

TESIS DE MAESTRÍA  
INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:

“Cuantificación de las emisiones de GEI en dos especies de insectos comestibles (*Blaptica dubia* y *Gryllus assimilis*): análisis del efecto de la dieta”

Autor: Lic. Paola Andrea Garay Ortiz  
Director de Tesis: Dr. José Ignacio Gere

Buenos Aires - 2021

# EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

# EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

## **Dedicatoria**

*En memoria de Adelina Villamil Gualteros.  
Abuela, el sacrificio más grande detrás de este logro  
fue no estar a tu lado para despedirte.  
Hoy celebro en tu nombre este modesto triunfo.*



## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

### **Agradecimientos**

A Dios

por permitirme la alegría de vivir, conocer y continuar mi formación académica y profesional en una cultura diferente.

A la Argentina

por acogerme y brindarme mediante sus políticas públicas educativas, incluyentes y de calidad, la posibilidad de acceder a estudios de posgrado.

A mi familia

por apoyarme y acompañarme siempre sin importar tiempo o distancia, y por ser el motor que me impulso a continuar cada vez que pensé en rendirme.

A mi compañero de vida

por su incondicional apoyo moral y emocional. Y por su colaboración en el desarrollo de este estudio.

A los docentes de la UTN que hicieron parte de mi formación,

muy especialmente a mi director y asesor de Tesis el Dr. José Ignacio Gere

porque su apoyo, conocimientos, dedicación y paciencia hicieron posible desarrollar con éxito esta investigación.

Al Bioterio Grillos Capos

por donar material biológico para la ciencia y la investigación.

A todas las personas que contribuyeron de forma directa e indirecta en este proyecto.

Muchas gracias.



**Tabla de Contenidos**

<b>Resumen .....</b>	<b>11</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>12</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>13</b>
Alimentación sostenible .....	15
Insectos comestibles .....	16
Crianza de insectos.....	17
Condiciones para la Cría de Insectos.....	18
Evaluación de impacto Ambiental en la cría de insectos.....	21
Intercambio gaseoso y absorción de nutrientes en insectos .....	22
Efecto de la dieta en la producción de GEI en insectos .....	23
Medición de GEI en la producción de insectos .....	24
Referencias bibliográficas.....	25
<b>Fundamentación .....</b>	<b>29</b>
Referencias Bibliográficas .....	30
<b>Materiales y Métodos .....</b>	<b>31</b>
Localización del proyecto .....	31
Materiales y equipo.....	31
Montaje: Método de cámaras de acumulación para monitoreo de gases .....	33
Registro de datos, toma de muestras y alimentación.....	37
Medición de las concentraciones de GEI.....	40
Análisis estadísticos.....	41
Referencias bibliográficas.....	42
<b>Análisis de la Alimentación de los Animales, Consumo de Alimento y Ganancia de Peso Vivo.....</b>	<b>43</b>
Composición nutricional de la dieta ofrecida.....	43
Consumo de alimento y ganancia de peso vivo.....	44
Relación de conversión alimenticia.....	46
Referencias bibliográficas.....	51
<b>Análisis de las Emisiones de GEI .....</b>	<b>53</b>
Monitoreo de las concentraciones y cálculo de las emisiones de CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub> .....	53
Emisiones de GEI (CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub> ) para <i>Blaptica dubia</i> y <i>Gryllus assimilis</i> para dos dietas de calidad diferenciada .....	54
Referencias bibliográficas.....	59

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

<b>Análisis del Aporte Nutricional y del Impacto Ambiental de la Producción de Insectos en Comparación con la Ganadería Tradicional .....</b>	<b>61</b>
Aporte nutricional de la producción de insectos versus la producción ganadera tradicional.....	61
Relación de conversión alimenticia en insectos vs ganadería convencional.....	63
Insectos para alimentar animales .....	65
Emisión GEI insectos comestibles vs ganado .....	66
Impacto ambiental.....	67
Referencias bibliográficas.....	69
<b>Conclusiones .....</b>	<b>711</b>
<b>Referencias y Bibliografía General.....</b>	<b>713</b>
<b>Publicaciones.....</b>	<b>73</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1. <i>Emisiones de GEI del Sector Agrícola</i> .....	14
Figura 1.2 <i>Esquema proceso productivo.</i> .....	18
Figura 1.3 <i>Esquema típico sistema de producción de insectos</i> .....	19
Figura 1.4 <i>Respiración Traqueal.</i> .....	22
Figura 1.5 <i>Sistema digestivo.</i> .....	23
Figura 2.1. <i>Cucarachas Blaptica dubia.</i> .....	32
Figura 2.2 <i>Grillos Gryllus assimilis</i> .....	33
Figura 2.3 <i>Materiales y equipo para la toma de muestras.</i> .....	35
Figura 2.4 <i>Cámaras de acumulación.</i> .....	36
Figura 2.5 <i>Tratamientos.</i> .....	37
Figura 2.6 <i>Rango de Temperatura.</i> .....	38
Figura 2.7 <i>Procedimiento toma de muestras.</i> .....	39
Figura 2.8 <i>Procedimiento almacenamiento de las muestras.</i> .....	40
Figura 2.9 <i>Análisis de las muestras y Cromatograma.</i> .....	41
Figura 4.1 <i>Concentración de GEI vs Tiempo</i> .....	54
Figura 4.2 <i>Emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.</i> .....	55
Figura 5.1 <i>Eficiencias de conversión Grillos vs Carne convencional.</i> .....	64
Figura 5.2 <i>Cría de insectos vs otro ganado convencional.</i> .....	68

