuos (Acuña, 2013; Pimentel, Faroni, Tótola, & Guedes, 2007).

El inconveniente es al crearse una gran dependencia a este químico, y por la constante aplicación se generaba resistencia por parte de algunas plagas (Hamel et al., 2020). Además, se suman otras desventajas como su alta toxicidad y la afectación al medio ambiente y el requerimiento de silos herméticos, porque si existen fugas se desperdicia el producto, lo que eleva los costos de implementar este tipo de método de control de plagas (Pimentel et al., 2007). Además, requieren aplicaciones incluso mensuales, lo que generan costos cercanos a los 1000 dólares para un silo de unas 1000 ton (Acuña, 2013).

Además un factor importante de considerar es la adaptación de diferentes insectos a los ingredientes activos de estas aplicaciones químicas, generando resistencia por parte de los insecto y provocando que se requiera aplicar dosis mayores para obtener beneficios similares e incrementa el riesgo de que se tengan residuos tóxicos en los granos almacenados (Gonçalves et al., 2006).

2.4.2 Aireación

Es una técnica que permite disminuir la temperatura del grano al aplicar una lámina de aire forzado a través de un ducto, el aire ingresa por debajo del silo, atravesando la masa de granos para disminuir la temperatura dentro del silo. Es una técnica muy común alrededor del mundo, ya que se puede aplicar a cualquier estructura de almacenamiento a granel, muy empleada para almacenamientos poco prolongados (Rojas, 2012). El caudal específico que se recomienda varía dependiendo del diferencial de temperatura entre el grano y el aire ambiente, tipo de grano almacenado, capacidad del silo, duración del ciclo de aireación, entre otras características; recomendados para enfriamiento bajos de 0,05-0,25 m³/min*ton a caudales específicos altos para mantenimiento de grano húmedo de 0,5 m³/min*ton (Abadía & Bartosik, 2013). Esto permite obtener una adecuada protección del grano y controlar adecuadamente la propagación de insectos y la proliferación de hongos en los granos almacenados (Edde, 2012).

Entre las desventajas de esta tecnología está la dificultad para regular un caudal de aire que permita un enfriamiento adecuado y la condensación de agua en los techos de los silos (Abadía & Bartosik, 2013).

2.4.3 Atmósferas controladas

Este es un método de control de plagas que consiste en intercambiar el oxígeno por un gas, lo cual permite eliminar la plaga al privarlo de oxígeno. Existen diferentes gases que se pueden utilizar, entre estos podemos encontrar el ozono, el cual tiene la desventaja que en las partes bajas del silo hay tasas de mortalidad bajas, debido a la dificultad de penetración del ozono entre el grano. Otros gases utilizados son el CO₂ y el N₂, que presentan problemas similares al del ozono, pero presentan una reacción menor con el grano. La desventaja de este tipo de métodos de control es que requiere un silo completamente hermético para evitar las fugas de los gases empleados y para poder tener buenos rendimientos (Morrison et al., 2019).

2.4.4 Tierras diatomeas (DE)

Es una tecnología que ha tomado importancia en los últimos años por la eficacia que está teniendo para el control de plagas en granos almacenados. Las diatomeas son microorganismos que se encuentran en depósitos tanto de agua salada como dulce; una vez extraídos son secados y molidos hasta obtener un tamaño de partícula deseado. Está compuesto mayormente por sílice (SiO₂), el cual es tanto abrasivo como desecante; por lo que permite adherirse al grano y rasgar por contacto a los insectos, al dañar su cutícula externa provocando que el insecto muera por deshidratación (Plumier et al., 2019; ŞEN, Işıkber, Bozkurt, & SAĞLAM, 2019), Las DE generan una ruptura de la quitina en los pliegues cercanos a las articulaciones, y pueden provocar que el aparato bucal, el exoesqueleto y los órganos internos de los insectos sean perforados y se produzca la muerte por deshidratación (Marrero et al., 2020). Según Korunic et al (2020) citando Ebellig (1971), los insectos pierden cerca del 60% de contenido de agua, haciendo a las DE un insecticida de acción lenta, requiriendo un tiempo determinado para obtener un efecto en las plagas. Este efecto de las DE a los insectos se puede observar en la Figura 7, donde se aprecia su efecto desecante al ir aumentando la dosis de DE aplicada.

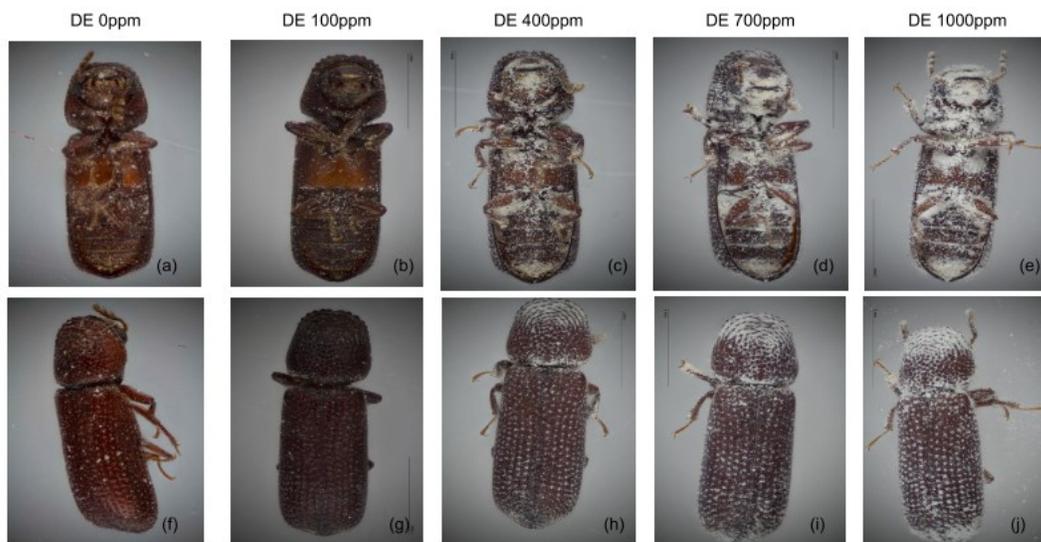


Figura 7. Nivel de adherencia de las DE en los insectos al variar la dosis de aplicación.

Fuente: (Chen, 2015).

Entre otra de sus ventajas destaca que es una tecnología que permite proteger los granos de forma sostenible con el medio ambiente, ya que presenta baja toxicidad, permitiendo disminuir el uso de plaguicidas, los cuales generan un impacto negativo en el medio ambiente (Marrero et al., 2020). Otro factor favorable en las DE es que su uso es fácil, no requiere equipo especializado para realizar las aplicaciones, basta con los equipos de protección comúnmente utilizados en otros métodos de control (ŞEN et al., 2019).

CAPITULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Trabajo previo (pie de cría)

El experimento se realizó para dos plagas *Sitophilus oryzae*, la cual fue proveída por el CONARROZ (Corporación Arroceras Nacional) y *Rhyzopertha dominica*, facilitada por el Museo de Insectos de la Universidad de Costa Rica, ambas especies se alimentaron con una mezcla de arroz en granza y arroz integral a temperatura ambiente. Estas se colocaron en recipientes de plástico con capacidad de 2 litros, con malla antiafida en la tapa para facilitar la entrada de oxígeno. Se incubaron entre 80 a 120 insectos de cada especie en tres repeticiones, durante los tres meses previos a la realización del trabajo, para obtener una cantidad de insectos suficiente para el bioensayo.

3.2 Sitio de Estudio

El estudio se realizó empleando un sistema de control de temperatura monitoreado con Arduino MEGA 2560 (Ver Figura 8), el cual permitió controlar la temperatura interna del grano a $26,3 \pm 0,4$ °C y una humedad relativa de $67,5 \pm 2,5$ % y la temperatura en el interior de la caja de $28,9 \pm 0,5$ °C y una humedad relativa de $50,5 \pm 4,9$ % (Ver ANEXO 1) (Saeed, Farooq, Shakeel, & Ashraf, 2018; ŞEN et al., 2019); durante todo el ensayo de mortalidad y natalidad de ambas plagas en estudio. El sistema de control de temperatura se programó mediante el software libre ARDUINO 1.8.16 y el código de programación se puede observar en el ANEXO 5. Para registrar la temperatura se empleó dos HOBOS ONSET MX2300 temp/RH, para medir la temperatura interna dentro de la caja, donde uno se colocó dentro de un recipiente con grano (HOBO 2) y otro dentro de la caja pero fuera de los recipientes (HOBO 1) (Ver Figura 8).

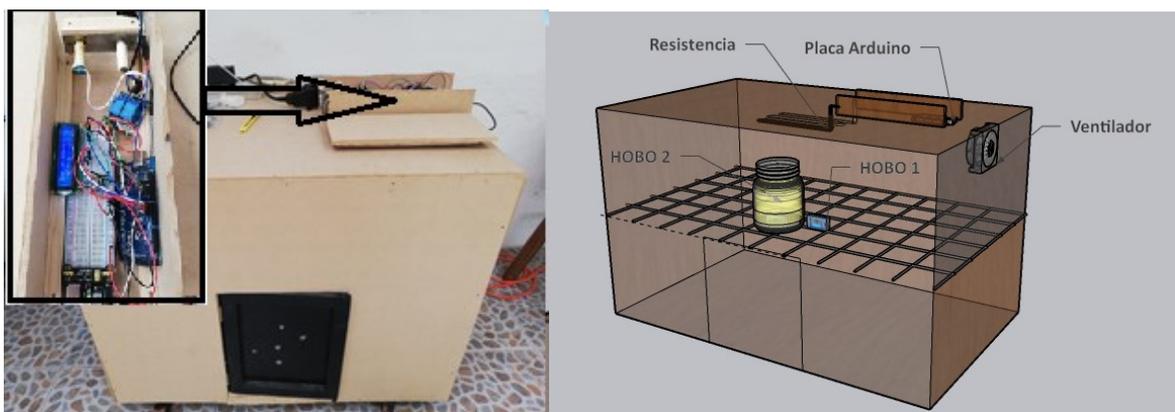


Figura 8. Sistema implementado para el control de temperatura mediante placa Arduino MEGA 2560.

Las mediciones previas y posteriores al bioensayo se realizaron en las instalaciones del Centro de Investigación de Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica; donde se realizaron las mediciones de contenido de humedad y peso hectolítrico iniciales; así como las evaluaciones finales que correspondieron al proceso de molienda y calidad del grano (laboratorio de granos) así como mediciones de peso hectolítrico y contenido de humedad.

3.3 Tierras diatomeas

Las tierras diatomeas se producen en el país, y tienen una composición: 96,00% SiO₂, 0,38% CaO, 0,21 % Fe₂O₃, 0,49% Al₂O₃ y una humedad 0,80% (ALFALPI, 2020).

3.4 Arroz en granza *Oryza Sativa*

Se utilizó arroz en granza conformado por una mezcla de IRGA 424 (70%), INTA Puita (20%) y Guri (10%); limpio y libre de infestación. El grano fue suministrado por CONARROZ. Se le realizó medición del contenido de humedad mediante un equipo de medición indirecto como es el Steinlite moisture meter SB900; para lo cual se realizaron seis repeticiones de 250 g con temperatura de muestras entre 69°C - 70 °C en la configuración de arroz en granza grano largo (112), obteniéndose un contenido de humedad promedio de 12,6 ± 0,26 %, y luego se midió con un método directo de radiación, empleando el Moisture Analyzer marca MX-50/MF-50 con muestras de 3-5 g con temperatura de 130 °C, obteniéndose un contenido de humedad promedio de 12,42 ± 0,44 %; por lo que se encuentra entre el rango de contenido de humedad de almacenamiento esperado de 12%-14% base húmeda (Mora, 2013; Rojas, 2012).

Además, se realizaron mediciones de peso hectolítrico, empleando 6 repeticiones con muestras al azar del lote de arroz en granza, empleando el equipo de balanza para peso hectolitro de 1 L de volumen (Ver Figura 9) y registrando los pesos con balanza digital.



Figura 9. Balanza para peso hectolitro de 1 L de volumen.

Antes de iniciar el bioensayo, se colocó el arroz a temperatura de $-9,8 \pm 3,3$ °C monitoreada con un HOBO ONSET MX2300 temp/RH, durante 48 horas para desinfectar y garantizar que no existieran insectos en el grano (Aguilar et al., 2003; Rangel et al., 2018).

3.5 Envases

Se utilizaron recipientes de plástico con un volumen de entre 1,5 L, tapados con malla antiáfida, para permitir la respiración de los insectos y evitar que escapen (Acuña, 2013; Benavides, 2012), y se roturaron debidamente con el número de repetición y tratamiento empleado, esto para ambas plagas en estudio.

3.6 Bioensayo

Se utilizaron las siguientes concentraciones de tierras diatomeas: 500 ppm, 750 ppm, 900 ppm y 1500 ppm, las cuales han presentado buenos resultados como control de las plagas a evaluar en otros estudios (Erturk et al., 2017; ŞEN et al., 2019), además un control al cual no se le aplicó DE. Se mezclaron manualmente, durante un minuto para esparcir uniformemente la DE en todo el recipiente (Athanassiou et al., 2007). Se utilizaron cinco repeticiones por tratamiento. Cada muestra contenía 0,6 kg de arroz en granza, además de 0,5 % de semolina de arroz para facilitar el establecimiento de las larvas. Se infestó inicialmente con 50 insectos (Acuña, 2013), con adultos entre 3 y 4 semanas de edad, sin sexar. La edad se garantiza eliminando los adultos del arroz infectado 4 semanas antes de iniciar el estudio (Chanbang, Arthur, Wilde, & Throne, 2007; Korunic, Liska, Lucic, Hamel, & Rozman, 2020; Saeed et al., 2018). Las especies se trataron por separado, para un total de cuatro tratamientos, un testigo, con 5 repeticiones por tratamiento, y aplicado en ambas especies. Para un total de 50 muestras.

Las muestras se mantuvieron en un lugar con poca iluminación, para evitar el estrés de los insectos por la luz (Eissa, Zidan, Hashem, & Ahmed, 2014), y poder simular las condiciones de almacenamiento del grano. Además, se mantuvieron un ambiente controlado mediante Arduino a $26,3 \pm 0,4$ °C interno al grano (Saeed et al., 2018; ŞEN et al., 2019), la cual permite tener un mejor desarrollo de ambas plagas y poder tener una infestación mayor para ver la efectividad de las DE.

Para la evaluación de la mortalidad se realizaron mediciones a los 2 días, 5 días, 7 días y 14 días (Delgarm, Ziaee, & McLaughlin, 2019; ŞEN et al., 2019), donde se contó y retiraron los insectos muertos en cada medición. Después de 14 días se retiraron todos los insectos vivos y muertos (Chanbang et al., 2007). Para posteriormente iniciar la evaluación de la natalidad durante los siguientes 60 días (Awais et al., 2019; Delgarm et al., 2019; ŞEN et al., 2019). Las

evaluaciones de natalidad se realizaron cada 15 días hasta cumplir 60 días, realizando el conteo de insectos emergidos y retirándolos en cada medición. Para los conteos de mortalidad y natalidad se utilizaron tamices confeccionados con malla de 1,5 x 1,5 mm de apertura, para separar los insectos (Perišić et al., 2018) y se devolvía la escoria a los recipientes (Chanbang et al., 2007). En el tamizado se realizaron movimientos de izquierda a derecha durante 30 segundos y de adelante hacia atrás durante 30 segundos (Acuña, 2013), luego se realizaba el conteo respectivo.

Las condiciones de humedad relativa y temperatura a lo largo del estudio se registran mediante dos HOBO ONSET MX2300 temp/RH, uno ubicado contiguo a los recipientes y otro dentro del grano (Ver Figura 8).

3.7 Pérdidas de grano

Para determinar la pérdida de grano generada durante el ensayo, se realizaron mediciones de peso con una balanza; pesando los recipientes con y sin arroz más insectos, además de mediciones de peso a lo largo de todo el estudio. Además, de una medición de peso final (una vez tamizada la tierra diatomea y removido los insectos muertos y vivos). Esto permitió determinar el porcentaje de pérdida de peso seco del grano, como el grano consumido por la plaga durante el ensayo. La ecuación (1) utilizada para determinar la pérdida de peso es la utilizada por Torres et al. (2019), quien utilizó la fórmula propuesta por Adams y Schulten (1976).

$$\%PP = \left(\frac{\text{Peso o Número de granos dañados}}{\text{Peso o número total de granos}} * 100 \right) * C \quad (1)$$

Donde %PP = Porcentaje de pérdida de peso; C = 0.125 si la semilla es almacenada como grano y C=0.222 si es almacenado en espiga.

También se realizó una medición del contenido de humedad del grano inicial y final del ensayo, para determinar si absorbió agua y realizar la corrección en la pérdida de peso del grano (Silva, Faroni, Guedes, & Pimentel, 2003). La medición inicial del contenido de humedad se realizó mediante el método directo (radiación con el Moisture Analyzer MX-50/MF-50) y el método indirecto (Steinlite moisture meter SB900) como se indicó anteriormente. Para el contenido final se empleó el Steinlite (mediante triplicado de cada repetición) y una corroboración con los equipos empleados en el Laboratorio de Granos del CIGRAS donde se utilizó un método directo (secado al horno a 130 °C durante 2 horas) y un método indirecto (equipo Dickey John GAC 2500-RICE LG Ruf 38).

3.8 Calidad del grano

Para realizar el proceso de molienda del arroz en granza, primeramente, se realizó una calibración de la procesadora de arroz marca GranEl, modelo C-100 (Ver Figura 10), la cual permite el procesamiento de muestras pequeñas incluso menores a 100 gramos.



Figura 10. Procesadora de arroz GranEl modelo C-100.

Para la calibración del equipo se emplearon muestras de 100 gramos de la variedad Lazarroz FL proporcionadas por el laboratorio de granos del CIGRAS, se evaluó la pérdida de peso en los procesos de descascarado y pulido, para esto se realizaron ajustes en la separación de los rodillos de la máquina y el tiempo de pulido. Este se ajustó hasta obtener las pérdidas de peso obtenidas en la tesis de Hangen (2002), quien evaluó las pérdidas en el proceso de molienda de tres variedades de arroz, las cuales se observan en el ANEXO 2.