## Lista de Tablas

Tabla 2.1 <i>Descripción de las especies estudiadas, taxonomía y características.</i> .....	31
Tabla 3.1 <i>Tratamientos: Valor Nutricional (Base seca por gramo).</i> .....	43
Tabla 3.2 <i>Datos de comportamiento, consumo de alimento y ganancia de peso vivo.</i> .....	44
Tabla 3.3 <i>Eficiencia de conversión de alimento (FCR) y Eficiencia de conversión de alimento ingerido (ECI).</i> .....	49
Tabla 4.1. <i>Resumen Media Emisiones.</i> .....	55
Tabla 4.2 <i>Análisis comparativo emisión GEI en insectos</i> .....	57
Tabla 4.3 <i>Análisis de correlación por tratamiento de las variables.</i> .....	58
Tabla 5.1 <i>Valor nutricional por cada 100 g del valor comestible (composición centesimal).</i> .....	62
Tabla 5.2 <i>Comparación de los insectos vs la ganadería: ECI, FCR y porción comestible.</i> .....	65
Tabla 5.3 <i>Comparación emisiones GEI insectos vs ganadería.</i> .....	67

## Resumen

En la búsqueda de soluciones para mitigar los impactos ambientales en la producción de proteína animal, se ha incentivado la entomofagia como una opción viable. Con el fin de evaluar la sustentabilidad y el impacto ambiental de esta práctica, especialmente en la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), se llevó a cabo un experimento para determinar factores de emisión de metano (CH<sub>4</sub>) y de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) empleando dos dietas de calidad diferenciada: alimento balanceado vs. verduras, en dos especies de insectos *Blaptica dubia* (*Bd*) y *Gryllus assimilis* (*Ga*).

En la emisión de CH<sub>4</sub> hubo diferencias estadísticamente significativas entre *Ga* y *Bd* ( $p < 0.001$ ): en *Ga* fue prácticamente nula; en *Bd* se observa una tendencia a la diferenciación entre tratamientos, obteniéndose  $0.00425 \pm 0.00058$  y  $0.01 \pm 0.0015$  g/d para balanceado y verdura respectivamente ( $p = 0.056$ ). La emisión de CO<sub>2</sub> fue mayor en *Ga* ( $3.86 \pm 1.29$  y  $4.11 \pm 1.87$  g/d) para balanceado y verdura respectivamente ( $p = 0.770$ ) versus *Bd* ( $1.50 \pm 0.45$  y  $1.87 \pm 0.78$  g/d) para balanceado y verdura respectivamente ( $p = 0.261$ ). Tomando la emisión de CH<sub>4</sub> como un indicador ambiental, es posible realizar una comparación con las emisiones típicas de este gas en algunas de las fuentes principales de provisión de proteína animal. Con los resultados de este trabajo se obtuvo una emisión de  $0.04 \pm 0.01$  g CH<sub>4</sub>/kg PV/d en *Bd* mientras que, en la ganadería bovina, se han obtenido valores en el rango de 0.55 g CH<sub>4</sub>/kg PV/d. De esta manera, se concluye que la emisión de CH<sub>4</sub> producida en insectos, en este caso para *Blaptica*, es significativamente menor (inferior al 10 %).

**Palabras claves:** FACTORES DE EMISIÓN, GASES DE EFECTO INVERNADERO, INSECTOS, CÁMARAS ESTÁTICAS.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

### Abstract

In the search for solutions to mitigate the environmental impacts on the production of animal protein, entomophagy has been encouraged as a viable option. In order to assess the sustainability and environmental impact of this practice, especially in the reduction of greenhouse Gases (GHG), an experiment was conducted to determine methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission factors using two diets of differentiated quality, balanced feed vs. vegetables, in two species of insects, *Blaptica dubia* (*Bd*) vs. *Gryllus assimilis* (*Ga*).

In the emission of CH<sub>4</sub> there were statistically significant differences between *Ga* and *Bd* (p<0.001): in *Ga* it was close to zero; in *Bd* there is a tendency to differentiation between treatments, obtaining 0.00425±0.00058 and 0.01±0.0015 g / d for balanced feed and vegetable respectively (p=0.056). The CO<sub>2</sub> emission was higher in *Ga* (3.86±1.29 and 4.11±1.87 g / d for balanced feed and vegetable respectively, p=0.770) versus *Bd* (1.50±0.45 and 1.87±0.78 g / d for balanced feed and vegetable respectively, (p=0.261). Taking account the emission of CH<sub>4</sub> as an environmental indicator, it is possible to compare it with typical emissions of this gas in typical sources of animal protein supply. The results of this study was an emission of 0.04±0.01 g CH<sub>4</sub>/kg PV / d in *Bd*. In beef cattle production systems typical emission values are in the range of 0.55 g CH<sub>4</sub>/kg PV / d. We can conclude that the emission of CH<sub>4</sub> produced in insects, in this case for *Blaptica*, is significantly lower (less than 10 %).

**Keywords:** EMISSION FACTORS, GREENHOUSE GASES, INSECTS, STATIC CHAMBERS.

## Introducción

En los últimos años se ha incentivado la búsqueda de fuentes alternativas de alimentos para complementar la demanda de alimento global teniendo en cuenta que se estima que la población mundial superará los 9 mil millones de habitantes para el año 2050 (Carter *et al.*, 2015). Esto implicará una demanda de alimento, combustible y refugio que deberán cubrirse procurando un impacto ambiental mínimo (Ramaswany, 2015). Es necesario considerar además que la expansión del sistema de producción de alimentos en la actualidad se está dando con presiones ambientales muy altas, como la pérdida de hábitat, la sobreexplotación de alimentos convencionales y la emisión de contaminantes, entre los que se encuentran los gases de efecto invernadero (GEI), asociadas a la producción (Carter *et al.*, 2015).

Dentro de los objetivos de la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible y el Acuerdo de París acerca del Cambio Climático se encuentran, por un lado, erradicar el hambre y la pobreza, y por el otro hacer frente a la amenaza del cambio climático (Paris, 2015). Sin embargo, la demanda global de alimentos estimula el crecimiento de la producción agrícola y ganadera, planteando a su vez desafíos referentes al Cambio Climático y al control en las emisiones de GEI (Nieto *et al.*, 2014).

Para la FAO (2017a) el desafío consiste en reducir las emisiones de GEI y satisfacer al mismo tiempo la demanda alimenticia. Según Tilman & Clark (2014) para el año 2050, si no se controlan las actuales tendencias alimentarias, éstas serán una contribución importante en el aumento estimado del 80% en las emisiones globales de GEI originadas por la producción de alimentos y la deforestación mundial.

Alcanzar las metas propuestas dependerá principalmente de la capacidad que se tenga de mitigar las emisiones de GEI y adaptarse al Cambio Climático y determinará si la humanidad consigue erradicar el hambre y la pobreza en 2030 (Grave, 2016). La agricultura y el sector alimentario en general tienen la responsabilidad de generar estrategias de mitigación de las emisiones de ya que conjuntamente, la agricultura, la actividad forestal y el cambio del uso de la tierra representan alrededor de la quinta parte de las emisiones globales. Además, el área de pastoreo a nivel mundial es más del doble que las tierras cultivadas, con ganado que consume alrededor de un tercio de los cultivos producidos como alimento (Steinfeld *et al.*, 2009).

En este sentido, se sabe que del sector agrícola entre 7% y el 11% la ganadería contribuye significativamente en las emisiones globales de GEI inducidas por el hombre. El ganado vacuno

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

de carne y leche genera cantidades similares de GEI. Los cerdos, las aves de corral, los búfalos y los pequeños rumiantes tienen emisiones mucho más bajas, representando entre el 7% y el 11% de las emisiones del sector (Figura 1.1) (FAO, 2017b).

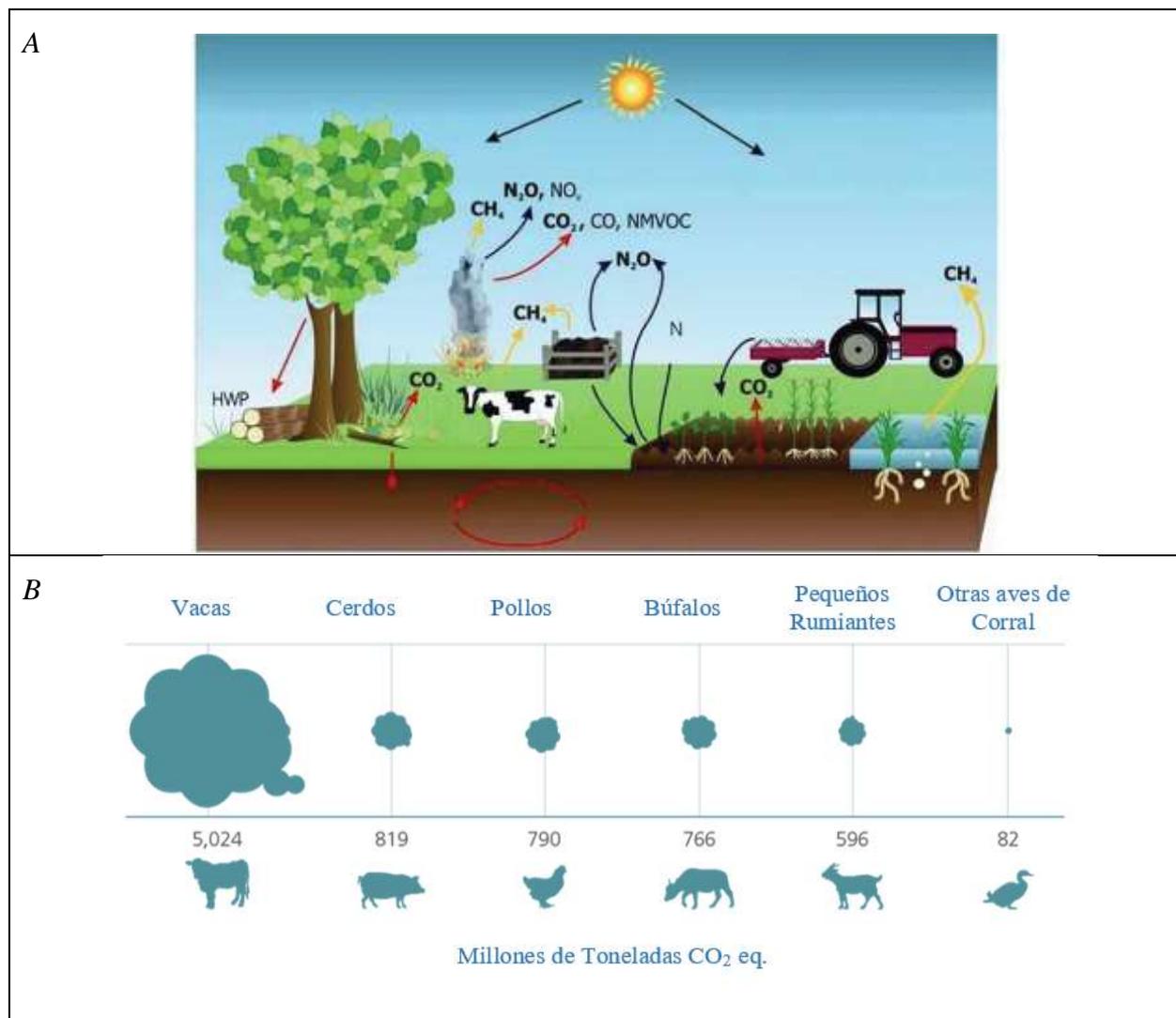


Figura 1.1. Emisiones de GEI del Sector Agrícola

Principales fuentes de emisión y absorción de GEI <sup>A</sup> Adaptado de IPCC (2006).

Estimaciones globales de emisiones por especies <sup>B</sup>: Incluye emisiones atribuidas a productos comestibles y a otros bienes y servicios. Adaptado de FAO (2017b).

Argentina ocupa el segundo lugar del Mercosur como productora de carne bovina, siendo también, el segundo consumidor de carne por habitante de la región (Ponti, 2011). Es importante destacar que en los últimos años este país ha llevado a cabo planes, programas y acciones relacionados de manera directa e indirecta con la mitigación de GEI en varios productos de consumo, impulsando puntualmente para el sector ganadero programas como: Cambio rural 1993

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- 2012; FINAGRO, programa del Banco Nación para financiar inversión y Plan Ganadero Nacional, orientado a mejorar la eficiencia de la ganadería (SAyDS, 2015).