Los valores de la calibración del procesador de arroz se observan en el ANEXO 3, donde los últimos 6 valores de la calibración cumplen con los valores de pérdida establecidos por Hangen. Además, los últimos 3 valores se realizaron durante el proceso de molienda de los tratamientos, para garantizar que el equipo debidamente calibrado durante la etapa de molienda.

Para el proceso de molienda de los tratamientos se seleccionaron muestras de 100 gramos al azar de cada repetición, para generar una muestra de arroz pulido homogénea de 300 g por tratamiento y se envió las muestras de arroz pulido al laboratorio de Granos del CIGRAS para determinar los factores de calidad del arroz pulido, donde se realizaron los análisis de arroz quebrado y factores de mesa según (Decreto N° 26901_MEIC. Arroz Pilado. Especificaciones y

Métodos de Análisis, 1998) que permitió determinar el grado de calidad del grano correspondiente a cada tratamiento, con valores del 1 al 5 según el porcentaje de los factores de calidad obtenidos en el laboratorio y basándose en el Cuadro 2 para su clasificación.

Cuadro 2. Factores y grados de calidad de arroz pilado.

Grado de Calidad	Porcentajes máximos de granos					
	Quebrados		Manchados	Yesosos	Rojos	Dañados
	Total	Puntilla				
1	10	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0
2	20	2,0	1,0	2,0	1,0	1,5
3	25	2,5	1,5	2,5	1,5	1,5
4	30	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0
5	40	5,0	2,5	4,0	3,0	2,0

Según Muestra: Se clasifica como según muestra al lote que no reúna los requisitos de alguna de las clases de 1 a 5; que esté caliente; que tenga más de 15,0% de humedad; que contenga más de 0,1% de piedras, objetos metálicos u otras impurezas; que esté infestado o contenga 2 o más insectos muertos por kilogramo; que tenga olor mohoso, agrio o cualquier olor comercialmente objetable o que por cualquier otra razón sea calificado por el analista como de indudable baja calidad

(**) al lote que se clasifica según muestra no podrá comercializarse, salvo que éste sea acondicionado en alguno de los grados de calidad del cuadro.

Fuente:(Decreto N° 26901_MEIC. Arroz Pilado. Especificaciones y Métodos de Análisis, 1998).

3.8 Determinación costos operacionales de implementar DE en silos

Para determinar los costos operacionales se empleó como base de cálculo un silo de 2000 toneladas, siendo este una dimensión de silo comúnmente empleada en la industria de almacenamiento de granos. Para determinar los costos de materia prima se empleó la dosis que genero mayor porcentaje de mortalidad y menor generación de progenie. Esto permite establecer las pautas para determinar un costo operacional por tonelada de grano almacenado.

3.9 Análisis de Varianza

Primeramente, se realizó pruebas de normalidad por día de evaluación para determinar si los datos eran paramétricos o no, si corresponden al primer conjunto, se realizaron pruebas de ANOVA para identificar si existían diferencias significativas entre las variables de interés, si correspondían a datos no paramétricos se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis para determinar

las diferencias significativas entre las variables. Para el análisis estadístico se utilizó el software SigmaPlot 14. Además, para identificar donde se encontraban las diferencias significativas, se realizaron pruebas de Tukey con 95% de confianza.

CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Mortalidad

En el Cuadro 3 se observan los porcentajes de mortalidad obtenidos, mostraron los valores acumulados de muertes para cada especie. Los datos se obtuvieron con los promedios de cada tratamiento. También se observan las letras correspondientes al análisis estadístico de los tratamientos para cada día de evaluación.

Cuadro 3. Porcentaje de mortalidad del *Rhizopertha dominica* y el *Sitophilus oryzae*.

Especie	Dosis DE (ppm)	Mortalidad (%±Desviación Estándar (σ)) *											
		2 días		5 días		7 días		14 días					
<i>Rhizopertha dominica</i>	0	0,80	1,10	a	4,0	1,55	a	7,6	3,03	a	12,8	4,52	a
	500	4,80	1,79	a	8,8	3,90	a	12,0	4,05	b	21,6	6,87	b
	750	0,40	0,89	b	5,6	3,74	a	10,8	4,15	b	22,8	6,42	a
	900	5,20	3,63	c	8,8	4,47	a	12,4	4,77	a	26,4	5,37	a
	1500	4,00	2,00	bc	11,6	2,61	a	19,6	3,58	a	34,8	5,83	b
	F	5,768		7,062		11,390		4,227					
	P	<0,003		<0,133		<0,023		<0,012					
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	2,80	1,79	a	6,40	4,00	a	8,40	4,47	a	15,20	6,26	a
	500	3,60	2,61	a	12,00	4,65	a	16,00	5,06	b	28,00	7,18	ab
	750	2,40	2,19	b	9,60	3,74	b	14,80	5,22	a	34,80	6,42	bc
	900	5,20	3,35	b	14,80	4,00	a	25,60	5,76	a	48,80	7,90	a
	1500	7,60	3,29	c	24,40	7,21	b	42,00	11,52	b	69,60	14,41	c
	F	3,065		14,791		16,424		10,900					
	P	<0,04		<0,005		<0,003		<0,001					

* Para cada día de evaluación y especie, letras iguales en una misma columna no presentan diferencias significativas respecto al testigo (todos los tratamientos tienen gL=4; Prueba de Tukey=0,05).

Las pruebas estadísticas permitieron observar diferencias significativas en algunos de los tratamientos respecto al control. En el caso del *Rhizopertha dominica* se obtuvo un porcentaje de mortalidad inferior al mostrado por el *Sitophilus oryzae*, llegando el primero a una mortalidad

máxima de 34,8 % y el segundo a una mortalidad de 69,6 %, al finalizar los 14 días de evaluación para la dosis de tierras diatomeas de 1500 ppm.

Para el caso del *Rhizopertha dominica* se observan diferencias significativas entre tratamientos, pero no se puede determinar exactamente una dosis que destaque entre los tratamientos, ya que, no se obtuvieron porcentajes de mortalidad elevados. La dosis de 1500 ppm permitió observar diferencias significativas en los días 2 y 7 de evaluación, mostrando diferencias significativas respecto al testigo. Para dosis más bajas se aprecian diferencias con el control no muy marcadas, por lo que, en una evaluación son diferentes y quizás en la siguiente evaluación no se aprecia esa diferencia con el testigo; incluso para el día 5 de evaluación no se mostraron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos.

Por otra parte, el *Sitophilus oryzae* fue más susceptible a las DE empleadas, permitiendo tener los porcentajes de mortalidad más elevados al cabo de los 14 días de análisis. Además, el tratamiento de 1500 ppm mostró diferencias significativas respecto al testigo en todos los días de evaluación, siendo el tratamiento que mejores resultados obtuvo.

En la Figura 11 y Figura 12 se aprecia el comportamiento obtenido durante la prueba de mortalidad para las plagas estudiadas, respecto a cada dosis de tierras diatomeas empleada. Al incrementar la dosis aplicada de DE, se obtiene un mayor porcentaje de mortalidad, y este comportamiento se aprecia para ambas plagas evaluadas.

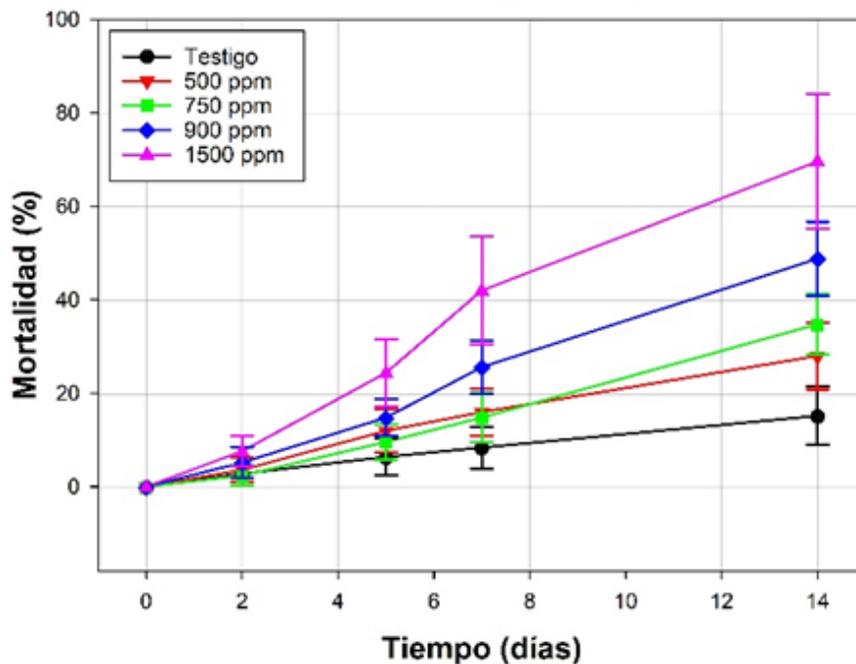


Figura 11. Mortalidad *Sitophilus oryzae* expuesto a diferentes dosis de tierras diatomeas durante 14 días.

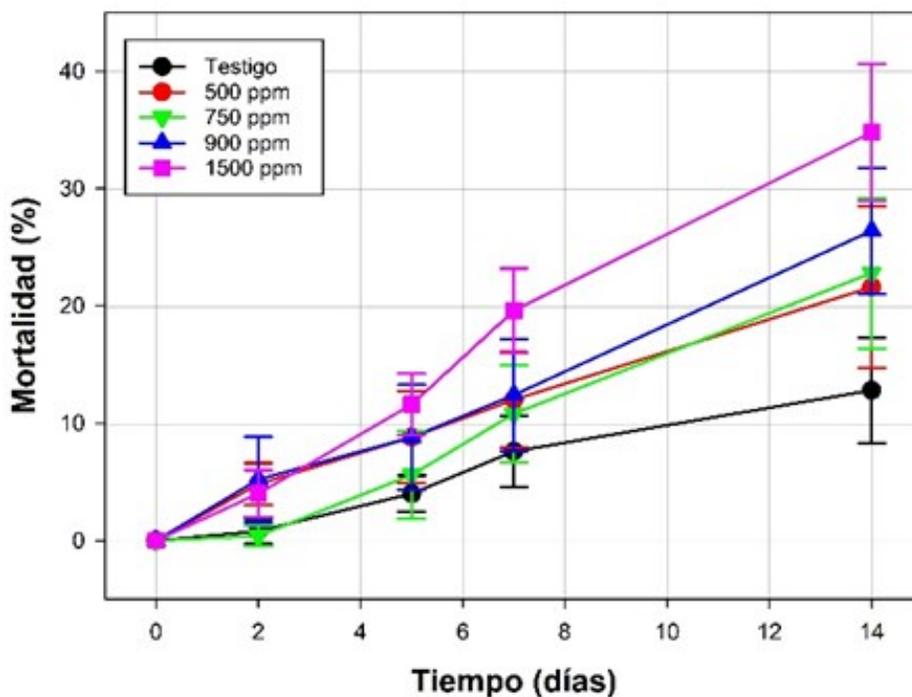


Figura 12. Mortalidad *Rhizopertha dominica* expuesto a diferentes dosis de tierras diatomeas durante 14 días.

Como mostró el análisis estadístico la dosis de 1500 ppm de DE presentó un mayor porcentaje de mortalidad. Su comportamiento a lo largo de la prueba de mortalidad se aprecia en la Figura 11 y Figura 12, permitiendo observar una mortalidad cercana al 20 % y 55 % mayor que el tratamiento control para el *Rhizopertha dominica* y *Sitophilus oryzae* respectivamente.

Esta tolerancia a las DE se ha observado en varios estudios, donde se indica que los adultos de *Sitophilus oryzae* son menos resistente a las DE que el *Rhizopertha dominica* (Adarkwah et al., 2017; Erturk et al., 2017; Zlatko Korunic, 2016; Umaña, 2020). Esto concuerda con los datos obtenidos de mortalidad, a pesar de que, las DE empleadas no lograron alcanzar una mortalidad del 100% para ninguna de las especies evaluadas, permitió observar una menor resistencia a las DE por parte del *Sitophilus oryzae*, al alcanzar porcentajes de mortalidad mayores.

Los datos obtenidos concuerdan con otros estudios donde los porcentaje de mortalidad del *Rhizopertha dominica* son menor que otras plagas analizadas como lo obtenido por ŞEN et al. (2019), quienes observaron este comportamiento del *Rhizopertha dominica*, incluso a diferentes temperaturas de análisis, donde los autores atribuyeron el comportamiento a las características físicas, morfológicas y químicas que pueden presentar las DE locales; así como a las características propias del grano en estudio. Igualmente esta resistencia a las DE por parte del *Rhizopertha dominica* se puede deber a factores como el tamaño de los insectos, el grosor y

estructura de la epicutícula, así como a la movilidad de los insectos en el grano y la capacidad que tienen de recuperar agua (Z Korunic et al., 2020).

El efecto de la movilidad de los insectos en el grano es considerado quizás uno de los factores más importantes para determinar el efecto de las DE en las plagas que atacan los granos almacenados y se menciona en varios estudios, donde se indican que una especie de insectos como el *Rhyzopertha dominica* puede ser menos susceptible a las DE, ya que, no son muy ágiles, haciendo que tengan menos exposición a las partículas de DE al reducir su movilidad y contacto con estas. Esto puede ayudarle a tener mayor resistencia a las DE (da Conceição et al., 2012; Perišić et al., 2018; ŞEN et al., 2019), al disminuir el contacto con las partículas de DE. Además, como indica Jugudum y Bukar (2019) los insectos de *R. dominica* tienden a quedarse más tiempo dentro de los granos una vez que penetran el grano, lo que puede dificultar aún más la exposición a las DE dificultando aún más su exposición a las partículas de DE y disminuyendo su eficacia para control de plagas.

4.2 Natalidad

En el Cuadro 4 se observa la generación F1 para ambas plagas en estudio durante la prueba de natalidad, mostrando los promedios acumulados con sus respectivas desviaciones estándar y las letras que correspondientes al análisis estadístico para cada evaluación, que indican si existen diferencias significativas entre los tratamientos de DE aplicados.

Cuadro 4. Natalidad acumulada para *Rhyzopertha dominica* y el *Sitophilus oryzae*.

Especie	Dosis	Natalidad acumulada (Promedio \pm Desviación Estándar (σ')) *									
	DE (ppm)	15 días	σ'	30 días	σ'	45 días	σ'	60 días	σ'		
<i>Rhyzopertha dominica</i>	0	8,40	1,82 a	12,20	2,00 a	31,95	7,76 a	174,70	20,81 a		
	500	6,80	2,17 a	7,40	2,35 b	11,90	2,92 a	75,15	26,36 b		
	750	6,20	2,68 a	8,20	3,03 ac	42,20	8,44 b	184,20	15,79 a		
	900	7,80	1,92 b	8,40	2,00 c	22,40	12,83 b	118,15	28,23 c		
	1500	3,00	1,87 b	4,60	2,19 d	9,60	3,08 c	68,35	13,63 c		
		F	11,276		8,490		12,810		16,280		
	P	<0,024		<0,001		<0,012		<0,001			
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	5,20	2,39 a	48,80	10,00 a	210,40	29,59 a	244,60	31,30 a		
	500	0,40	0,55 b	33,60	12,79 b	105,20	17,46 b	117,80	17,61 b		
	750	0,20	0,45 a	27,80	8,69 a	88,80	17,23 bc	97,00	17,91 bc		
	900	0,00	0,00 c	23,40	13,07 a	55,40	18,65 cd	57,60	18,79 d		
	1500	0,00	0,00 b	16,20	8,23 b	26,20	9,86 d	27,60	10,20 c		
		F	18,337		4,680		62,635		30,804		
	P	<0,001		<0,008		<0,001		<0,001			

* Para cada día de evaluación y especie, letras iguales en una misma columna no presentan diferencias significativas respecto al testigo (todos los tratamientos tienen gL=4; Prueba de Tukey=0,05).

El análisis estadístico permitió observar una disminución en la generación de insectos conforme se incrementa la dosis de DE. Mostrando diferencias significativas respecto al testigo en las dosis más elevadas de 900 y 1500 ppm en casi todos los días de evaluación. Esto se observó en ambas especies de insectos evaluadas. Para el caso del *Sitophilus oryzae* se apreció un mayor control de la progenie incluso con dosis bajas de 500 ppm, con reducciones de incluso la mitad de la progenie, respecto al testigo; y las dosis de 750 ppm, 900 ppm y 1500 ppm; igualmente mostraron diferencias significativas, con reducciones del 61%, 77% y 89% respectivamente, con respecto al valor acumulado final del testigo.

El efecto de las DE en la progenie del *Rhyzopertha dominica* no se apreció una efectividad tan marcada para el control de la natalidad, como la obtenida para el *Sitophilus oryzae*, siendo el tratamiento de 1500 ppm el que presentó mayor reducción de la progenie respecto al testigo y con un porcentaje de reducción cercano al 61% respecto al valor acumulado de natalidad del testigo.

En la Figura 13 y Figura 14 se aprecia el comportamiento de las DE en la etapa de natalidad para las diferentes dosis de DE aplicadas, donde se observa el promedio acumulado para cada tratamiento durante la evaluación de natalidad.