### **Alimentación sostenible**

El aumento de los ingresos y la urbanización están impulsando una transición alimentaria mundial donde las dietas tradicionales son reemplazadas por dietas más altas en azúcares y grasas refinados, aceites y carnes (Tilman, 2014). Por esta razón para mejorar la productividad ganadera y reducir las emisiones de GEI, se han propuesto mejoras en la calidad y balance en la alimentación (para disminuir las emisiones provenientes de la fermentación entérica y del estiércol), mejoras en la cría y la salud animal, prácticas de gestión de las heces y mejoras en la eficiencia del uso de energía a lo largo de la cadena de suministros (Herrero & Gil, 2008).

Sin embargo, la FAO afirma que, a fin de mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo del límite máximo crucial de 2 °C, las emisiones tendrán que reducirse hasta un 70% para 2050, y sólo se puede mantener el Cambio Climático dentro de niveles manejables con la contribución del sector agrícola. Por esta razón se requiere una profunda transformación de los sistemas alimentarios y agrícolas en todo el mundo, siendo además decisivo un cambio dietario para cumplir con los objetivos propuestos (Grave, 2016).

La transición hacia dietas más saludables puede tener beneficios de reducción de GEI significativos a nivel mundial (Tilman, 2014). Para mitigar el Cambio Climático, puede ser importante proporcionar soluciones alternativas para la producción de proteínas animales que, además de generar cantidades más bajas de gases que alteran el clima, también sean menos dependientes del agua (Fausto *et al.*, 2015).

En búsqueda de soluciones alternativas para la producción de proteínas animales, en los últimos años se ha propuesto la entomofagia como una opción viable en la producción de proteína animal y como estrategia de mitigación en la reducción de emisiones de GEI. Ésta es una práctica milenaria, donde se consumen como alimento humano aproximadamente 2.100 especies de insectos alrededor del mundo (Jongema, 2017), principalmente en África, Asia, Australia y, en unos pocos países de Latinoamérica, además de utilizarse como alimento para otros animales (Van Huis *et al.*, 2013).

Es por esto que alternativas como el consumo de insectos, podrían servir en la producción de proteína animal como una alternativa amigable con el ambiente con respecto a las emisiones de GEI y NH<sub>3</sub> (Oonincx *et al.*, 2010) teniendo en cuenta que el comportamiento, las preferencias y

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

las normas sociales cambian con el tiempo. De esta manera, los alimentos que antes no se aceptaban podrían convertirse en una parte más común de las dietas futuras (Van Huis, *et al.*, 2013). No obstante, mientras que las fuentes alternativas de alimentos pueden ser tecnológicamente factibles o públicamente aceptables a futuro, sus posibles contribuciones a la sostenibilidad siguen sin estar del todo claras (Alexander *et al.*, 2017).

Se debe tener en cuenta además, que la falta de proteínas y otras deficiencias nutricionales suelen ser más frecuentes en los sectores sociales más vulnerables, en tiempos de conflicto social y durante desastres naturales; pudiendo los insectos por su composición nutricional, accesibilidad, técnicas sencillas de cría y sus tasas de rápido crecimiento, ofrecer una oportunidad económica y eficiente para contrarrestar la inseguridad nutricional proporcionando alimentos de emergencia y mejorando los medios de subsistencia y la calidad de las dietas especialmente entre personas vulnerables (Van Huis *et al.*, 2013).

### **Insectos comestibles**

Los insectos, el grupo más diverso y conocido de los animales, provee servicios ecológicos que mantienen la vida tal como la conocemos. Históricamente han sido consumidos por personas de culturas diferentes como parte de su dieta normal, donde su recolección como alimento se regía por métodos tradicionales que fomentaron la sostenibilidad en el suministro de los mismos (Yen, 2014). Actualmente, se estima que aproximadamente 2.100 especies de insectos son comestibles (Jongema, 2017) y son consumidas por más de dos mil millones de personas en unos 80 países de Asia, África y América (Van Huis *et al.*, 2013). Las especies comestibles, se consumen como inmaduras (huevos, larvas, pupas y ninfas) y en algunos casos también como adultos, y se obtienen por tres principales estrategias: recolección silvestre, semi-domesticación en la naturaleza y por cría y producción (Anankware *et al.*, 2015).

El potencial de los insectos comestibles para garantizar una mejora de la seguridad alimentaria, radica en la posibilidad de generar una producción sostenible de alimentos, procurando la conservación de la biodiversidad mediante un semi-cultivo y cultivo de insectos comestibles (Van Huis *et al.*, 2014).

Además, para Halloran & Vantomme (2013) el uso de insectos a gran escala como ingrediente en la composición de suplementos alimenticios para animales es técnicamente viable, y en diversas partes del mundo ya hay empresas consolidadas que están a la vanguardia en este sentido; por lo que la utilización de insectos como materia prima para la acuicultura y la alimentación de las aves de corral probablemente sea más frecuente durante la próxima década.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

Según Oonincx *et al.* (2010) y Anankware *et al.* (2015), estas son las principales ventajas ambientales de la producción de insectos en comparación con la producción ganadera:

- requiere menor cantidad de tierra y agua en su producción, por lo que su huella ecológica cuando se emplea como alimento también es menor;
- emite menor cantidad de GEI (el CH<sub>4</sub>, por ejemplo, que tiene un alto impacto en la actividad ganadera y solo es producido por unos pocos grupos de insectos como las termitas y cucarachas);
- posee una alta eficiencia en la conversión de alimento en proteína, debido a que son de sangre fría (por ejemplo, los grillos necesitan 12 veces menos alimento que el ganado bovino, cuatro veces menos que el ganado ovino y la mitad que cerdos y pollos de engorde para producir la misma cantidad de proteína);
- puede transformar subproductos orgánicos de bajo valor nutricional en comida de alta calidad;
- posee una tasa de reproducción significativamente más alta, favoreciendo la producción en cantidades mayores que otros animales empleados para consumo humano;
- tiene otras aplicaciones económicas, como, por ejemplo, ciertas especies de insectos se pueden usar como alimento para animales o alimento acuático, lo que hace que económica y socialmente, la entomofagia mejore los medios de vida de muchas personas.