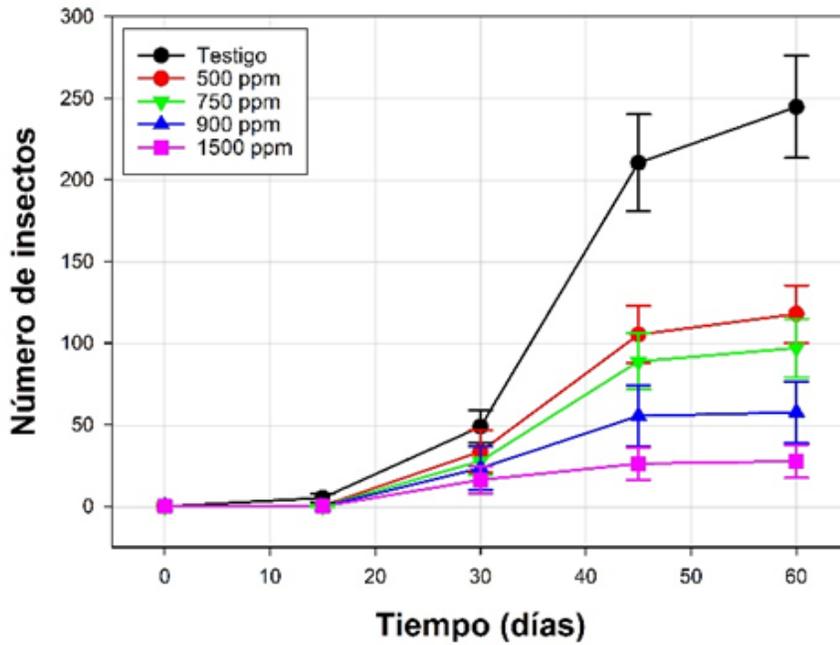


Figura 13. Natalidad acumulada para las diferentes dosis de DE aplicadas al *Sitophilus oryzae*.

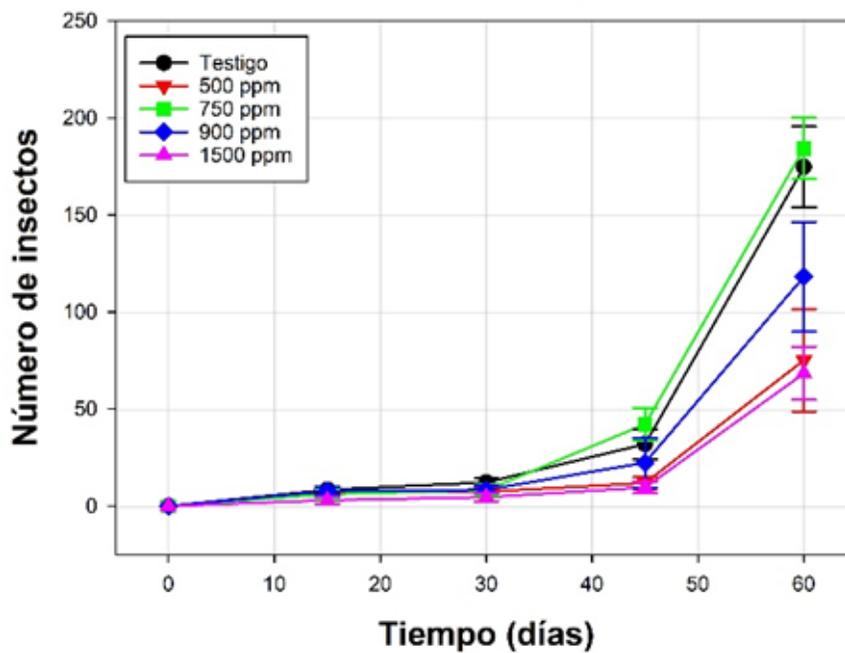


Figura 14. Natalidad acumulada para las diferentes dosis de DE aplicadas al *Rhyzopertha dominica*.

En la Figura 13 y Figura 14 , se aprecia que conforme incrementan los días de evaluación, se obtiene una mayor cantidad de progenie emergida en todos los tratamientos evaluados para ambas especies, pero se apreció una disminución de la progenie principalmente en la natalidad acumulada del *Sitophilus oryzae*, presentando un descenso marcado en la progenie de todos los tratamientos con DE respecto al testigo, con diferencias significativas en el día 60 para todas las dosis evaluadas. Por otra parte, la natalidad del *Rhizopertha dominica* mostró una resistencia mayor por parte de esta plaga a las DE evaluadas, al presentar valores de natalidad más elevados que el *Sitophilus oryzae*, pero igualmente mostrando diferencias significativas para el día 60 de evaluación en todas las dosis de DE con excepción de la dosis de 750 ppm.

Este comportamiento de las DE sobre el *Rhizopertha dominica* ha sido observado en otros estudios, mostrando la resistencia de esta especie. Esto se puede deber a que los adultos depositan sus huevos en el interior de los granos (Saeed et al., 2018), lo que dificulta su exposición a las DE durante sus etapas larvarias al estar dentro de los granos (Faroni & García Mari, 1992; Jugudum & Bukar, 2019), además se cree que otro factor importante es su poca movilidad dentro del grano, lo que disminuye su contacto con las DE (Pacheco et al., 2008; Perišić et al., 2018; ŞEN et al., 2019). Es importante poder conocer factores como conducta, morfología, ciclos de vida y demás datos que puedan ayudar a determinar las dosis de DE que permitan una mayor eficacia sobre el control de las principales plagas que atacan los granos almacenados; y poder definir el momento idóneo para aplicar este tipo de técnicas para el control de plagas.

Igualmente factores como la temperatura pueden influir significativamente en la eficacia de las DE, como han indicado varios autores, que al incrementar la temperaturas se genera un mayor efecto por parte de las DE, debido a un incremento del metabolismo de los insectos que provoca una mayor movilidad y un mayor consumo de alimentos, así como un efecto de acortamiento del ciclo de vida del insecto (ŞEN et al., 2019); lo cual, no es favorable en estudios de este tipo, ya que se pretende obtener la eficacia de las DE y acortar los ciclos de vida de los insectos, puede ser perjudicial para tal objetivo. Por esto, es importante realizar evaluaciones a diferentes temperaturas ambiente, para ver el comportamiento de la cepa de insectos en estudio, las diferentes especies, las diferentes dosis de DE, el origen geográfico de las DE (Perišić et al., 2018), los lípidos de la cutícula del insecto, la relación entre volumen y superficie del cuerpo del insecto e incluso el efecto que tiene el tipo de grano en su alimentación (Delgarm et al., 2019). Incluso factores como la variación en el grosor de la cutícula del insecto, entre especies de insectos y entre sus diferentes estadios larvarios son factores importantes a considerar para determinar la eficacia de las DE (Chen, 2015).

Se debe tener en cuenta, en el caso del *Sitophilus oryzae* la reducción de la progenie se pudo ver afectada por un mayor porcentaje de mortalidad obtenido para esta especie (Delgarm et al., 2019), lo que pudo haber influenciado en los datos de natalidad. Si bien es cierto, aunque una determinada DE logre obtener un 100 % de mortalidad, no elimina la posibilidad de que genere

progenie, al ser un método de control de acción lenta, lo que permite que los insectos puedan ovipositar antes de morir (Jugudum & Bukar, 2019); pero esto sí puede contribuir a la disminución de la progenie, al eliminarse considerablemente los insectos y reduciendo la ovoposición de los mismos.

Lo importante de la etapa de natalidad es ver si existe generación de progenie en los diferentes tratamientos y compararlos con el testigo, así como ver cuál de las especies en estudios tiene una mayor susceptibilidad a las DE, como se observó el bioensayo, donde el *Sitophilus oryzae* presentó una menor generación de progenie en comparación con el *Rhizopertha dominica*, y ambas especies presentaron menos generación de progenie en los tratamientos con DE para casi todas las dosis empleadas.

También es importante considerar que para poder establecer adecuadamente el efecto de las DE en diferentes plagas que atacan los granos almacenados, se debe comprender adecuadamente factores como la movilidad de los insectos en el grano, ya que este tipo de método de control se centra en la exposición de los insectos a las partículas de DE. Siendo importante establecer los tiempos de acción de diferentes tierras diatomeas, para determinar cuáles son las que brindan un mejor rendimiento para cada plaga, así como idear formas para reducir las dosis necesarias y los tiempos de acción, ya sea combinando las DE con otros productos como: aditivos, pesticidas, metabolitos de hongos o bacterias, hongos entomopatógenos, extractos de plantas, etc. Esta combinación podría contrarrestar los efectos negativos que pueda tener cada método de control y generar un método más eficiente para el control de plagas (Jian, 2019).

4.3 Análisis de calidad del grano

Seguidamente en el Cuadro 5 se observan los datos obtenidos para el peso hectolítrico para todos los tratamientos, además se aprecia el peso hectolítrico inicial del arroz en granza y el análisis estadístico que determina si existen diferencias significativas entre los tratamientos y entre el peso hectolítrico que se tenía al iniciar el bioensayo.

Cuadro 5. Datos obtenidos de peso hectolítrico para todos los tratamientos con DE.

Especie	Tratamiento (ppm)	Promedio	Desviación estándar	*	Promedio
		Peso hectolitro (kg/m ³)			Peso hectolitro (kg/Hl) **
Inicial		580,40	3,23	A	58,04
<i>Rhizopertha dominica</i>	0	576,70	2,02	aA	57,67
	500	575,72	1,47	aA	57,57
	750	577,39	1,77	aA	57,74
	900	577,52	2,09	aA	57,75
	1500	575,32	3,66	aA	57,53
F		0,535			
P		0,714			
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	582,02	4,37	aA	58,20
	500	570,55	4,21	bB	57,06
	750	576,22	0,58	bA	57,62
	900	575,26	2,27	aA	57,53
	1500	573,82	1,78	cA	57,38
F		5,797			
P		0,011			

* Para cada especie, letras minúsculas iguales en una misma columna no presentan diferencias significativas respecto al testigo (todos los tratamientos tienen gL=4; Prueba de Tukey=0,05). Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas respecto al valor inicial.

** Corresponde al peso del grano por unidad de volumen, donde el volumen de un hectolitro es de 100 L, y se expresa en kg por hectolitro (Kg/Hl).

Como se aprecia en el Cuadro 5, para el caso de la especie de *Rhizopertha dominica* no se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos, ni con el valor de peso hectolítrico inicial con un valor de P=0,714, con un intervalo de confianza de 0,05. Por otra parte, la especie *Sitophilus oryzae* presentó algunas diferencias significativas entre los tratamientos y con respecto al peso hectolítrico inicial, observándose que el peso hectolítrico del tratamiento de 500 ppm mostró un valor significativamente menor al compararse con los datos iniciales, y entre tratamiento se observó una diferencia respecto al testigo de los tratamientos de 500 ppm, 750 ppm y 1500 ppm, con un valor de P=0,011 con intervalo de confianza de 0,05.

Estos valores de peso hectolitro muestran una afectación mayor de la plaga *R. dominica*, al presentar un peso hectolitro menor que el *S. oryzae*, a pesar de que, esta fue la especie menos susceptible a las DE, ya que presentó porcentajes de mortalidad y generación de progenie

menores; lo que permite mostrar la agresividad con la que esta especie ataca el grano. Este comportamiento coincide con el observado por Silva et al. (2003), quienes compararon los daños ocasionados al grano y la disminución del peso hectolítrico producto del daño ocasionado por las plagas de *R. dominica* y *S. zeamais* en granos de trigo, observando disminuciones de casi el doble en los granos infectados con *R. dominica*, y atribuyeron estas pérdidas al comportamiento larvario y sus patrones alimenticios en estos estadios.

Este tipo de mediciones de peso hectolítrico pueden ayudar a determinar el efecto de una plaga en el grano, si se ve una reducción de su peso hectolitro, asociado al daño que ha sufrido el grano en el proceso de almacenaje, pero en el caso del arroz, no es un factor determinante para calidad comercial, por lo que no genera una bonificación o castigo al precio final del grano, como es el caso de otros cereales como avena, cebada, trigo, maíz, entre otros; los cuales pueden recibir bonificaciones o castigos dependiendo del rango de peso hectolitro, según las normas de comercialización (ACBSA, 2015). Además en el caso del arroz, no es relevante el efecto que se cree tiene las DE al peso específico del grano, el cual es un parámetro de gran importancia en la calidad de muchos granos comercializados (Losic & Korunic, 2018); debido a que la calidad del arroz se centra más en la relaciones de largo y ancho de los granos, porcentajes de quebrado, presencia de granos manchados, rojos, yesosos y dañados; donde estos parámetros si pueden influir en su precio final.

Por otra parte, en el Cuadro 6 se muestran las pérdidas de peso promedio obtenidas en el proceso de molienda para los diferentes tratamientos de DE.

Cuadro 6. Porcentajes de pérdidas obtenidas durante el proceso de molienda para cada tratamiento con DE.

Especie	Tratamiento (ppm)	Descascarado	Promedio Pérdidas (%) *				
			Desv. Estándar	Pulido	Desv. Estándar		
<i>Rhyzopertha dominica</i>	0	20,33	a	0,22	9,98	a	0,69
	500	19,89	a	0,28	9,53	a	0,49
	750	20,29	a	0,21	9,97	a	0,84
	900	19,91	a	0,04	10,10	a	0,64
	1500	19,75	a	0,31	9,48	a	0,82
F		3,723			0,494		
P		0,042			0,741		
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	20,38	a	0,18	8,60	a	0,93
	500	20,60	a	0,15	9,18	a	1,34
	750	20,90	a	0,30	8,66	a	1,18
	900	20,40	a	0,23	9,77	a	0,47
	1500	20,43	a	0,18	10,87	a	0,76
F		3,100			2,754		
P		0,067			0,088		

* Para cada especie, letras iguales en una misma columna no presentan diferencias significativas respecto al testigo (todos los tratamientos tienen gL=4; Prueba de Tukey=0,05).

Los datos obtenidos se encuentran entre los valores de pérdida de peso en el proceso de molienda, establecidos por la tesis de Hangen (2002), con valores de pérdida en las etapas de descascarado entre 20,4%- 22,2% y en pulido del grano entre 9,5%-11,1%; además de no presentar diferencias significativas en los procesos de descascarado y de pulido. Lo que permitió corroborar que el proceso de molienda se realizó con el equipo debidamente calibrado. En el caso del descascarado se aprecian valores ligeramente inferiores al límite inferior determinado por Hangen (2002), lo cual se atribuye a que el arroz empleado en el bioensayo correspondía a una mezcla de variedades. Pero en el caso del pulido si se encontraron todos los valores obtenidos dentro del rango esperado de pérdida del grano.

Los datos obtenidos por el laboratorio de Granos del CIGRAS se muestran en el Cuadro 7, donde se aprecian los factores de calidad del arroz pilado, obtenidos para los diferentes tratamientos de DE utilizados.

Cuadro 7. Análisis de calidad del arroz pilado obtenido en el laboratorio de Granos del CIGRAS.

Especie	Tratamiento (ppm)	Factor de calidad (%)					
		Puntilla ± 0,06	Quebrado total ± 0,27	Manchado ± 0,07	Rojo ± 0,02	Yesoso ± 0,28	Dañado ± 0,15
<i>Rhizopertha dominica</i>	0	2,2	20,2	0,0	0,3	0,8	0,4
	500	3,0	22,0	0,0	0,2	1,6	0,8
	750	3,2	19,3	0,3	0,2	1,1	0,6
	900	3,0	20,1	0,1	0,5	0,5	0,6
	1500	4,4	22,0	0,1	0,0	1,2	0,5
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	3,0	19,5	0,2	0,2	0,9	0,6
	500	5,0	21,6	0,0	0,1	1,3	0,5
	750	3,3	18,9	0,0	0,2	0,7	0,9
	900	4,8	21,4	0,2	0,1	0,9	0,5
	1500	4,2	20,8	0,0	0,1	0,6	0,8

En el Cuadro 7 se observan que los valores obtenidos en el laboratorio para los porcentajes de los factores de calidad como: quebrado total, manchado, rojo, yesoso y dañado; presentaron valores bajos, lo que permitiría calificar al grano entre los primeros tres grados de calidad del arroz pilado, pero los valores obtenidos en el porcentaje de puntilla es el principal factor que afecta la calidad final de cada tratamiento. Utilizando los datos obtenidos en el Cuadro 7, se pudo determinar el grado de calidad de cada tratamiento, según el valor máximo permitido en cada factor de calidad, permitiendo asignar una calificación a cada tratamiento como se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Calificación asignada a los tratamientos según los factores y grados de calidad del arroz pilado.

Especie	Tratamiento	Grado de Calidad *	Grano entero (%)
<i>Rhizopertha dominica</i>	0	3	79,8
	500	3	78,0
	750	2	80,7
	900	3	79,9
	1500	3	78,0
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	2	80,5
	500	3	78,4
	750	2	81,1
	900	3	78,6
	1500	3	79,2

*El grado de calidad del lote es determinado por el factor o factores que den el grado de calidad menor.

De las calificaciones obtenidas para los tratamientos con DE se pueden observar que los valores de grado de calidad aumentan uno o varios grados al considerar el porcentaje de puntilla, y si no se considera este porcentaje, se observan grados más prometedores en cuanto a calidad de los granos. Debido a que, al observar el Cuadro 7, se aprecia que los porcentajes de puntilla menores son de 2,2 % y de 3,0 %, para el *R. dominica* y *S. oryzae* respectivamente, lo que influye mayormente en el grado de calidad de los tratamientos disminuyendo su calidad final.

Al observar el Cuadro 7, se aprecia que los factores que mayor porcentaje tuvieron fueron los porcentajes de puntilla y quebrado total, producto del daño ocasionado por las plagas en estudio, Observando porcentajes de puntilla menores en los testigos que los tratamientos con DE de ambas plagas evaluadas. Esta tendencia se puede atribuir a que el testigo no presentaba ningún tratamiento con DE, por lo que tuvo una mayor afectación por las plagas; al tener una tasa de mortalidad menor y mayor generación de progenie respecto a los tratamientos; y además, a una posible preferencia de los insectos adultos a consumir los granos de arroz que se encuentran dañados (Pascual & Aguilar, 2007).

En el caso del porcentaje de grano entero, los tratamientos de 750 ppm y 900 ppm presentaron porcentajes menores que el testigo para el caso de *Rhizopertha dominica* y solamente se observó que el tratamiento de 750 ppm presentó un valor de grano entero mayor que el testigo en el caso del *Sitophilus oryzae* como se observó en el Cuadro 8.

Por otra parte, se puede observar que para el *Sitophilus oryzae* presentó valores de puntilla entre 3,3 % y 5,0 %, siendo mayores que el *Rhyzopertha dominica* que presento valores entre 3%-4,4% en los tratamientos con DE. Lo que muestra la agresividad del *Sitophilus oryzae* al atacar el grano, ya que a pesar de que presentó porcentajes de mortalidad mayores y menor generación de progenie que el *Rhyzopertha dominica*, mostró valores de puntilla mayores y valores de grano entero menores.

En el caso de los testigos de ambas especies las variaciones en los valores de puntilla y quebrado puede deberse a la preferencia de las plagas por el arroz utilizado en el bioensayo, ya que características químicas o físicas del grano pueden influir en la eficacia de las DE, donde características como el peso, el contenido de proteínas y de gluten; influyen en el consumo del grano por parte de las plagas (Jugudum & Bukar, 2019). Incluso factores como la adherencia de las DE al grano de arroz puede ser menor en los granos que ya están quebrados al tener una superficie más lisa y no estar protegida por la granza, provocando una preferencia por parte de las plagas al grano dañado. Este efecto de adherencia se observa en otros granos como el trigo que tiene una mayor adherencia de las DE que el arroz debido a presentar una superficie externa más áspera como lo indican Saeed et al. (2018).

Igualmente factores como el tamaño de los granos influye en la eficacia de las DE, debido a que granos pequeños presentan una mayor distribución de las DE que los granos grandes (Jugudum & Bukar, 2019), lo cual puede favorecer a mayores valores de puntilla en los tratamientos con dosis de DE más elevados, ya que se tiende a proteger más los granos pequeños y puede favorecer que los insectos ataquen más el grano entero.

En el caso de los insectos de la especie *R. dominica* sus poderosas mandíbulas pueden facilitar dañar el grano y consumir mayormente el grano (Rangel et al., 2018), ya que sus primeras instancias larvales son muy activas e incluso tienen presencia de mandíbulas (Edde, 2012), esto induce a que consuman mayormente el grano dañado, ocasionando que tenga porcentajes de puntilla y quebrado total, ligeramente menor que el *S. oryzae*. Además los adultos tienden a perforar el grano y quedarse dentro del mismo según indican Jugudum & Bukar (2019) citando a Arthur (2004), lo que puede reducir la afectación que se tiene en el grano si se compara con el *S. oryzae* que tiene mayor movilidad en el grano.

Un factor importante de considerar en el efecto de la calidad final del grano son los patrones alimenticios de las plagas en sus diversos estados fenológicos, ya que algunas especies pueden generar un daño importante en sus primeras instancias larvales, incluso pueden destruir cerca del 50%-70% del endospermo del grano, y se alimentan preferiblemente del germen del grano, cuando se emplea trigo como alimento como sugiere (Edde, 2012; Pérez et al., 2018), incluso el daño que ocasionan los insectos puede reducir el grano hasta el pericarpio (Edde, 2012). Esto podría explicar porque el tratamiento presentó menos porcentajes de puntilla y grano quebrado,

ya que al tener más infestación de plagas se consumía mayormente los granos de arroz quebrados y posiblemente afectó el proceso de molienda, facilitando eliminar estos granos quebrados por las fuerzas de fricción a las que se somete el grano en la etapa de molienda (Rangel et al., 2018), pero los datos obtenidos con los resultados del laboratorio, al solo tener una muestra por tratamiento debido a los costos de los análisis y la cantidad de muestras requeridas, no se permitió determinar si existen diferencias significativas en cuanto a variación de la calidad del grano.

Relacionar la calidad final del grano con el efecto de las plagas es importante para poder definir la influencia de un método de control de plagas en granos almacenados con su calidad de molienda final (Rangel et al., 2018), para poder establecer un adecuado programa de manejo de plagas durante las etapas de almacenamiento y molienda; porque si se tiene un grano dañado en los procesos de descascarado y pulido, donde el grano es sometido a grandes fuerzas de fricción, se ocasiona la ruptura de los granos (Rangel et al., 2018), lo cual puede generar mayores pérdidas de grano en estas etapas y una afectación en la calidad final del grano, reduciendo su precio final de comercialización.

Con los datos obtenidos sobre el efecto de la calidad de molienda en los tratamientos, lo que se pudo observar es que una mayor infestación de insectos no significó un mayor efecto en la calidad del grano, ya que las muestras no abarcaban la totalidad del grano empleado en el bioensayo, lo que podría ayudar a determinar si se perdía mayor grano en molienda por estar más infectado. Si bien, se apreció un porcentaje de puntilla y quebrado mayor en los tratamientos respecto al testigo, no se puede descartar la eficacia de las DE para conservar la calidad del grano; ya que, al no realizarse un proceso de molienda de todo el grano, no se puede apreciar la pérdida total de masa en el proceso de molienda de los tratamientos, respecto al testigo. Lo que no permitió corroborar si efectivamente los tratamientos con DE tienen un efecto en la calidad final del grano ni realizar un análisis estadístico para poder determinar una dosis que permitiera conservar mayormente la calidad del grano.

4.4 Pérdidas de peso generadas por las plagas al grano.

En el Cuadro 9 se observan los contenidos de humedad que se obtuvieron con el equipo indirecto Steinlite y la comparación con los métodos certificados del Laboratorio de Granos del CIGRAS; así como la variación que presenta el Steinlite con los métodos certificados.

Cuadro 9. Variación del contenido de humedad del Steinlite con los resultados del Laboratorio del CIGRAS.

Especie	Tratamiento (ppm)	Contenido Humedad (%)					
		Horno	Dickey John	Steinlite	Desviación estándar	Variación Steinlite con Horno	Variación Steinlite con Dickey John
<i>Rhizopertha dominica</i>	0	13,1	12,7	13,6	0,7	3,8	7,1
	500	12,7	12,4	13,8	0,4	8,4	11,0
	750	12,7	12,3	13,9	0,6	9,1	12,6
	900	12,7	12,4	13,8	0,7	8,8	11,4
	1500	12,7	12,3	13,8	0,6	8,5	12,0
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	12,6	12,8	13,5	0,3	7,5	5,8
	500	12,6	12,2	13,4	0,5	6,2	9,7
	750	12,4	12,5	13,4	0,3	7,7	6,8
	900	12,6	12,2	13,2	0,3	4,5	7,9
	1500	12,5	12,1	13,3	0,6	6,8	10,3

Con estos datos se pudo determinar el error que tenían los valores de contenido de humedad iniciales del bioensayo, ya que para estos valores iniciales se empleó el equipo Steinlite, el cual presenta una variación con los métodos de certificados del método al horno y del Dickey John inferior al 9,1 % y 12,6 % respectivamente. Con esta evaluación se permite observar que el método empleado inicialmente para medir el contenido de humedad tenía una variación aceptable para ser un método de medición indirecto. Además, para el propósito del bioensayo es aceptable ya que igualmente se sabe que la variación en el contenido de humedad a lo largo del estudio podría fluctuar constantemente a lo largo del bioensayo dificultando obtener una medición exacta del contenido de humedad. Los datos obtenidos para el contenido de humedad con el Steinlite se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Datos obtenidos para el contenido de humedad con el equipo Steinlite para todos los tratamientos con DE.

Especie	Tratamiento (ppm)	Promedio total (%)	Desviación estándar	*
	Inicial	12,59	0,24	A
<i>Rhyzopertha dominica</i>	0	13,6	0,7	aA
	500	13,8	0,4	aB
	750	13,9	0,6	aB
	900	13,8	0,7	aB
	1500	13,8	0,6	aB
F		16,916		
P		0,005		
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	13,5	0,3	aC
	500	13,4	0,5	aC
	750	13,4	0,3	aC
	900	13,2	0,3	aC
	1500	13,3	0,6	aC
F		5,762		
P		0,001		

*Para cada especie, letras minúsculas iguales en una misma columna no presentan diferencias significativas respecto al testigo. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas con el valor inicial (todos los tratamientos tienen gL=4; Prueba de Tukey=0,05).

Los datos del contenido de humedad obtenidos con el Steinlite no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna de las plagas evaluadas, y entre los valores iniciales se observó una diferencia significativa para casi todos los tratamientos exceptuando el testigo del *R. dominica*. Para el caso del *S. oryzae* se presentaron diferencias significativas respecto al valor inicial para todos los tratamientos.

Como los valores obtenidos de contenido de humedad presentaron diferencias significativas con los valores iniciales de contenido de humedad, se realizó una corrección en las pérdidas de grano generadas durante todo el bioensayo. Pero primeramente, se muestra en el Cuadro 12 los valores obtenidos para la pérdida de peso del grano ocasionado por ambas plagas en estudio, donde se aprecia el porcentaje obtenido con la fórmula (1) para los promedios de cada tratamiento. El valor correspondiente a los 14 días es la pérdida de peso asociada a la etapa de evaluación de mortalidad y el valor de 60 días corresponde a la pérdida de peso de la etapa de natalidad.

Cuadro 11. Pérdidas de peso del grano efecto de las plagas *R. dominica* y *S. oryzae*.

Pérdida (%±Desviación estándar (σ))									
Especie	Dosis DE (ppm)	14 días	σ		60 días	σ		Pérdidas totales	σ
<i>Rhyzopertha dominica</i>	0	0,12	0,05	a	0,06	0,05	a	0,18	0,07
	500	0,12	0,04	a	0,16	0,04	a	0,28	0,05
	750	0,19	0,03	a	0,18	0,05	b	0,36	0,06
	900	0,16	0,06	a	0,12	0,06	a	0,28	0,08
	1500	0,14	0,02	a	0,09	0,05	b	0,23	0,05
F		1,737			4,253				
P		0,194			0,017				
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	0,13	0,07	a	0,13	0,09	a	0,25	0,11
	500	0,13	0,02	a	0,14	0,07	a	0,27	0,07
	750	0,15	0,05	a	0,11	0,04	a	0,26	0,06
	900	0,16	0,06	a	0,12	0,04	a	0,27	0,07
	1500	0,21	0,02	a	0,18	0,03	a	0,38	0,04
F		2,506			1,024				
P		0,075			0,419				

* Letras iguales en una misma columna no presentan diferencias significativas (todos los tratamientos tienen $g_L=4$; Prueba de Tukey=0,05).

En el Cuadro 11 se observa que solamente hay diferencias significativas para el caso del *Rhyzopertha dominica* hasta el final de la evaluación de natalidad o generación de la progenie. Para todos los demás casos no se logró observar diferencias significativas para ninguno de los tratamientos, esto se debe a que los valores de pérdida de peso del grano fueron muy pequeñas, lo cual dificultó la diferenciación estadística entre los tratamientos, ya que los porcentajes de pérdida no sobrepasaron el 0,4 % en ninguno de los tratamientos, ni en ninguna de las especies evaluadas a lo largo de todo el bioensayo.

A pesar de que las pérdidas de grano obtenidas durante todo el bioensayo son muy pequeñas y una corrección del peso por la absorción de humedad no cambiaría mucho los resultados obtenidos, igualmente se realizó la corrección de los porcentajes de pérdida del grano para tener un valor más exacto. Para su cálculo se empleó las diferencias en el contenido de humedad utilizando el equipo Steinlite, ya que este fue uno de los equipos utilizados para medir el contenido de humedad inicial del grano, y los análisis obtenidos en el laboratorio se utilizaron para determinar la eficacia del equipo en la etapa final.

Seguidamente en el Cuadro 12 se observa la corrección de las pérdidas del grano con la incorporación del cambio en el contenido de humedad.

Cuadro 12. Pérdidas de grano corregidas mediante la variación del contenido de humedad utilizando el Steinlite.

Especie	Tratamiento	Variación contenid o humedad (%)	Peso final grano (g)	Peso agua absorbida (g)	Corrección CH (%)	Total pérdida s (%)	Total pérdidas Corregidas (%)
<i>Rhyzoperth a dominica</i>	0	1,0	595,25	6,04	0,23	0,18	0,40
	500	1,2	592,50	7,00	0,26	0,28	0,54
	750	1,3	590,25	7,48	0,28	0,36	0,64
	900	1,2	592,50	7,27	0,27	0,28	0,55
	1500	1,2	593,75	7,05	0,26	0,23	0,49
<i>Sitophilus oryzae</i>	0	1,0	593,20	5,66	0,21	0,25	0,46
	500	0,8	592,80	4,75	0,18	0,27	0,44
	750	0,8	593,00	4,55	0,17	0,26	0,43
	900	0,6	592,60	3,44	0,13	0,27	0,40
	1500	0,8	589,60	4,49	0,17	0,38	0,55

En el Cuadro 12 se muestra que, aunque se realiza la consideración de la absorción de agua por parte del grano, se sigue manteniendo pérdidas del grano muy pequeñas, incluso inferiores al 0,7 %. Además, se aprecia que las correcciones en las pérdidas por contenido de humedad son inferiores a 0,3 % para ambas plagas en estudio. Por otra parte, se observó que los tratamientos presentaron un mayor porcentaje de pérdidas que el testigo en el caso del *R. dominica*, y para el *S. oryzae*, los tratamientos de 500 ppm, 750 ppm y 900 ppm presentaron valores de pérdidas inferiores al testigo, lo que muestra una posible acción desecante por parte de las tierras diatomea como se observa en los valores de corrección del porcentaje de CH del Cuadro 12, donde se da humectación en el caso del *Rhyzopertha dominica* y desecación en el *Sitophilus oryzae*; esto se puede deber según Silvia et al. (2003) al comportamientos alimenticio de las larvas del *R. dominica*, las cuales comúnmente se desarrollan en granos dañados, lo que favorece la humectación del grano.

Estos porcentajes totales de pérdida del grano por efecto de ambas plagas en estudio se grafican en la Figura 15, donde se aprecia lo antes mencionado, que se tienen pérdidas muy

pequeñas que no sobrepasan el 0,7 % dificultando apreciar una diferencia entre los tratamientos respecto al testigo.

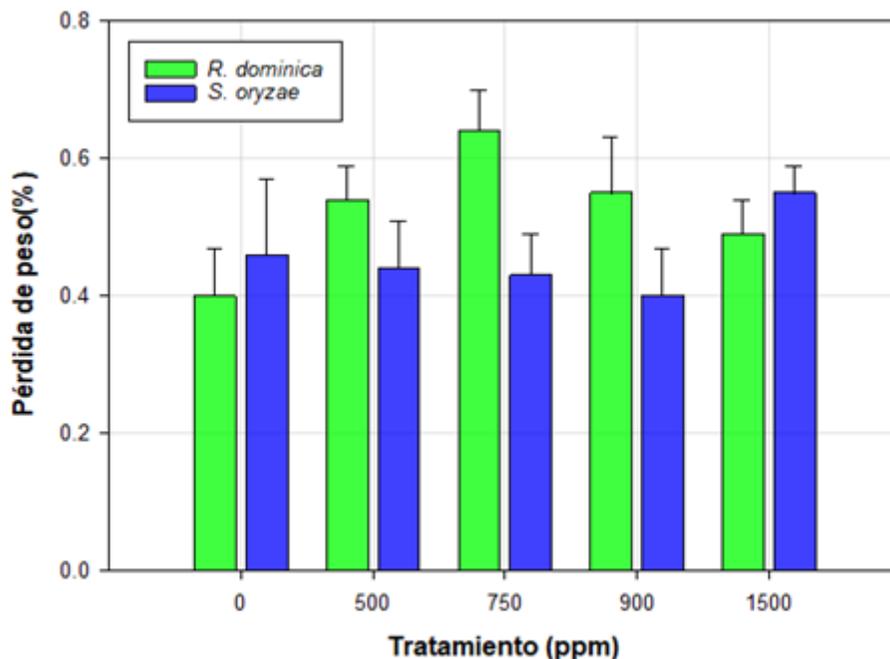


Figura 15. Porcentaje de pérdidas de peso del grano ocasionado por el *R. dominica* y el *S. oryzae*.

Se observa que los tratamientos tienen una pérdida similar o incluso superior a las mostradas por el testigo de ambas especies evaluadas; lo cual puede ser contradictorio a lo esperado, ya que, si se tiene un incremento en la mortalidad de los insectos y una disminución en la generación de la progenie, se esperaría que los tratamientos presentaran pérdidas de masa menores que las presentes en el testigo. Igualmente se aprecia que para el *R. dominica* tuvo una mayor pérdida del grano en el tratamiento de 750 ppm y para el *S. oryzae* se observó una mayor pérdida en el tratamiento de 1500 ppm. Al ser los porcentajes de pérdidas tan bajos, pudo influir que en cada medición se retiraban los insectos muertos en el caso de la etapa de mortalidad y los insectos vivos en la etapa de natalidad, contribuyendo un poco a que los porcentajes de pérdida de los tratamientos sean parecidos o mayores a los testigos.

Estos datos concuerdan con los obtenidos por Torres et al. (2019) quienes obtuvieron pérdidas de grano entre 0,1 % y 2 %, sin poder identificar diferencias significativas entre los tratamientos de DE que utilizaron para controlar las plaga de *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum* y *Sitophilus zeamais*, pero indicaron que los testigos presentaron una pérdida de peso mayor que los tratamientos; además citaron a Silva-Aguayo (2004), quien indicó que las pérdidas

de peso obtenidas en su estudio no sobrepasaron el 2 %, por lo que tenían un comportamiento similar a los obtenidos en este estudio.

Es importante señalar que la cuantificación de las pérdidas de grano generadas por las plagas en estudio, son difíciles de determinar exactamente y comparar con otros estudios; debido a las diferencias metodológicas que se emplean a la hora de determinar las pérdidas en el peso. También porque influyen aspectos como los insectos que no son visibles o se esconden dentro del grano y el contenido de humedad del grano puede mostrar fluctuaciones de peso durante todo el bioensayo; influyendo en la obtención adecuada de las pérdidas de peso del grano (Edde, 2012).

Por otra parte, un factor que pudo influir en los resultados es la infestación inicial de las plagas, lo cual puede reducir los patrones alimenticios de las hembras al dedicar mayor tiempo a la copulación, y ocasionando una reducción de la longevidad y la ovoposiciones de los insectos (Chanbang et al., 2007; Pérez et al., 2018), lo que puede reducir las pérdidas ocasionadas por el consumo del grano. Igualmente, es considerar que las muestras no alcanzaron la máxima generación de progenie, ya que en la etapa de mortalidad se eliminaron los insectos vivos para iniciar con la fase de natalidad, y en esta última, los insectos vivos se iban retirando en cada medición, lo cual reduciría en gran medida las pérdidas de grano reales generadas durante toda la fase del bioensayo.