Se destaca también, que la eficiencia de los insectos y su capacidad para convertir los subproductos agrícolas y el desperdicio de alimento en alimentos, sugiere que se requiere más investigación sobre su producción (Alexander *et al.*, 2017). Además, la evaluación de los resultados ambientales de la cría de insectos para la alimentación humana y animal, prevista como una estimación de la reducción del impacto ambiental en comparación con otras fuentes de proteínas, en general todavía está en su fase inicial (Fausto *et al.*, 2015). Sin embargo, es necesario promover el establecimiento de normas internacionales, nacionales y marcos legales para facilitar el uso de los mismos como alimento (Alexander *et al.*, 2017).

### **Crianza de insectos**

La cría de insectos como mini ganadería brinda oportunidades para aumentar la oferta de alimento sin poner en peligro las poblaciones de insectos silvestres (Halloran & Vantomme, 2013). Cultivar insectos puede ofrecer oportunidades de sustento tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo (Van Huis *et al.*, 2013).

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

Algunos consideran a los insectos como fuente de alimento que puede llegar a ser útil en situaciones de extrema vulnerabilidad y en períodos prolongados de hambrunas. Sin embargo, la mayoría de los insectos son consumidos debido a su sabor y no porque no haya otras fuentes de alimentos disponibles. Esto hace que puedan alcanzar precios elevados y se consideren un manjar exquisito y exótico (Chakravorty *et al.*, 2014).

El consumo de insectos no solo tiene un impacto directo en la mejora de la dieta de la población, además puede tener un impacto económico proporcionando un ingreso originado por la venta de los mismos, pudiendo ser recolectados de forma directa y fácilmente de la naturaleza o cultivarse con un mínimo en gastos técnicos o de capital (Van Huis *et al.*, 2013). El entusiasmo mundial por la agricultura de insectos está creciendo a medida que aumenta el rango de potencial comercial y ambiental de los beneficios que se le reconocen (Anankware *et al.*, 2015).

### Condiciones para la Cría de Insectos

*Infraestructura Criadero/ Planta de producción:* Los sistemas de crianza más avanzados, como los que se encuentran en Países Bajos o Canadá, podrían compararse con instalaciones modernas, similares a las del ganado. Los materiales utilizados para la construcción dependen de las condiciones locales (es decir, clima y disponibilidad de materiales) (Roffeis *et al.*, 2015). Las Figuras 1.2 y 1.3, representan a manera de ejemplo esquemas productivos con entradas y salidas en sistemas de producción del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*).

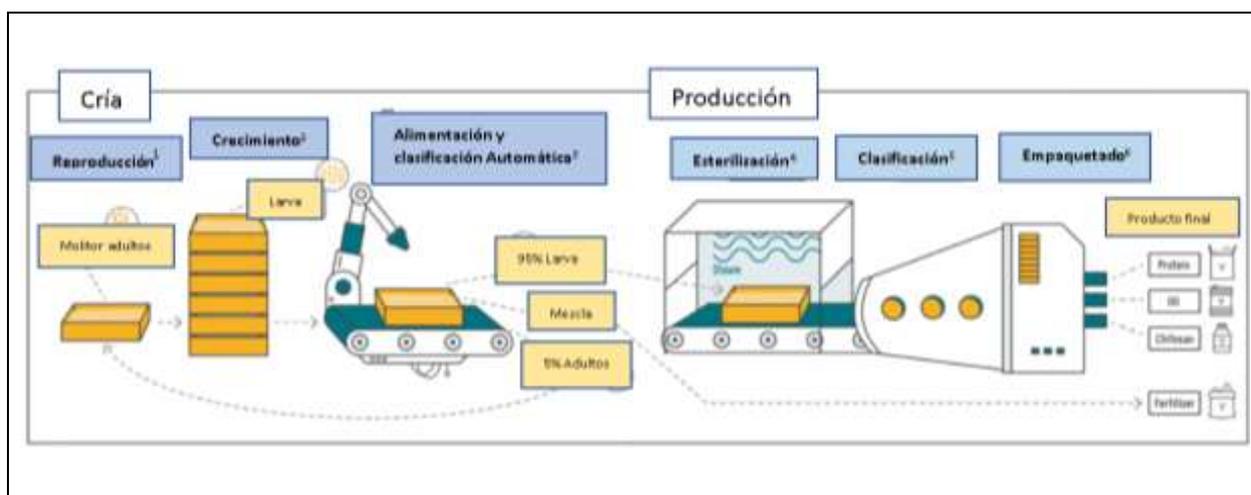


Figura 1. 2. Esquema proceso productivo.  
Producción de *Tenebrio molitor*. Adaptado de Yñsect (s.f.)

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

La primera (Figura 1.2) corresponde a un modelo general de producción vertical, que además de la proteína de insectos genera aceite, quitina y fertilizantes. En la segunda (Figura 1.3) se detalla la transformación de la materia prima en productos de valor. Los flujos que ingresan están a la izquierda, centralmente se muestran los pasos de producción y los flujos salir del sistema están a la derecha