4.5 Costos operativos de implementación de DE a escala de granel

La aplicación de tierras diatomeas en silos se puede realizar de diferentes maneras, desde aplicaciones manuales hasta sistemas más tecnificados donde se emplean dosificadores automáticos para facilitar su aplicación. Siendo importante determinar el costo operacional que se requiere para la implementación de este tipo de tecnología y permitir determinar su factibilidad en volúmenes de almacenamiento mayores. Siendo pertinente determinar la inversión inicial que se requiere realizar para su implementación en silos de almacenamiento de granos, independientemente si se trata de silos grandes, medianos o pequeños.

La forma más fácil de aplicar las DE es implementando un espolvoreador de fuelle (Ver Figura 16) o un Venturi o pistola neumática (Ver Figura 16) (Grains Research and Development Corporation, 2018). Las aplicaciones de forma manual son poco recomendadas, ya que generan poca homogeneidad en la aplicación, estos implementos permiten sin ningún problema realizar aplicaciones en silos pequeños; pero para silos grandes se vuelve poco operacional debido a que se requieren trabajadores a jornada completa para realizar las aplicaciones durante el llenado de los silos. Para silos grandes lo recomendable es usar un dosificador automático, que si bien requiera una inversión inicial mayor, no requiere la contratación de un trabajador que este aplicando constantemente las DE en los silos.

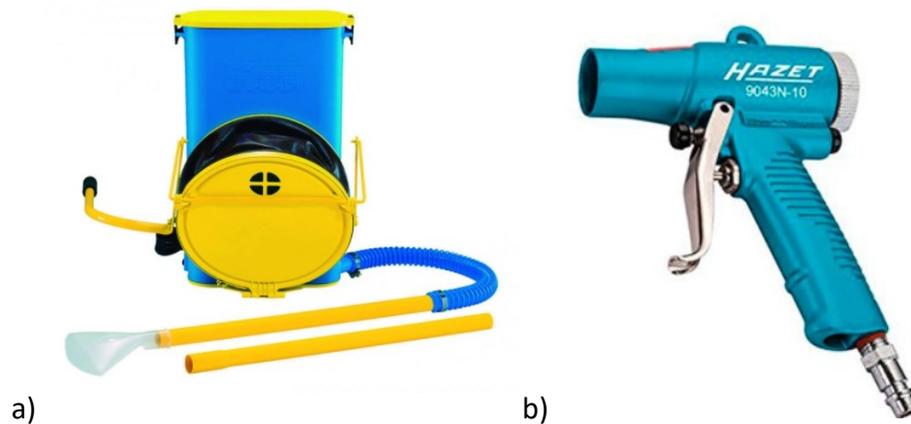


Figura 16. a) Espolvoreador dorsal de fuelle Polmax 9* b) Pistola neumática Hazet 9043N-10 de 148mm, 3,3 CFM y 6,3-10.34 Bar**.

Fuente: *(Modrego Hogar, 2021), **(Capris, 2021b).

Cuando se emplean los equipos mostrados en la Figura 16, se requiere implementar el equipo de protección comúnmente usado en diferentes labores de mantenimiento de silos que permiten garantizar una protección del trabajador, pero meramente es para garantizar una mayor protección del aplicador, ya que las DE no son tóxicas, por lo tanto, basta con implementar el equipo básico de protección que se debe emplear en toda planta de procesamiento de granos durante las fumigaciones como: casco, gafas, máscara, guantes, traje de fumigación y arnés de seguridad, este último, si se requiere subir a los silos (Grains Research and Development Corporation, 2018). Igualmente al ser un polvo pueden generar irritación de las vías respiratorias al tener exposiciones prolongadas, por lo que es conveniente la implementación de protección durante su aplicación.

En el caso de las aplicaciones con dosificadores que son equipos más tecnificados es importante considerar para su selección el efecto abrasivo que tienen las DE sobre las superficies de contacto (Erturk et al., 2017), por lo que se debe de utilizar equipo resistentes a la abrasión, ya que las piezas de la maquinaria podrían tener mayor desgaste, a pesar de que las dosis implementadas de DE sean bajas. Un ejemplo de este tipo de equipos se observa en la Figura 17 (a), el cual permite realizar las descargas de DE automáticamente al calibrar la dosis requerida para el volumen de grano a almacenar.

Una forma de mejorar la aplicación con este tipo de equipo es colocar en la salida del dosificador una especie de rieles (Figura 17, (b)) que permitan distribuir uniformemente las DE en todo el silo, permitiendo abarcar más área en la superficie del silo, lo que permite ir creando capaz de DE mientras se va llenando el silo con el grano.

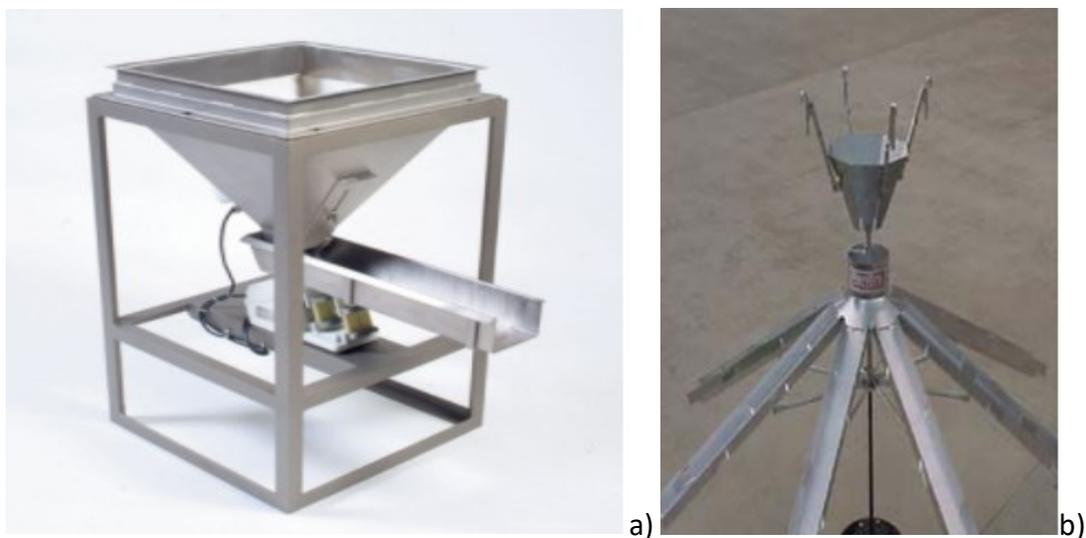


Figura 17. a) Dosificadora con canal vibrante, b) riel tipo araña.

Fuente: a) (TARNOS, 2021), b) (INTA, n.d.).

Con estas consideraciones, se realizó un presupuesto para determinar el costo total que se incurre en implementar las DE en un sistema semi-tecnificado y uno automatizado. Cabe resaltar, que es necesario aplicar las dosis de tierras diatomeas más pequeñas para evitar el efecto que estas puedan tener en la densidad aparente del grano (Erturk et al., 2017; Z Korunic et al., 2020), principalmente en los granos que el peso hectolítrico es un factor importante a la hora de establecer el precio de comercialización, además hay que considerar el efecto abrasivo de las DE en los equipos que se utilizan en las etapas de transporte del grano, almacenaje y despacho del grano.

Con estas consideraciones se determinó el costo operacional anual de aplicar las DE, las cuales se aprecia en el Cuadro 13. Donde se aprecia una forma de aplicación semi tecnificada, mostrando los costos incurridos en equipo de seguridad y equipo de aplicación de las DE para poder aplicar un silo de 2000 toneladas, el cual es un tamaño común en la industria.

Cuadro 13. Costo operacional anual de implementar DE en silos con un sistema semi-tecnificado.

Descripción	Cantidad	Empresa	Precio unitario	Precio Total
Costo Inversión inicial				
Equipo de seguridad				
Anteojos de seguridad	1	Construplaza	4600	₡ 4 600.00
Mascara respiradora y filtro de carbón activado	1	Construplaza	15000	₡ 15 000.00
Casco seguridad Pyramex con ajuste de perilla	1	Construplaza	4000	₡ 4 000.00
Orejas ajustables	1	Construplaza	7000	₡ 7 000.00
Guante de neopreno	1	Construplaza	3000	₡ 3 000.00
Botas de PVC blanca Emtop ERBTW046	1	Construplaza	7000	₡ 7 000.00
Traje protección	1	CAPRIS	5600	₡ 5 600.00
arnés ajustable con línea de vida	1	Construplaza	31000	₡ 31 000.00
Costo total equipo de seguridad				₡ 77 200.00
Equipo de aplicación de DE				
Pistola neumática Hazet 9043N-10 de 148mm, 3,3 CFM y 6,3-10.34 Bar	1	CAPRIS	71170	₡ 71 170.00
Compresor de aire AIR FORCE BM-2050, 6.2CFM, 2HP, TANQUE 50 LITROS	1	CAPRIS	155520	₡ 155 520.00
Costo total equipo de aplicación				₡ 226 690.00
Subtotal de inversión inicial (Colones)				₡ 303 890.00
I.V.A				₡ 39 505.70
Costo total de inversión inicial (Colones)				₡ 343 395.70
Costo total de inversión inicial (dólares)				₡ 549.43

Como se aprecia en el Cuadro 13, los costos de implementar este tipo de técnicas no son tan elevados, incluso no sobrepasan los \$550. Lo que incrementa los costos de implementación de estas tecnologías son el requerimiento de mano de obra para realizar las aplicaciones, donde un salario mínimo de un peón según el Ministerio de Trabajo ronda los 255 000 colones por mes, incluyéndole las cargas sociales, el salario anual puede llegar a costar cerca de los \$ 3 000 una jornada de medio tiempo como se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Gasto por salario anual de un peón a medio tiempo requerido para la aplicación de DE en un sistema semi-tecnificado.

Descripción	Cantidad	Empresa	Precio unitario		Precio Total
Gastos por salario					
Salario medio tiempo peón	12	MTSS*	127440	₡	1 529 280.00
Cargas Sociales	12	MTSS	33134.4	₡	397 612.80
Costo total Mano obra (colones)				₡	1 926 892.80
Costo total Mano obra (dólares)				₡	3 083.03

* Salario mínimo indicado en el Ministerio de Trabajo para un peón.

Observando los Cuadro 13 y Cuadro 14 se muestra que la mayor parte del costo anual de implementar las DE, corresponde al pago del salario del peón, ya que se implementa un sistema semi tecnificado se requiere de este para ir agregando las DE durante el llenado de los silos. Los demás costos, como equipo de aplicación y protección corresponden a una inversión inicial que se realizara dependiendo de la vida útil de los equipos de protección y varía entre 2 a 3 años dependiendo del cuidado que se tenga de los equipos de protección y no es tan elevada como mantener contratado a un peón durante un año, además la mayoría son equipos de seguridad de suso obligatorio en las plantas de procesamiento de granos.

El costo de materia prima va a depender de la marca y el origen de las tierras diatomeas que se emplee, ya que hay gran variedad de precios dependiendo del país, fuente de obtención y tamaño de partículas. Para el presente estudio se implementaron unas tierras diatomeas que se distribuyen en el país, las cuales tenían un costo de 10 300 colones presentaciones de 30 kg, por lo que el costo de materia prima tampoco es muy elevado. Para una dosis recomendada de DE de 1500 ppm, siendo la dosis que genero una mayor mortalidad y disminución en la generación de progenie en ambas especies evaluadas; se requeriría una dosis de 1,5 kg de DE por tonelada de arroz en granza.

Tomando una base de un silo de 2000 toneladas (tamaño normal en la industria), se requeriría aplicar 3 000 kg de DE, para aplicar la dosis recomendada de 1500 ppm (1,5 kg de DE por tonelada de grano de arroz) cómo se observa en el Cuadro 15 de costos de materia prima. Esta cantidad de DE se puede dificultar aplicar con un espolvoreador de fuelle o pistola neumática. Lo más práctico es implementar los dosificadores automáticos antes mencionados y colocar su descarga ya sea sobre el silo con un tipo de riel como el mostrado en la Figura 17, o bien, colocando la descarga del dosificador en el tornillo sin fin para impregnar el grano mientras se transporta el grano para llenar el silo.

Cuadro 15. Costos materia prima para aplicar un silo de 2000 toneladas con dosis recomendada.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Costo materia prima			
Tierras diatomeas (presentación 30 kg)	100	10 200	₡ 1 020 000.00
Total costos de materia prima			₡ 1 020 000.00

En el Cuadro 16 se observa el costo de implementar un equipo automatizado para la aplicación de DE, el cual se colocaría en el tornillo sin fin que transporta el grano para cargar el silo y se localizaría lo más cerca posible a la zona de descarga para facilitar la homogenización de las DE con el grano a medida que cae.

Cuadro 16. Costo implementación sistema automatizado para aplicación de DE.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Dosificador volumétrico con coclea vertical para productos en polvo	1	3 731 700	₡ 3,731,700.00
IVA			₡ 485,121.00
Costo Total (Colones)			₡ 4,216,821.00
Costo Total (Dólares)			₡ 6,801.32

Con las consideraciones anteriores se puede realizar un cuadro resumen donde se expresa el costo total inicial que se debe invertir para poder implementar una tecnología como las tierras diatomeas en un silo de 2000 toneladas con un sistema de descarga automática y un sistema semi-tecnificado, los costos totales se muestran en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Costo total de implementar tierras diatomeas en un silo de 2000 toneladas.

Descripción		Precio Total
Semi-tecnificado		
Costo total equipo de seguridad	₡	77,200.00
Costo total equipo de aplicación	₡	226,690.00
Costo materia prima	₡	1,020,000.00
Costo Mano Obra	₡	1,926,892.80
COSTO TOTAL INVERSIÓN INICIAL (COLONES)	₡	3,250,782.80
COSTO TOTAL INVERSIÓN INICIAL (DÓLARES)	\$	5,201.25
COSTO TOTAL POR TONELADA APLICADA	\$	2,6
Automatizado		
Costo total equipo de seguridad	₡	77,200.00
Costo total equipo de aplicación	₡	4,216,821.00
Costo materia prima	₡	1,020,000.00
COSTO TOTAL INVERSIÓN INICIAL (COLONES)	₡	5,314,021.00
COSTO TOTAL INVERSIÓN INICIAL (DÓLARES)	\$	8,502.43
COSTO TOTAL POR TONELADA APLICADA	\$	4,25

A pesar de que se implementa un sistema automatizado se agrega el rubro de equipo de seguridad, ya que se debe de ir de forma periódica a cargar el equipo dosificador de DE. Como se observa el costo operacional ronda los 8 500 dólares (4,25 dólares por tonelada), para aplicar un silo que comúnmente se usa en la industria de una capacidad de 2 000 toneladas.

El costo de un sistema semi tecnificado es inferior y ronda los 5 200 dólares (2,6 dólares por tonelada), pero como se indicó para silos con tamaños tan grandes se hace poco práctico, ya que se requiere la presencia de un trabajador para realizar las aplicaciones de DE durante el llenado del silo, lo cual puede tardar varios días incluso semanas.

La forma quizás más práctica a la hora de utilizar este tipo de tecnología sería la implementación automática como el Dosificador de Cocleas FLG-500^a Ver Anexo 4, lo cual permite mayor independencia operacional y a largo plazo podría significar un ahorro en costos de operación, el único inconveniente sería el costo inicial de implementar este tipo de equipo, ya que como se muestra en el Cuadro 17, inicialmente se debe de invertir cerca de 2 500 dólares más para obtener el equipo automatizado.

Además se debe considerar que el costo operacional por tonelada se reduce conforme se aplica mayor cantidad de grano, ya que los costos de inversión inicial en equipo de aplicación como el dosificador automático se puede distribuir en un mayor volumen de grano almacenado. Lo cual ayuda a asimilar más fácil la inversión inicial, contrario a si se aplica en un silo de menor tamaño, lo que haría que el costo por tonelada incrementara debido a esta inversión inicial.

5. CONCLUSIONES

Se determinó que la dosis de 1500 ppm de DE generó porcentajes de mortalidad más altos y valores de natalidad inferiores al compararlos con los testigos para las plagas evaluadas. Permitiendo identificarla como la dosis más eficiente para controlar ambas plagas.

Las pérdidas de grano no presentaron diferencias significativas y no sobrepasaron el 0,7 % en ninguno de los tratamientos, ni en ninguna de las especies evaluadas a lo largo de todo el bioensayo.

Los costos operacionales de implementar tierras diatomeas con un dosificador automático para un silo de 2 000 toneladas rondan los 8 500 dólares. Significando un costo operativo de 4,25 dólares por tonelada.

La dosis de 1500 ppm de DE permitió un porcentaje de mortalidad mayor para ambas especies evaluadas, siendo $34,8 \pm 5,83$ % para el *Rhyzopertha dominica* y de $69,6 \pm 14,41$ % para el *Sitophilus oryzae*.

Se observó una disminución en la progenie al incrementarse las dosis de DE y al comparar con el testigo para ambas especies. Presentándose diferencias significativas para el tratamiento de 1500 ppm con un valor de 89 % en el *Sitophilus oryzae* y de 61 % para *Rhyzopertha dominica* de reducción de la progenie respecto al testigo, en el día 60 de evaluación.

El sistema de control de temperatura implementado con Arduino permitió controlar satisfactoriamente la temperatura interna al grano, presentando una variación de $26,3 \pm 0,4$ °C y una variación de la humedad relativa de $67,5 \pm 2,5$ %.

Los datos obtenidos por el laboratorio de granos no permitieron identificar diferencias significativas por la cantidad de muestras evaluadas en el laboratorio del CIGRAS, pero si se observó una tendencia de reducción del peso hectolítrico y de los factores de calidad, al compararse con el testigo.

Se concluyó que el *Rhyzopertha dominica* tiene una mayor resistencia a las DE, al presentar porcentajes de mortalidad y reducción de progenie menores que el *Sitophilus oryzae*.

La absorción de humedad del grano no fue un parámetro que influyera en las pérdidas de grano final, ya que no mostró diferencias significativas al determinar el cambio de contenido de humedad.

6. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio con diferentes tierras diatomeas de preferencia extraídas en el país, para determinar las DE que son más eficientes para el control de plagas en granos almacenados.

Cuando se obtenga la DE con mejores resultados, realizar una evaluación de la DE a diferentes temperaturas para determinar cómo afecta su eficacia y ver si efectivamente temperaturas mayores pueden mejorar los niveles de mortalidad de las diferentes plagas en análisis.

Realizar evaluaciones con diferentes granos almacenados y plagas que los atacan, ya que este es un factor que puede influir en la adherencia de las DE, por ende, influir en su eficacia.

Efectuar el estudio con insectos debidamente sexados para obtener un estudio de la generación de la progenie más exacto, y poder apreciar adecuadamente el efecto de las DE en las etapas larvales de las diferentes especies en análisis.

Evaluar la combinación de DE con otros aditivos para poder reducir las dosis de DE a aplicar y disminuir el tiempo de acción, además de reducir los efectos que tiene en la densidad aparente de los granos.

Realizar estudios de la eficacia de las DE a largo plazo para determinar si su eficacia varía con el tiempo.

7. REFERENCIAS

- Abadía, B., & Bartosik, R. (2013). *Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos*.
- ACBSA. (2015). *Normas de calidad para la comercialización de cereales y oleaginosas y tablas de mermas por secado*. 32.
- Acuña, A. (2013). *Evaluación de un método de control con deltametrina para minimizar el desarrollo de poblaciones de Rhyzopertha dominica (F) (Coleoptera, Bostrichidae) y Tribolium castaneum (Duval) (Coleoptera, Tenebrionidae) en arroz en granza*. Universidad de Costa Rica.
- Adarkwah, C., Obeng-Ofori, D., Ulrichs, C., & Schöller, M. (2017). Insecticidal efficacy of botanical food by-products against selected stored-grain beetles by the combined action with modified diatomaceous earth. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 124(3), 255–267. <https://doi.org/10.1007/s41348-016-0068-2>
- Aguilar, R., Oliveira, C., Matos, C., & Faroni, L. (2003). Uso do congelamento no controle de insetos-praga de graos armazenados. *Bisci. J., Uberlandia*, 19, 21–25.
- ALFALPI. (2020). *Diatomita Costalite 2 Kg*. <https://www.afalpi.com/products/137053/062580-diatomita-costalite-spill-control-2kg>
- Benavides, J. (2012). *Control de insectos para conservación de grano mediante Atmosfera Modificada con Nitrógeno Industrial en Arroz (Oryza sativa) y Maíz Blanco (Zea mays)*. Universidad de Costa Rica.
- Buonocore, E., Monaco, D., Russo, A., Aberlenc, H. P., & Garzia, G. T. (2017). Rhyzopertha dominica (F., 1792) (Coleoptera: Bostrichidae): a stored grain pest on olive trees in Sicily. *Journal Compilation*, 1–6. <https://doi.org/10.1111/epp.12383>
- Capris. (2021a). *AIR FORCE BM-2050 COMPRESOR DE AIRE HORIZONTAL 6.2CFM*. <https://capris.cr/air-force-bm-2050-compresor-de-aire-horizonta.html>
- Capris. (2021b). *Pistola para soplar aire hazet*. <https://capris.cr/searchengine/?category=54>
- Chanbang, Y., Arthur, F. H., Wilde, G. E., & Throne, J. E. (2007). Efficacy of diatomaceous earth to control Rhyzopertha dominica (F .) (Coleoptera: Bostrichidae) in rough rice: Impacts of temperature and relative humidity. *Crop Protection*, 26, 923–929. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.08.009>
- Chen, H. S. (2015). *Studies on Low-Toxic Sugar Ester Based Pesticides against Rhyzopertha Dominica*. The University of Adelaide.
- Chintzoglou, G., Athanassiou, C. G., & Arthur, F. H. (2008). Insecticidal effect of spinosad dust , in combination with diatomaceous earth , against two stored-grain beetle species. *Journal of Store Products Research*, 44, 347–353. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2008.03.005>
- Corrales, J., Villalobos, K., Vargas, A., Rodríguez, J., & González, A. (2017). *Principales plagas de artrópodos en el cultivo de arroz en Costa Rica: Guía ilustrada de artrópodos adultos en*

- campo y grano almacenado* (2da ed.). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/H10-10934.pdf>
- Cruz, J. E., Velázquez, T., Partida, L., Guerra, J. E., & Díaz, T. (2015). *Uso de tierra diatomea para el control de gorgojo del maíz, Sitophilus zeamais Motschulsky, en Sinaloa, México*. 3(5), 1038–1044.
- da Conceição, P. M., Faroni, L. R. A., Sousa, A. H., Pimentel, M. A. G., & Freitas, R. S. (2012). Diatomaceous earth effects on weevils with different susceptibility standard to phosphine. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(3), 309–313. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000300012>
- Davis, S. R. (2011). Rostrum structure and development in the rice weevil *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae: Dryophthoridae). *Arthropod Structure and Development*, 40, 549–558. <https://doi.org/10.1016/j.asd.2011.06.002>
- Delgarm, N., Ziaee, M., & McLaughlin, A. (2019). Enhanced-Efficacy Iranian Diatomaceous Earth for Controlling Two Stored-Product Insect Pests. *Journal of Economic Entomology*, 1–7. <https://doi.org/10.1093/jee/toz261>
- Edde, P. A. (2012). A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *Journal of Stored Products Research*, 48, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.08.007>
- Erturk, S., Ferizli, A. G., & Emekcl, M. (2017). Evaluation of diatomaceous earth formulations for the control of rice weevil, *Sitophilus oryzae* L., 1763 (Coleoptera: Curculionidae) in stored rice. *Turkiye Entomoloji Dergisi*, 41(3), 347–354. <https://doi.org/10.16970/entoted.307914>
- Fahad, S., Butt, M., Iqbal, A., Shaheen, N., Ali, S. A., Abrar, S., & Khan, I. (2018). Analyzing the genetic variability of rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptra; Curculionidae) in different geographic locations of district Charsadda 2018, Khyber Pakhtunkhwa (KP), Pakistan. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(3), 1117–1121.
- Faroni, L., & García Mari, F. (1992). Influencia de la temperatura sobre los parámetros biológicos de *Rhyzopertha dominica* (F.). *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 18(2), 455–467.
- FERPLAST. (2016). *DOSIFICADORES FLG DE COCLEAS*. <https://www.ferplast.com/es/productos/manipulacion-y-almacenamiento/paletas-de-plastico>
- Fusé, C. B., Villaverde, M. L., Padin, S. B., Giusto, D. E., & Juárez, M. P. (2013). *Evaluación de la actividad insecticida de tierras de diatomeas de yacimientos argentinos*. 39, 207–214.
- Gonçalves, J. R., Faroni, L., Carvalho, R., Ferreira, C., & Miranda, F. (2006). Associação de deltametrina com *Acarophenax lacunatus* e seu impacto sobre o desenvolvimento de *Rhyzopertha dominica*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 41(1), 1235–1240.
- Gorham, Ri. J. (1991). *Insect & Mite Pest in Food An Illustrated Key Volume I* (Vol. 1). U.S. Government Printing Office.
- Grains Research and Development Corporation. (2018). CEREAL RYE. In *GROWNOTES*.

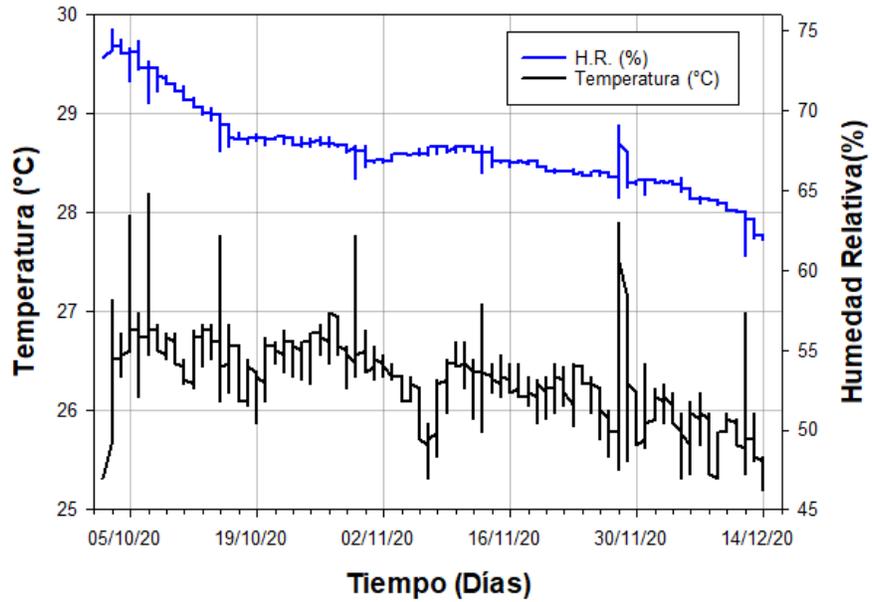
- Hamel, D., Rozman, V., & Liška, A. (2020). Storage of cereals in warehouses with or without pesticides. *Insects*, 11(12), 1–21. <https://doi.org/10.3390/insects11120846>
- Hangen, A. (2002). *Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la calidad de molienda y culinaria de tres variedades de arroz (oryza sativa) en silos experimentales con aireación con aire ambiente en condiciones de bajas temperaturas y altas humedades relativas*. Universidad de Costa Rica.
- INTA. (n.d.). *Proyecto Específico de Poscosecha-PRECOP II*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_informacin_sobre_insecticidas_aprobados_para_con.pdf
- Jian, F. (2019). Influences of stored product insect movements on integrated pest management decisions. *Insects*, 10(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/insects10040100>
- Jugudum, B., & Bukar, A. (2019). Efficacy of Different Diatomaceous Earth Formulation in Three Wheat Varieties Against the Lesser Grain Borer *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). *Acta Entomologica Serbica*, 24(1), XX–XX. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3238492>
- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Korunic, Z., & Mikeli, N. H. (2015). Evaluation of three novel diatomaceous earths against three stored-grain beetle species on wheat and maize. *Crop Protection*, 75, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.05.004>
- Korunic, Z, Liska, A., Lucic, P., Hamel, D., & Rozman, V. (2020). Evaluation of diatomaceous earth formulations enhanced with natural products against stored product insects. *Journal of Stored Products Research*, 86(101565). <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101565>
- Korunic, Zlatko. (2016). Overview of undesirable effects of using diatomaceous earths for direct mixing with grains. *Pestic. Phytomed. (Belgrade)*, 31(1–2), 9–18. <https://doi.org/10.2298/pif1602009k>
- Laguna, D., Pupo, C., González, G., & Espeek, A. (2016). Insectos plaga de granos almacenados. Impacto en la seguridad alimentaria del municipio Las Tunas, Cuba. *Revista de Las Agrociencias*, 23–32.
- León, J., & Arroyo, N. (2011). *Producción, Tecnología y Comercialización del Arroz en Costa Rica 1950-2005* (1st ed., Vol. 1). ISBN 978-9968-824-05.7
- Ley de Protección Fitosanitaria N°7664, 1 (1997). http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=43939&nValor3=92806&strTipM=TC
- Losic, D., & Korunic, Z. (2018). Instructions for Book Chapter Proofs. In *Diatom Nanotechnology: Progress and Emerging Applications* (The Royal, pp. 219–247). <https://doi.org/10.1039/9781782623618-00022>
- Maquirriain, H. (2017). *Neotoxoptera formosana (Takahashi) (Hemiptera : Aphidoidea): productos naturales para su control*. Universidad Nacional de la Plata.

- Marrero, L., Torrent, J., Velásquez, N., Socorro, V., & Ramírez, M. (2020). Eficacia de Tierra Diatomea para el control de Sitophilus zeamais Motschulsky en un silo metálico. *Revista de Protección Vegetal*, 35(1), 1–5.
- Decreto N° 26901_MEIC. Arroz pilado. Especificaciones y métodos de análisis, Pub. L. No. 26901, 1 (1998). https://www.cnp.go.cr/agronegocios/pai/normas_calidad_productos/Arroz_Pilado_RTCR_202-1998.pdf
- Modrego Hogar. (2021). *Espolvoreador matabi dorsal de fuelle polmax*. <https://www.modregohogar.com/jardineria/maquinaria-de-jardineria/fumigadores/pulverizador-a-presion/espolvoreador-matabi-dorsal-de-fuelle.html>
- Mora, J. (2013). *Efecto del enfriamiento artificial en el almacenamiento de arroz en granza (Oryza sativa L) respecto a la calidad del grano y costos operativos*. Universidad de Costa Rica.
- Nwaubani, S. I., Opit, G. P., Otitodun, G. O., & Adesida, M. A. (2014). Efficacy of two Nigeria-derived diatomaceous earths against Sitophilus oryzae (Coleoptera: Curculionidae) and Rhyzopertha dominica (Coleoptera: Bostrichidae) on wheat. *Journal of Stored Products Research*, 59, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.04.001>
- Pacheco, A., Sánchez, S., Guibert, G., & Suárez, M. (2008). Ciclo Biológico de Rhyzopertha dominica (F.) en semillas de arroz sometidas a cuatro temperaturas. *Fitosanidad*, 12, 221–225.
- Pascual, J., & Aguilar, M. (2007). *Plagas del arroz Almacenado en Andalucía* (Junta de Andalucía (ed.)). Lumen Gráfica, S.L. isbn: 978-84-8474-229-6
- Peréz, Y., Valdés, R., Castellanos, L., & Jiménez, R. (2018). Sitophilus oryzae L. (coleoptera: curculionidae) características, daños, reproducción y alternativas para su control. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 129–135.
- Perišić, V., Vuković, S., Perišić, V., Pešić, S., Vukajlović, F., Andrić, G., & Kljajić, P. (2018). Insecticidal activity of three diatomaceous earths on lesser grain borer, Rhyzopertha dominica F., and their effects on wheat, barley, rye, oats and triticale grain properties. *Journal of Stored Products Research*, 75, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.11.006>
- Plumier, B., Zhao, Y., Cook, S., & Ambrose, R. P. K. (2019). Adhesion of diatomaceous earth dusts on wheat and corn kernels. *Journal of Stored Products Research*, 83, 347–352. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.08.001>
- Rangel, L., Solano Rojas, Y., Hernández, D., De Padua, M., & Morales Sánchez, J. (2018). Calidad molinera de las variedades de arroz SD20a y payara 1FL, y su resistencia a Sitophilus oryzae (L.) y Rhyzopertha dominica (F.). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.980>
- Rojas, S. (2012). *Evaluación de la calidad del arroz en granza (Oryza sativa) almacenado en silo de Compañía Arrocera Industrial Río Claro*. Univeridad de Costa Rica.

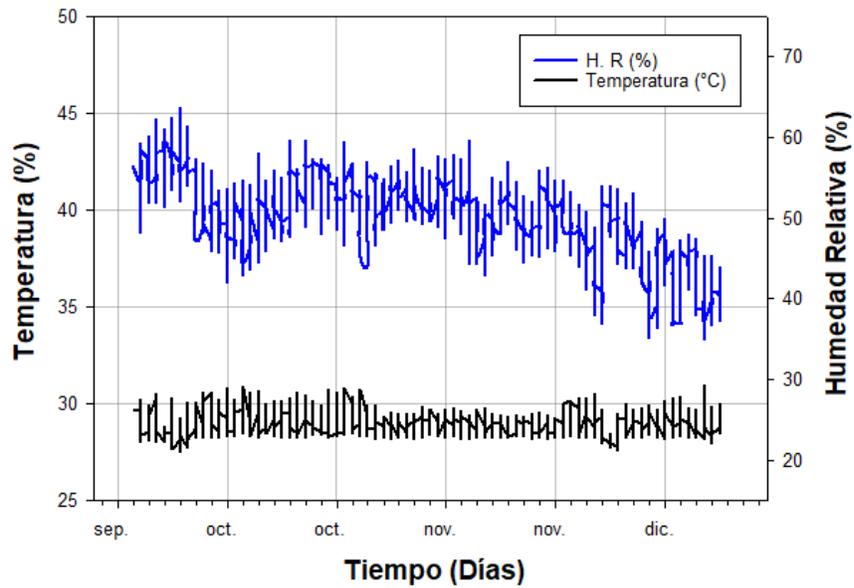
- Saeed, N., Farooq, M., Shakeel, M., & Ashraf, M. (2018). Effectiveness of an improved form of insecticide-based diatomaceous earth against four stored grain pests on different grain commodities. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(17), 17012–17024. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1835-3>
- ŞEN, R., Işıkber, A. A., Bozkurt, H., & SAĞLAM, Ö. (2019). Effect of temperature on insecticidal efficiency of local diatomaceous earth against stored-grain insects. *Turkiye Entomoloji Dergisi*, 43(4), 441–450. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.16970/entoted.581656>
- Servicio Fitosanitario del Estado (SFE). (2019). *Unidad de registro de agroquímicos y equipos de aplicación*.
- Silva, A., Faroni, L., Guedes, R., Martins, J., & Pimentel, M. (2003). Modelagem das perdas causadas por *Sitophilus zeamais* e *Rhyzopertha dominica* em trigo armazenado. *Revista Brasileira de Ingeniería Agrícola y Ambiental*, 7(2), 292–296. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200018>
- SUR. (2020). *Información Técnica*. http://www.gruposur.com/download/hojas_tecnicas/ht-556-53920-000.pdf
- TARNOS. (2021). *VIBRADORES ELECTROMAGNÉTICOS Y DOSIFICADORES VIBRANTES*. <https://www.tarnos.com/vibracion-de-solidos/vibradores-electromagneticos-y-dosificadores-vibrantes/>
- Torres, A., Torres, R., Valdez, C., Tijerina, M. de la P., Treviño, J., & Núñez, A. (2019). *Uso de tierras de diatomeas para protección de cereales contra plagas de insectos en almacén*. 4, 72–80.
- Umaña, R. (2020). *Entrevista Ingeniero CONARROZ*.
- Villaverde, M. L. (2014). *Lípidos y Feromonas de insectos plaga de granos almacenados*. 1–124.
- Wakil, W., Riasat, T., & Lord, J. C. (2013). Effects of combined thiamethoxam and diatomaceous earth on mortality and progeny production of four Pakistani populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera : Bostrichidae) on wheat , rice and maize. *Journal of Stored Products Research*, 52, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.09.002>
- Wakil, W., & Schmitt, T. (2015). Field trials on the efficacy of *Beauveria bassiana*, diatomaceous earth and Imidacloprid for the protection of wheat grains from four major stored grain insect pests. *Journal of Stored Products Research*, 64, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.10.008>
- Walkil, W., Ghazanfar, U., Yasin, M., & Jung, Y. (2015). Efficacy of *Metarhizium anisopliae* combined with diatomaceous earth against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. *Revista Colombiana de Entomología*, 41(1), 81–86.
- Wappner, P., & Quesada-Allué, L. A. (1995). *Mecanismos moleculares involucrados en la esclerotización de la cutícula de los insectos*.