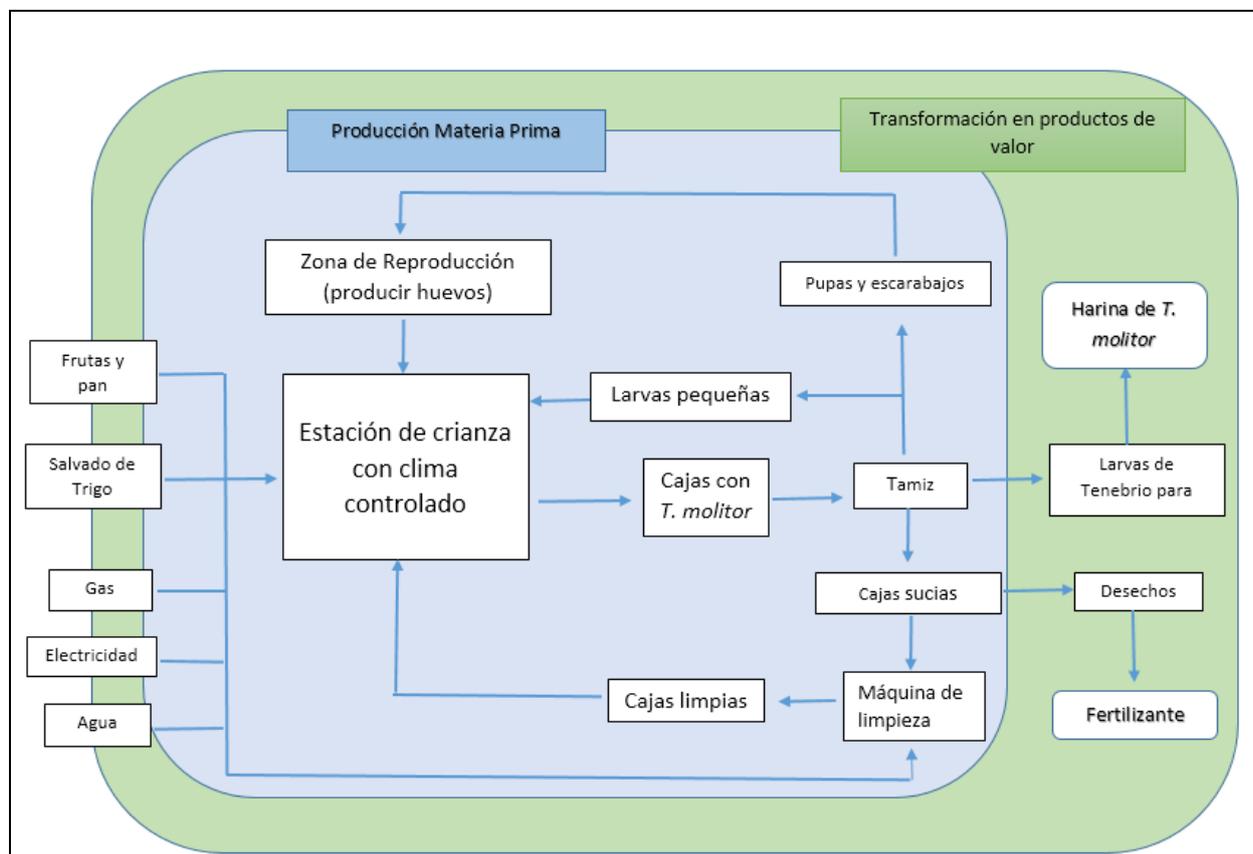


Figura 1.3 Esquema típico sistema de producción de insectos

Gusanos de la harina (Tenebrio molitor). Los flujos que ingresan a la izquierda, al centro pasos de producción y productos finales a la derecha. Adaptado de Ooninx & De Boer (2012).

Las condiciones óptimas para la cría y reproducción de los insectos dependen de la biología de los mismos y pueden variar entre especies. Para el caso de grillos comestibles (*Acheta domesticus*) en la literatura científica se encuentran los siguientes aspectos a tener en cuenta; pudiendo adaptarse a la cría de otros insectos como es el caso de las cucarachas:

*Control de la temperatura y humedad relativa (HR)*: El rango de temperaturas que debe haber dentro de las jaulas o recintos para grillos está estimada entre un mínimo de veinte grados centígrados (20°C) y un máximo treintaicinco (35°C). Estos recintos deben depender de generadores de temperatura ambientales puestos en lugares estratégicos dentro de la locación. La HR es el porcentaje de humedad en el aire en relación con la cantidad total que puede mantener a

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

una temperatura particular, se puede medir con un higrómetro o psicrómetro. Su punto de ajuste depende de la especie y sus etapas; el rango promedio en criaderos de insectos es del 40 al 80% donde una fluctuación del 5% es adecuada y no genera mayores inconvenientes (Erens *et al.*, 2012).

*Recintos:* Según Porter (2015), la cantidad de insectos adultos que puede contener cada jaula depende de la capacidad en litros de la misma. Una jaula o recinto de 65 litros de capacidad puede contener un máximo (en el caso de los grillos) de dos mil adultos. Una jaula de 95 litros de capacidad puede contener un máximo de tres mil. Para grillos recién nacidos y para las primeras etapas ninfales, las jaulas necesitan ser más pequeñas que las usadas para grillos adultos, es decir, desde 8 hasta 15 litros de capacidad. Para aumentar el área de superficie interior y ofrecerles refugio su interior debe ser adaptado con cartones para huevos (el material más usado por los criadores como escondites para insectos), que deben ser puestos verticalmente para permitir la circulación del aire caliente y para permitir que los residuos de los grillos, (grillos muertos, mudadas, heces, los residuos de los nutrientes) caigan sobre el fondo de la jaula (Apolo-Arévalo y Lannacone, 2015). Los cartones deben colocarse juntos, uno al lado del otro, con todas las crestas y valles unas contra las otras, exactamente en la forma contraria en la cual estos se almacenan juntos generando más espacio para el movimiento de los animales (Porter, 2015).

*Bebederos, comederos:* Los bebederos y comederos deben ser de baja altura, así pueden trepar fácilmente sobre estos, y también deben ser amplios para que una gran cantidad de insectos puedan beber, y comer a un mismo tiempo. Convenientemente deben tener la forma de una pequeña bandeja de poca profundidad, y con fondo plano (Apolo-Arévalo y Lannacone, 2015).