ANEXOS

Anexo 1. Registro de temperatura y humedad relativa durante todo el bioensayo, (a) dentro del grano y (b) fuera del grano.



a)



b)

Anexo 2. Datos de calibración maquina procesadora de arroz GranEL con variedad de arroz en granza Lazarroz FL.

Peso inicial (g)	Descascarado		Arroz integral (%)	Pulido (2,5 min)		Pulido (3 min)		Arroz pulido (%)	Pérdida total molienda
	Pérdida (g)	Pérdida (%)		Pérdida (g)	Pérdida (%)	Pérdida (g)	Pérdida (%)		
100.82	23.49	23.30	76.89	7.93	10.25			88.57	30.97
100.20	22.26	22.22	77.83	7.73	9.92			88.99	29.89
100.28	19.62	19.57	80.49			10.44	14.87	85.13	29.92
100.15	20.51	20.48	79.55			14.26	21.81	78.19	34.69
100.22	22.90	22.85	77.20	7.63	9.87			89.05	30.41
100.30	23.08	23.01	77.06	7.89	10.22			88.62	30.81
100.24	27.04	26.98	73.09	8.04	10.98			87.66	34.93
100.37	15.24	15.18	84.87						
100.14	20.10	20.07	79.96						
100.24	21.10	21.05	79.00						
100.23	21.61	21.56	78.49			8.49	10.80	89.27	29.98
100.05	21.91	21.90	78.11			8.64	11.06	87.68	30.52
100.48	21.27	21.17	78.93			8.34	10.53	88.00	29.37
100.03	22.25	22.24	77.76			8.37	10.76	88.19	30.60
100.10	21.35	21.33	78.69			8.55	10.86	87.68	29.85
100.32	22.29	22.22	77.85			8.63	11.06	87.71	30.75

Anexo 3. Pérdidas generadas en el proceso de molienda.

Variedad	Descascarado		Arroz Integral (%)	Pulido		Arroz Pulido (%)
	Cáscara (%)	Pérdida (%)		Semolina (%)	Pérdida (%)	
Fedearroz	20.4	0.4	79.2	11.1	0.6	83.3
CR-1821	22.2	0.5	77.3	9.8	0.6	89.6
CR-4338	21.5	0.5	78.0	9.5	0.6	89.9
Rango pérdidas	20.4-22.2	0.4-0.5	77.3-78.0	9.5-11.1	0.6	88.3-89.9

Fuente: (Hangen, 2002).

Anexo 4. Equipos necesarios para la implementación de DE en silos de almacenamiento de granos.

Espolvoreador dorsal de fuelle POLMAX 9	
Descripción	
Capacidad tanque	9 litros
Dosificador	Polvos, fungicidas, etc.
Dimensiones	55 cm x 41 cm x 23 cm
Peso bruto	3,47 kg
Salida de tubo flexible	
Precio	₡ 44 150
Venta	Modrego Hogar



Fuente: (Modrego Hogar, 2021)

Pistola aire neumática HAZET 9043N-10	
Descripción	
Presión máxima de trabajo	10,34 bar
Flujo máximo aire	3,3 CFM
Material	Metal
Peso	1.56 kg
Dimensiones	29,5 cm x 31,8 cm x 8,7 cm
Tipo de boquilla	Corta
Funciones	Aspirado y Succión
Precio	₡ 71 167
Venta	CAPRIS



Fuente: (Capris, 2021b)

Compresor aire horizontal AIR FORCE BM-2050	
Descripción	
Potencia	2 HP
Capacidad	178 L/min
Cilindro	47x1 mm
Velocidad	2800 r/min
Presión	8 bar
Caudal de aire	1-6 CFM
Tanque	50 litros
Dimensiones	67,71 cm x 41,91 cm x 69,85 cm
Peso	33 kg
Precio	₺ 155 521
Venta	CAPRIS



Fuente: (Capris, 2021a).

DOSIFICADORES DE COCLEAS FLG-500A	
Descripción	
Potencia	700 W
Velocidad	400-6000 ml/min
Voltaje	220 V
Velocidad	2800 r/min
Dimensiones	850x500 mm
Material	Acero inoxidable
Altura sin soporte	1600 mm
Precio	₺ 4,216,821.00
Venta	FERPLAST



Fuente:(FERPLAST, 2016).

Anexo 5. Código implementado para control de temperatura mediante Arduino.

```
#include <PID_v1.h>
#include <DHT.h>
#include <LiquidCrystal.h>
int rele=10; //pin del rele
int SENSOR = 11; //pin digital del sensor de
humedad
int VENTILADOR = 12; // pin del ventilador
int VO = 3;
int RS = 4;
```

```

int RW =5;

int E = 6;

int D4 = 7;

int D6 = 8;

LiquidCrystal lcd (VO, RS, RW, E, D4, D6);

int humedad;

int temp;

double Setpoint, Input, Output;

double Kp=5, Ki=1, Kd=5;  /// parametros
de uso (velocidad de respuesta)

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp,
Ki, Kd, DIRECT);

DHT dht (SENSOR, DHT11);

unsigned long intervaloestado1=1000;
//actualiza los datos

unsigned long previomillisestado1=0;

unsigned long intervaloestado2=2000;// lee
el sensor

unsigned long previomillisestado2=0;

unsigned long
intervaloestado3=10000;//determina el
calentamiento

unsigned long previomillisestado3=0;

unsigned long intervaloestado4=11000; //
determina el enfriamiento

unsigned long previomillisestado4=0;

unsigned long intervaloestado5=3000;
//cambia pantalla

```

```

unsigned long previomillisestado5=0;

unsigned long
respuestaultimatemperatura=0;

unsigned long ultimoPIDcalculado=0;

int estadoactual=0;

#define estadonulo 0

#define estado1 1

#define estado2 2

#define estado3 3

#define estado4 4

#define estado5 5

int displaywindow=0; // guarda la ventana
de datos

#define lcdbienvenida 0

#define lcdsensor 1

#define lcdestado 2

void setup()
{
    lcd.begin(16, 2);

    //analogWrite(VO, 50); //contraste

    dht.begin();

    pinMode(rele,OUTPUT);

    digitalWrite(rele,HIGH);

    pinMode(VENTILADOR,OUTPUT);

    digitalWrite(VENTILADOR,HIGH);

    Setpoint = 27; // valor que se quiere
mantener

```

```

    myPID.SetOutputLimits(0,
intervaloestado3); //enciende en ciclos
establecidos en tiempo de encendido

//myPID.SetSampleTime
(intervalo); //frecuencia con que se evalúa el
algoritmo de encendido

    myPID.SetMode(AUTOMATIC); //enciende
el PID
}

void loop(){
    controlestado();

    estado();
}

void controlestado(){
    unsigned long millisactual=millis();

    if(((millisactual-
previomillisestado1)>=intervaloestado1)&&
(estadoactual==estadonulo))
    {
        previomillisestado1=millisactual;

        estadoactual=estado1;
    }

    if(((millisactual-
previomillisestado2)>=intervaloestado2)&&
(estadoactual==estadonulo))
    {
        previomillisestado2=millisactual;

        estadoactual=estado2;
    }
}

```

```

if(((millisactual-
previomillisestado3)>=intervaloestado3)&&
(estadoactual==estadonulo))
{
    previomillisestado3=millisactual;

    estadoactual=estado3;
}

    if(((millisactual-
previomillisestado4)>=intervaloestado4)&&
(estadoactual==estadonulo))
    {
        previomillisestado4=millisactual;

        estadoactual=estado4;
    }

    if(((millisactual-
previomillisestado5)>=intervaloestado5)&&
(estadoactual==estadonulo))
    {
        previomillisestado5=millisactual;

        estadoactual=estado5;
    }
}

void estado(){
    switch(estadoactual){

        case estadonulo:

            break;

        case estado1:

            estadouno();
    }
}

```

```

    break;
case estado2:
    estadodos();
    break;
case estado3:
    estadotres();
    break;
case estado4:
    estadocuatro();
    break;
case estado5:
    estadocinco();
    break;
}
if(estadoactual != estadonulo)
estadoactual=estadonulo;
}
void estadouno(){// permite actualizar los
datos
switch (displaywindow)
{
case lcdbienvenida:
    displaybienvenida();
    break;
case lcdsensor:
    displayDHT11();
    break;
case lcdestado:
    displayestado();
    break;
}
}
void estadodos(){ // lee el sensor
    humedad = dht.readHumidity();
    temp = dht.readTemperature();
}
void estadotres(){ // controla el rele
    if(millis()-
    respuestaultimatemperatura>=intervaloest
    ado3){
        int temperatura = dht.readTemperature();
        Input=(double)temperatura;
        myPID.Compute(); /// llama al PID
        ultimoPIDcalculado=millis();
        dht.readTemperature(); // lee la
        temperatura
        respuestaultimatemperatura=millis();
    }
    if(millis())<=(ultimoPIDcalculado+rele),Input
    <Setpoint){
        digitalWrite(rele, LOW);//enciende el rele
    }
}

```

```

else{
    digitalWrite(rele, HIGH); //apaga el rele
}
}

void estadocuatro(){ // lee el sensor
    temp = dht.readTemperature();
    if(temp>Setpoint){
        digitalWrite(VENTILADOR,
LOW);//enciende el rele
    }
    if(temp<=Setpoint){
        digitalWrite(VENTILADOR, HIGH); //apaga
el rele
    }
}

void estadocinco(){ //desplaza lo mostrado
en la pantalla
    switch (displaywindow){
        case lcdbienvenida:
            cleanDisplay();
            displaywindow=lcdsensor;
            break;
        case lcdsensor:
            cleanDisplay();
            displaywindow=lcdestado;
            break;
        case lcdestado:
            cleanDisplay();
            displaywindow=lcdsensor;
            break;
        default:
            break;
    }
}

void displaybienvenida(){ // barra de
progreso inicializar da tiempo para que el
sensor se estabilice
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.print("Iniciando...");
}

void displayDHT11(){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("T: ");
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.print(temp);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(8,0);
    lcd.print("HR: ");
    lcd.setCursor(11,0);
    lcd.print(humedad);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Tcontrol: ");
}

```

```

    lcd.print(Setpoint);
    lcd.print("C");
}
void displayestado(){
    temp = dht.readTemperature();
    lcd.clear();
    if (temp<Setpoint){
        lcd.setCursor(1,0);
        lcd.print("Calentando: ");
        lcd.print("On");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Ventilador: ");
        lcd.print("Off");}
    if (temp>Setpoint){
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Ventilador: ");
        lcd.print("On");
        lcd.setCursor(1,0);
        lcd.print("Calentando: ");
        lcd.print("Off");}
}
void cleanDisplay(){
    lcd.clear ();
}
    lcd.print("On");
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Calentando: ");
    lcd.print("Off");}
    if (temp==Setpoint){
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Ventilador: ");
        lcd.print("Off");}
        lcd.setCursor(1,0);
        lcd.print("Calentando: ");
        lcd.print("Off");}
    }
    void cleanDisplay(){
        lcd.clear ();
    }

```

Anexo 5. Análisis estadístico

Rhizopertha dominica mortalidad a los 2 días:

Análisis de varianza de una vía.

Viernes, enero 01, 2021

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó (P = 0,431).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó (P = 0,355).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación Estándar	Error Típico
0	5	0,40	0,55	0,24
500	5	2,40	0,89	0,40
750	5	0,20	0,45	0,20
900	5	2,60	1,81	0,81
1500	5	2,00	1,00	0,45

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	P
Entre grupos	4	25,84	6,46	5,768	0,003
Residual	20	22,40	1,12		
Total	24	48,24			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,003$). Potencia de la prueba realizada con $\alpha = 0,050$: 0,892

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0.050
900 vs 750	2,4	5,071	0,014	Si
900 vs 0	2,2	4,648	0,027	Si
900 vs 1500	0,6	1,268	0,895	No
900 vs 500	0,2	0,423	0,998	No testeada
500 vs 750	2,2	4,648	0,027	Si
500 vs 0	2,0	4,226	0,051	No
500 vs 1500	0,4	0,845	0,974	No testeada
1500 vs 750	1,8	3,803	0,091	No
1500 vs 0	1,6	3,381	0,159	No testeada
0 vs 750	0,2	0,423	0,998	No testeada

***Rhizopertha dominica* mortalidad a los 5 días:**

Análisis de una vía de Kruskal-Wallis

Jueves, diciembre 03, 2020.

Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk): Falló ($P < 0.050$).

Tratamiento	N	Media	25%	75%
0	5	2	1	2,0
500	5	1	1	3,5
750	5	2	1	4,5
900	5	1	1	3,0
1500	5	4	3	4,5

$H = 7,062$ Con 4 grados de libertad ($P = 0,133$). Las diferencias en los valores medianos entre los grupos de tratamiento no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad aleatoria del muestreo; no hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,133$).

Rhizopertha domina mortalidad a los 7 días:

Análisis de una vía de Kruskal-Wallis

Jueves, diciembre 03, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Falló ($P < 0,050$).

Tratamiento	N	Media	25%	75%
0	5	1,0	1,0	3,0
500	5	2,0	1,0	2,0
750	5	3,0	2,0	3,0
900	5	2,0	1,0	2,5
1500	5	4,0	3,0	5,0

$H = 11,390$ con 4 grados de libertad, ($P = 0,023$). Las diferencias en los valores de la mediana entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,023$).

Comparación	Diferencia de rangos	q	P	P<0,050
1500 vs 500	63,5	3,859	0,050	Si
1500 vs 0	59,0	3,585	0,083	No
1500 vs 900	57,0	3,464	0,103	No testeada
1500 vs 750	30,5	1,853	0,685	No testeada
750 vs 500	33,0	2,005	0,616	No
750 vs 0	28,5	1,732	0,737	No testeada
750 vs 900	26,5	1,610	0,786	No testeada
900 vs 500	6,5	0,395	0,999	No testeada
900 vs 0	2,0	0,122	1,000	No testeada
0 vs 500	4,5	0,273	1,000	No testeada

Rhizopertha domina mortalidad a los 14 días:

One Way Analysis of Variance

Viernes, enero 01, 2021

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó ($P = 0,563$).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó ($P = 0,448$).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	5	2,6	1,673	0,748
500	5	4,8	2,775	1,241
750	5	6,0	2,449	1,095
900	5	7,0	1,225	0,548
1500	5	7,6	2,302	1,030

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	78,8	19,70	4,227	0,012
Residual	20	93,2	4,66		
Total	24	172,0			

Las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,012$). Potencia de la prueba realizada con $\alpha = 0,050$: 0,727.

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0.050
1500 vs 0	5,0	5,179	0,012	Si
1500 vs 500	2,8	2,900	0,279	No
1500 vs 750	1,6	1,657	0,767	No testeada
1500 vs 900	0,6	0,622	0,992	No testeada
900 vs 0	4,4	4,558	0,031	Si
900 vs 500	2,2	2,279	0,508	No testeada
900 vs 750	1,0	1,036	0,946	No testeada
750 vs 0	3,4	3,522	0,133	No
750 vs 500	1,2	1,243	0,901	No testeada
500 vs 0	2,2	2,279	0,508	No testeada

***Sitophilus oryzae* mortalidad a los 2 días:**

One Way Analysis of Variance

Jueves, diciembre 03, 2020,

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó ($P = 0,191$).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe) Pasó ($P = 0,355$).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	5	1,4	0,894	0,400
500	5	1,8	1,304	0,583
750	5	1,2	1,095	0,490
900	5	2,6	1,673	0,748
1500	5	3,8	1,643	0,735

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	22,56	5,64	3,065	0,04
Residual	20	36,80	1,84		
Total	24	59,36			

Las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,040$). Potencia de la prueba realizada con $\alpha = 0,050$: 0,510.

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0,050
1500 vs 750	2,6	4,286	0,046	Si
1500 vs 0	2,4	3,956	0,074	No
1500 vs 500	2,0	3,297	0,176	No testada
1500 vs 900	1,2	1,978	0,635	No testada
900 vs 750	1,4	2,308	0,496	No
900 vs 0	1,2	1,978	0,635	No testada
900 vs 500	0,8	1,319	0,881	No testada
500 vs 750	0,6	0,989	0,954	No testada
500 vs 0	0,4	0,659	0,990	No testada
0 vs 750	0,2	0,330	0,999	No testada

***Sitophilus oryzae* mortalidad a los 5 días:**

Análisis de una vía de Kruskal-Wallis

Jueves, diciembre 03, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Falló ($P < 0.050$).

Tratamiento	N	Media	25%	75%
0	5	2	0,0	3,5
500	5	4	2,5	6,0
750	5	3	2,5	5,0
900	5	5	4,0	5,5
1500	5	7	6,5	11,0

$H = 11,390$ con 4 grados de libertad ($P = 0,005$). Las diferencias en los valores de la mediana entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,005$).

Comparación	Diferencia de Rangos	Q	P	P<0,050
1500 vs 0	85,0	5,165	0,002	Si
1500 vs 750	61,0	3,707	0,067	No
1500 vs 500	50,5	3,069	0,191	No testeada
1500 vs 900	38,5	2,339	0,463	No testeada
900 vs 0	46,5	2,826	0,267	No
900 vs 750	22,5	1,367	0,870	No testeada
900 vs 500	12,0	0,729	0,986	No testeada
500 vs 0	34,5	2,096	0,574	No testeada
500 vs 750	10,5	0,638	0,991	No testeada
750 vs 0	24,0	1,458	0,841	No testeada

Sitophilus oryzae mortalidad a los 7 días:

Análisis de una vía de Kruskal-Wallis

Jueves, diciembre 03, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó (P = 0,417).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Falló (P < 0,050).

Tratamiento	N	Media	25%	75%
0	5	1	0,0	2,0
500	5	2	1,0	3,0
750	5	2	1,0	4,5
900	5	5	3,5	7,5
1500	5	9	4,5	13,0

H = 11,390 con 4 grados de libertad, (P = 0,003). Las diferencias en los valores de la mediana entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = 0,003).

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0.050
1500 vs 0	80,0	4,861	0,005	Si
1500 vs 500	61,5	3,737	0,063	No
1500 vs 750	52,5	3,190	0,160	No testeada
1500 vs 900	16,0	0,972	0,959	No testeada
900 vs 0	64,0	3,889	0,047	Si
900 vs 500	45,5	2,765	0,288	No testeada
900 vs 750	36,5	2,218	0,518	No testeada
750 vs 0	27,5	1,671	0,762	No
750 vs 500	9,0	0,547	0,995	No testeada
500 vs 0	18,5	1,124	0,932	No testeada

Sitophilus oryzae mortalidad a los 14 días:

Análisis de varianza de una vía

Jueves, diciembre 03, 2020.

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó (P = 0,066).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó (P = 0,375).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	5	3,4	2,191	0,980
500	5	6,0	2,550	1,140
750	5	10,0	1,871	0,837
900	5	11,6	2,702	1,208
1500	5	13,8	4,324	1,934

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	355,76	88,94	10,9	<0,001
Residual	20	163,2	8,16		
Total	24	518,96			

Las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001). Potencia de la prueba realizada con alfa = 0,050: 0,998

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0.050
1500 vs 0	10,4	8,141	<0,001	Si
1500 vs 500	7,8	6,106	0,003	Si
1500 vs 750	3,8	2,975	0,257	No
1500 vs 900	2,2	1,722	0,742	No testeada
900 vs 0	8,2	6,419	0,002	Si
900 vs 500	5,6	4,384	0,040	Si
900 vs 750	1,6	1,252	0,899	No testeada
750 vs 0	6,6	5,166	0,012	Si
750 vs 500	4,0	3,131	0,215	No
500 vs 0	2,6	2,035	0,611	No

Rhizopertha domina natalidad a los 15 días:

Análisis de una vía de Kruskal-Wallis

Lunes, diciembre 14, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Falló ($P < 0,050$).

Tratamiento	N	Media	25%	75%
0	5	9	6,5	10,0
500	5	6	5,0	9,0
750	5	5	4,0	9,0
900	5	7	6,5	9,5
1500	5	3	1,5	4,5

H = 11,390 con 4 grados de libertad, ($P = 0,024$). Las diferencias en los valores de la mediana entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,024$).

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0,050
0 vs 1500	70,0	4,254	0,022	Si
0 vs 750	32,0	1,944	0,644	No
0 vs 500	23,5	1,428	0,851	No testeada
0 vs 900	7,0	0,425	0,998	No testeada
900 vs 1500	63,0	3,828	0,053	No
900 vs 750	25,0	1,519	0,82	No testeada
900 vs 500	16,5	1,003	0,954	No testeada
500 vs 1500	46,5	2,826	0,267	No testeada
500 vs 750	8,5	0,516	0,996	No testeada
750 vs 1500	38,0	2,309	0,476	No testeada

Rhizopertha domina natalidad a los 30 días:

Análisis de varianza de una vía

Lunes, diciembre 14, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó (P = 0,145).

Prueba igualdad de varianzas (Brown-Forsythe): Pasó (P = 0,075).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	5	3,8	0,837	0,374
500	5	0,6	0,894	0,400
750	5	2,0	1,414	0,632
900	5	0,6	0,548	0,245
1500	5	1,6	1,140	0,510

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	34,64	8,66	8,49	<0,001
Residual	20	20,40	1,02		
Total	24	55,04			

Las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001). Potencia de la prueba realizada con alfa = 0,050: 0,985

Comparación	Diferencia de Rangos	Q	P	P<0.050
0 vs 900	3,2	7,085	<0,001	Si
0 vs 500	3,2	7,085	<0,001	Si
0 vs 1500	2,2	4,871	0,019	Si
0 vs 750	1,8	3,985	0,071	No
750 vs 900	1,4	3,1	0,223	No
750 vs 500	1,4	3,1	0,223	No testeada
750 vs 1500	0,4	0,886	0,969	No testeada
150 vs 900	1,0	2,214	0,535	No testeada
1500 vs 500	1,0	2,214	0,535	No testeada
500 vs 900	0,0	0	1	No testeada

Rhizopertha domina natalidad a los 45 días:

Análisis de una vía de Kruskal-Wallis

Lunes, diciembre 14, 2020.

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó ($P = 0,999$).

Prueba igualdad de varianzas (Brown-Forsythe): Falló ($P < 0,050$).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	4	21,0	12,25	26,00
500	4	4,0	3,25	6,25
750	4	33,5	26,75	41,75
900	4	13,5	2,00	26,50
1500	4	4,5	3,25	7,25

$H = 11,390$ con 4 grados de libertad, ($P = 0,012$). Las diferencias en los valores de la mediana entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,012$).

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	$P < 0,050$
750 vs 500	51,0	4,310	0,020	Si
750 vs 1500	47,5	4,014	0,037	Si
750 vs 900	30,5	2,578	0,360	No
750 vs 0	18,5	1,564	0,804	No testeada
0 vs 500	32,5	2,747	0,295	No
0 vs 1500	29,0	2,451	0,414	No testeada
0 vs 900	12,0	1,014	0,953	No testeada
900 vs 500	20,5	1,733	0,737	No testeada
900 vs 1500	17,0	1,437	0,848	No testeada
1500 vs 500	3,5	0,296	1,000	No testeada

Rhizopertha domina natalidad a los 60 días:

Análisis de varianza de una vía

Lunes, diciembre 14, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó (P = 0,766).

Prueba igualdad de varianzas (Brown-Forsythe); Pasó (P = 0,549).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	4	142,75	19,311	9,656
500	4	63,25	26,196	13,098
750	4	142,00	13,342	6,671
900	4	95,75	25,145	12,572
1500	4	58,75	13,276	6,638

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	26642	6660,50	16,28	<0,001
Residual	15	6137	409,13		
Total	19	32779			

Las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).

Potencia de la prueba realizada con alfa = 0,050: 1,000

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0.050
0 vs 1500	84,00	8,306	<0,001	Si
0 vs 500	79,50	7,861	<0,001	Si
0 vs 900	47,00	4,647	0,035	Si
0 vs 750	0,75	0,074	1,000	No
750 vs 1500	83,25	8,232	<0,001	Si
750 vs 500	78,75	7,787	<0,001	Si
750 vs 900	46,25	4,573	0,038	Si
900 vs 1500	37,00	3,658	0,123	No
900 vs 500	32,50	3,214	0,207	No testeado
500 vs 1500	4,50	0,445	0,998	No testeado

Sitophilus oryzae natalidad a los 15 días:

Análisis de una vía de Kruskal-Wallis

Lunes, diciembre 14, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Falló ($P < 0,050$)

Tratamiento	N	Media	25%	75%
0	5	5,0	3,0	7,5
500	5	0,0	0,0	1,0
750	5	0,0	0,0	0,5
900	5	0,0	0,0	0,0
1500	5	0,0	0,0	0,0

H = 11,390 con 4 grados de libertad, ($P = 0,001$). Las diferencias en los valores de la mediana entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,001$).

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0,050
0 vs 1500	70	4,254	0,022	Si
0 vs 900	70	4,254	0,022	Si
0 vs 750	60	3,646	0,074	No
0 vs 500	50	3,038	0,200	No testeado
500 vs 1500	20	1,215	0,912	No
500 vs 900	20	1,215	0,912	No testeado
500 vs 750	10	0,608	0,993	No testeado
750 vs 1500	10	0,608	0,993	No testeado
750 vs 900	10	0,608	0,993	No testeado
900 vs 1500	0	0,000	1,000	No testeado

Sitophilus oryzae natalidad a los 30 días:

Análisis de varianza de una vía

Lunes, diciembre 14, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó ($P = 0,156$).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó ($P = 0,424$).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico	
0	5	43,6	9,711	4,343	
500	5	33,2	12,775	5,713	
750	5	27,6	8,678	3,881	
900	5	23,4	13,069	5,845	
1500	5	16,2	8,228	3,680	

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	2138,80	534,70	4,68	0,008
Residual	20	2285,20	114,26		
Total	24	4424,00			

Las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = 0,008).

Potencia de la prueba realizada con alfa = 0,050: 0,789

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0.050
0 vs 1500	27,4	5,732	0,005	Si
0 vs 900	20,2	4,226	0,051	No
0 vs 750	16,0	3,347	0,166	No testeado
0 vs 500	10,4	2,176	0,551	No testeado
500 vs 1500	17,0	3,556	0,127	No
500 vs 900	9,8	2,050	0,605	No testeado
500 vs 750	5,6	1,171	0,919	No testeado
750 vs 1500	11,4	2,385	0,464	No testeado
750 vs 900	4,2	0,879	0,970	No testeado
900 vs 1500	7,2	1,506	0,822	No testeado

Sitophilus oryzae natalidad a los 45 días:

Análisis de varianza de una vía

Lunes, diciembre 14, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó (P = 0,278).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó (P = 0,127).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	5	161,6	27,853	12,456
500	5	71,6	11,887	5,316
750	5	61,0	14,883	6,656
900	5	32,0	13,304	5,950
1500	5	10,0	5,431	2,429

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	67400,16	16850,04	62,635	<0,001
Residual	20	5380,40	269,02		
Total	24	72780,56			

Las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).

Potencia de la prueba realizada con alfa = 0,050: 1,000

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0.050
0 vs 1500	151,6	20,668	<0,001	Si
0 vs 900	129,6	17,668	<0,001	Si
0 vs 750	100,6	13,715	<0,001	Si
0 vs 500	90,0	12,27	<0,001	Si
500 vs 1500	61,6	8,398	<0,001	Si
500 vs 900	39,6	5,399	0,009	Si
500 vs 750	10,6	1,445	0,842	No
750 vs 1500	51,0	6,953	<0,001	Si
750 vs 900	29,0	3,954	0,074	No
900 vs 1500	22,0	2,999	0,250	No

Sitophilus oryzae natalidad a los 60 días:

Análisis de varianza de una vía

Lunes, diciembre 14, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó (P = 0,081).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó (P = 0,072).

Tratamiento (ppm)	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	34,2	10,208	4,565
500	12,6	2,302	1,030
750	8,2	4,868	2,177
900	2,2	2,280	1,020
1500	1,4	2,608	1,166

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	3578,24	894,56	30,804	<0,001
Residual	20	580,80	29,04		
Total	24	4159,04			

Las diferencias de los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001). Potencia de la prueba realizada con alfa = 0,050: 1,000

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0.050
0 vs 1500	32,8	13,610	<0,001	Si
0 vs 900	32,0	13,278	<0,001	Si
0 vs 750	26,0	10,788	<0,001	Si
0 vs 500	21,6	8,963	<0,001	Si
500 vs 1500	11,2	4,647	0,027	Si
500 vs 900	10,4	4,315	0,044	Si
500 vs 750	4,4	1,826	0,700	No
750 vs 1500	6,8	2,822	0,304	No
750 vs 900	6,0	2,490	0,422	No testeado
900 vs. 1500	0,8	0,332	0,999	No testeado

Peso hectolítrico

Análisis de varianza de una vía

Lunes, abril 26, 2021

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó ($P = 0,211$).**Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó** ($P = 0,867$).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	3	576,700	2,017	1,165
500	3	575,723	1,474	0,851
750	3	577,393	1,772	1,023
900	3	577,527	2,085	1,204
1,500	3	575,327	3,657	2,111

Fuente variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	11,599	2,900	0,535	0,714
Residual	10	54,202	5,420		
Total	14	65,801			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad aleatoria del muestreo; no hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,714$). Potencia de la prueba realizada con $\alpha = 0,050$: 0,050.

Análisis de varianza de una vía

Lunes, abril 26, 2021

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó ($P = 0.907$)**Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó** ($P = 0.592$)

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	3	582,023	4,373	2,525
500	3	570,557	4,211	2,431
750	3	576,227	0,577	0,333
900	3	575,267	2,272	1,312
1500	3	573,820	1,779	1,027

Fuente variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	211,093	52,773	5,797	0,011
Residual	10	91,040	9,104		

Total 14 302,133

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = 0,011).

Potencia de la prueba realizada con alfa = 0,050: 0,804

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0,050
0 vs 500	11,46	6,582	0,006	Si
0 vs 1500	8,203	4,709	0,047	Si
0 vs 900	6,757	3,879	0,116	No
0 vs 750	5,797	3,328	0,206	No testeado
750 vs 500	5,670	3,255	0,221	No
750 vs 1500	2,407	1,382	0,860	No testeado
750 vs 900	0,960	0,551	0,994	No testeado
900 vs 500	4,710	2,704	0,371	No testeado
900 vs 1500	1,447	0,830	0,974	No testeado
1500 vs 500	3,263	1,873	0,684	No testeado

Contenido de humedad Stelite:

Análisis de una vía de Kruskal-Wallis

miércoles, mayo 05, 2020

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Falló (P < 0,050)

Grupo	N	Median	25%	75%
0	15	13,9	12,9	14,3
500	15	13,8	13,5	14,1
750	15	14,0	13,2	14,4
900	15	14,0	13,8	14,2
1500	15	13,9	13,2	14,4
1	7	12,5	12,4	12,6

H = 16,916 con 5 grados de libertad (P = 0,005). Las diferencias en los valores de la mediana entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = 0,005).

Todos los procedimientos de comparación múltiple por pares (método de Dunn).

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0.050
750 vs 1	41,081	3,768	0,002	Si

750 vs 0	9,700	1,115	1,000	No
750 vs 500	6,033	0,694	1,000	No testeado
750 vs 1500	3,300	0,379	1,000	No testeado
750 vs 900	2,067	0,238	1,000	No testeado
900 vs 1	39,014	3,579	0,005	Si
900 vs 0	7,633	0,878	1,000	No testeado
900 vs 500	3,967	0,456	1,000	No testeado
900 vs 1500	1,233	0,142	1,000	No testeado
1500 vs 1	37,781	3,466	0,008	Si
1500 vs 0	6,400	0,736	1,000	No testeado
1500 vs 500	2,733	0,314	1,000	No testeado
500 vs 1	35,048	3,215	0,020	Si
500 vs 0	3,667	0,422	1,000	No testeado
0 vs 1	31,381	2,879	0,060	Si

Análisis de varianza de una vía

miércoles, mayo 05, 2021

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó (P = 0,865).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó (P = 0,391).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	15	13,540	0,325	0,084
500	15	13,387	0,501	0,129
750	15	13,353	0,348	0,090
900	15	13,180	0,303	0,0782
1500	15	13,347	0,563	0,145
1	7	12,586	0,241	0,091

Fuente variación	GL	SC	CM	F	P
Entre Grupos	5	4,837	0,967	5,762	<0,001
Residual	7	612,761	0,168		
Total	81	17,598			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001). Potencia de la prueba realizada con alfa = 0,050: 0,970

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0,050
0 vs 1	0,954	7,195	<0,001	Si
0 vs 900	0,36	3,403	0,167	No
0 vs 1500	0,193	1,827	0,788	No testeado
0 vs 750	0,187	1,764	0,812	No testeado
0 vs 500	0,153	1,449	0,908	No testeado
500 vs 1	0,801	6,039	<0,001	Si
500 vs 900	0,207	1,953	0,738	No testeado
500 vs 1500	0,040	0,378	1	No testeado
500 vs 750	0,033	0,315	1	No testeado
750 vs 1	0,768	5,788	0,002	Si
750 vs 900	0,173	1,638	0,855	No testeado
750 vs 1500	0,006	0,063	1	No testeado
1500 vs 1	0,761	5,738	0,002	Si
1500 vs 900	0,167	1,575	0,874	No testeado
900 vs 1	0,594	4,481	0,026	Si

Pérdidas de peso

Análisis de varianza de una vía

Sábado, enero 02, 2021

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó (P = 0,077).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó (P = 0,984).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	4	1,5	1,291	0,645
500	4	4,25	0,957	0,479
750	4	4,75	1,258	0,629
900	4	3,25	1,5	0,75
1500	4	2,5	1,291	0,645

Fuente variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	27,5	6,875	4,253	0,017
Residual	15	24,25	1,617		
Total	19	51,75			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por casualidad; hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,017$). Poder de la prueba realizada con $\alpha = 0,050$: 0,693.

Comparación	Diferencia de Rangos	q	P	P<0,050
750 vs 0	3,250	5,112	0,018	Si
750 vs 1500	2,250	3,539	0,142	No
750 vs 900	1,500	2,359	0,480	No testeado
750 vs 500	0,500	0,786	0,980	No testeado
500 vs 0	2,750	4,326	0,053	No
500 vs 1500	1,750	2,753	0,337	No testeado
500 vs 900	1,000	1,573	0,798	No testeado
900 vs 0	1,750	2,753	0,337	No testeado
900 vs 1500	0,750	1,180	0,916	No testeado
1500 vs 0	1,000	1,573	0,798	No testeado

Análisis de varianza de una vía

Sábado, enero 02, 2021

Prueba normalidad (Shapiro-Wilk): Pasó ($P = 0,714$).

Prueba igualdad de varianza (Brown-Forsythe): Pasó ($P = 0,056$).

Tratamiento (ppm)	N	Promedio	Desviación estándar	Error típico
0	5	3,400	2,510	1,122
500	5	3,800	1,789	0,800
750	5	3,000	1,000	0,447
900	5	3,200	1,095	0,490
1500	5	4,800	0,837	0,374

Fuente variación	GL	SC	CM	F	P
Entre grupos	4	10,16	2,54	1,024	0,419
Residual	20	49,6	2,48		
Total	24	59,76			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad aleatoria del muestreo; no hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0,419$).