*Alimentación:* El grillo doméstico es una especie omnívora por naturaleza, pero en cautiverio no se considera necesario darle alimento de origen animal. Es importante procurar que el alimento no falte dentro de la jaula, de lo contrario puede haber canibalismo entre éstos (Erens *et al.*, 2012). Los alimentos comerciales secos que se emplean para nutrir animales domésticos, como son las aves y los mamíferos, pueden ser usados para nutrir grillos. Las presentaciones más adecuadas son las que se venden en forma de croquetas o comprimidos para nutrir roedores, conejos, pollos, cerdos, perros, gatos, por ejemplo. Es conveniente que estos alimentos no contengan medicamentos ni hormonas (Apolo-Arévalo & Lannacone, 2015). A su vez, los insectos pueden ser alimentados con partes vegetales desechadas de la dieta humana, como tallos y hojas, o plantas naturales no aprovechadas por el hombre (Chakravorty *et al.*, 2014).

Dependiendo del tipo de alimento que los insectos ingieren, el valor de los nutrientes puede cambiar. Este es el caso especialmente si los insectos se alimentan de flujos de desechos

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

biológicos. Si los valores de los nutrientes son bajos, los insectos consumen más para alcanzar el tamaño corporal de la cosecha. (Taponen, 2015).

### **Evaluación de impacto Ambiental en la cría de insectos**

El impacto ambiental del cultivo de insectos en términos de uso de recursos y emisiones depende de las especies de insectos, el alimento que se les suministre y otros factores de influencia, pero se espera que sea comparable a otros sistemas de producción animal. Se necesita más evidencia a través del análisis del ciclo de vida ambiental de los insectos criados en masa para evaluar más a fondo las especies de insectos que se adoptarán para la alimentación (Van der Fels, 2015).

Las categorías de impacto ambiental que deben considerarse en la evaluación de la producción y consumo de insectos, corresponden a las que son relevantes para otros sistemas de producción ganadera, como son el Cambio Climático, la eutrofización, el uso de la tierra y, en muchas situaciones, consumo de agua y agotamiento de combustibles fósiles (Halloran *et al.*, 2016).

Los contaminantes y aditivos (como el cobre y el zinc) presentes en el sustrato de insectos se liberarán inevitablemente en el medio ambiente. Cuando están presentes en el sustrato, los contaminantes y oligoelementos excretados en las heces y el exoesqueleto entrarán al ambiente del suelo, ya que en ocasiones se vierten como fertilizante en la tierra en forma de estiércol, lechada o basura. Esto puede presentar dos riesgos potenciales principales: acumulación dentro de la capa superficial del suelo de concentraciones que presenten un potencial riesgo tóxico para los organismos del suelo, además de la lixiviación de contaminantes del suelo a aguas superficiales en concentraciones que presenten un riesgo potencial de toxicidad para las napas subyacentes (Van der Fels, 2015).

Respecto a la epidemiología, no han sido reportados casos de transmisión de enfermedades o parásitos importantes a humanos derivados del consumo de insectos. No obstante, pueden producirse alergias comparables a las ocasionadas por los crustáceos, que también son invertebrados. En comparación con los mamíferos y las aves, los insectos pueden plantear un riesgo menor de transmisión de infecciones zoonóticas a los humanos, aunque este tema debe investigarse más a fondo (Halloran & Vantomme, 2013).

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

### Intercambio gaseoso y absorción de nutrientes en insectos

Comprender los efectos ambientales asociados a la cría de insectos para consumo y las emisiones de GEI que generan, requiere conocer los procesos inherentes a su biología. La tasa metabólica y los patrones de intercambio de gases de los insectos varían de acuerdo con diferentes factores, tales como: especies, actividad, masa y temperatura entre otros. Un patrón particular notable de intercambio de gases en los insectos son los ciclos discontinuos de intercambio de gases, para los cuales se han establecido hipótesis diferentes con respecto a su evolución (Schilman, 2017).

Los insectos realizan intercambio de gases con su entorno externo a través de su sistema traqueal lleno de gas, que se abre al ambiente mediante los espiráculos pares (Figura 1.4). El oxígeno en el sistema traqueal es consumido de forma gradual y el CO<sub>2</sub> generado a partir de los tejidos se disuelve en la hemolinfa y se difunde a las tráqueas (Huang *et al.*, 2015).

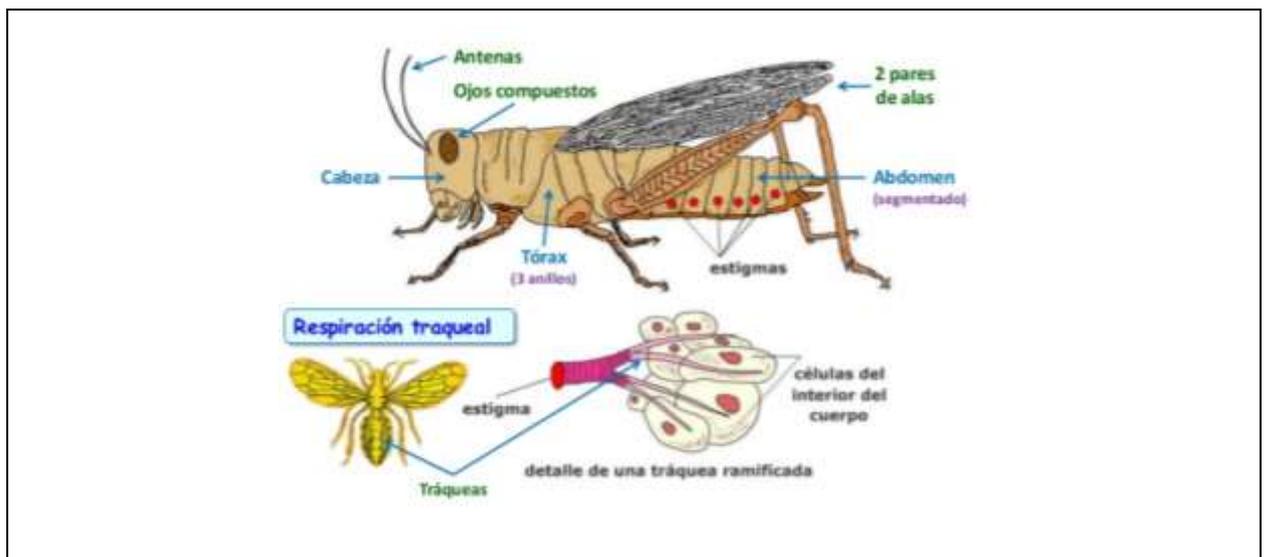


Figura 1.4 *Respiración Traqueal*.  
El aparato respiratorio de los insectos (Grillos). Slideshare (2018)

Su sistema digestivo está constituido básicamente por el tubo digestivo o canal de alimentación y una serie de apéndices y órganos conectados con él de forma directa o indirecta (Figura 1.5). El tubo digestivo más generalizado se encuentra en herbívoros y omnívoros, tales como la cucaracha (Dictyoptera), saltamontes (Ortópteros) y muchos escarabajos (Coleópteros), en su estado larval o adulto. Siendo más simples y cortos en las larvas de Lepidópteros, Himenópteros y Dípteros (Nematócero), mientras que en los Homópteros tanto adultos como estados inmaduros (ninfas), alcanzan la mayor longitud y convoluciones (De la Cruz Lozano,

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

2006). En su interior se hospedan microorganismos con los que están asociados y los cuales les generan beneficios mediante una simbiosis nutricional que, al regular su fisiología y desarrollo los protege frente a patógenos y sustancias nocivas (Arias, 2020).

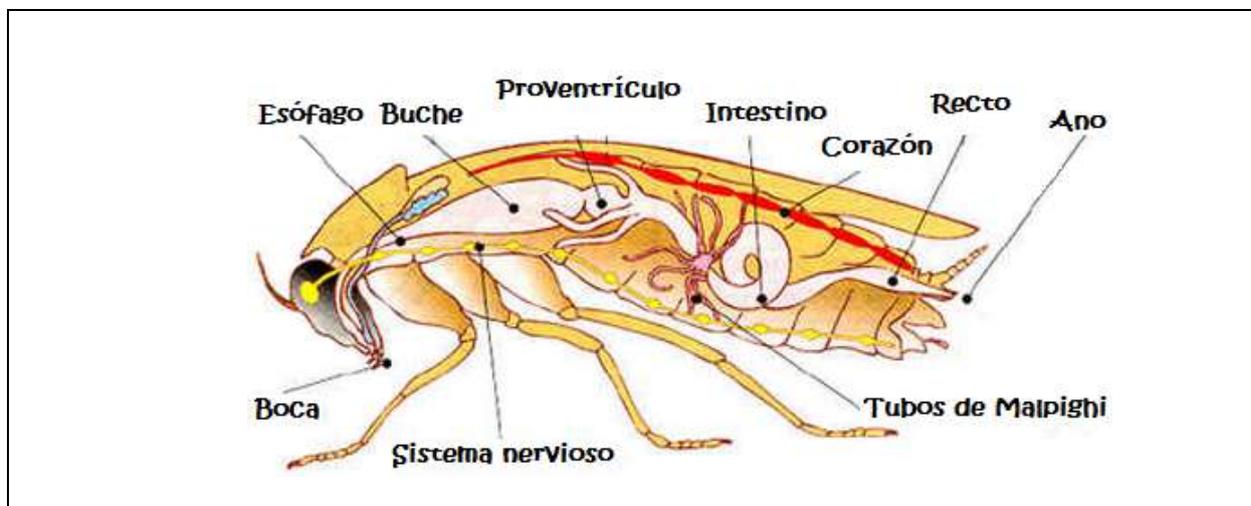


Figura 1.5 Sistema digestivo

El aparato respiratorio de los insectos (cucarachas) Slideshare (2018)

### Efecto de la dieta en la producción de GEI en insectos

La absorción de nutrientes es un factor influyente en la producción de  $\text{CH}_4$  en los insectos, según Halloran *et al.* (2016), en las entrañas es donde se produce. Las arqueas metanogénicas pueden encontrarse en el proctodeo (intestino posterior) de la mayoría de los representantes tropicales de milpiés (Diplopoda), cucarachas (Blattaria), y escarabajos (Scarabaeidae) (Hackstein y Stumm, 1994). Además, se ha encontrado que las condiciones ambientales, como la luz, la humedad, la temperatura y las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ , juegan un papel determinante en la cantidad de  $\text{CH}_4$  que se produce (Velu *et al.*, 2011). Por lo tanto, existe potencial para optimizar los sistemas, no solo ampliando la eficiencia en términos de producción, sino también reduciendo las emisiones de GEI (Halloran *et al.*, 2016).

Varios estudios abordan las relaciones existentes entre la taxonomía, etapa larval, hábitos alimenticios y el microbiota del sistema digestivo de los insectos como factores determinantes en la emisión de GEI. El estudio de Kane & Breznak (1991), sobre el efecto de la dieta del huésped en la producción de ácidos orgánicos y  $\text{CH}_4$  por las bacterias intestinales de las cucarachas en *Periplaneta americana*, determinó que la producción de este gas, fue significativamente afectada por la etapa del desarrollo del insecto y su dieta. Las dietas altas en fibra (cereal de salvado, hojas de cereal o mazorca de maíz) favorecen la emisión de  $\text{CH}_4$ , siendo en mayor medida en las larvas

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

que en los adultos. Según estos autores, sus resultados indican que la dieta del huésped tiene un efecto significativo sobre el microbiota intestinal y su actividad

La investigación de Rouland *et al.* (1993), evaluó los factores nutricionales asociados a la emisión de CH<sub>4</sub> en termitas. Debido a su número y dieta, las termitas son importantes productores de CH<sub>4</sub> atmosférico. Esta producción de CH<sub>4</sub> se debe a la degradación anaerobia del material vegetal por una microflora simbiótica localizada en el intestino posterior de la termita. Sin embargo, las termitas xilófagas poseen principalmente bacterias acetogénicas y, por lo tanto, producen bajos niveles de CH<sub>4</sub>. En este caso también la dieta de las diferentes especies de termitas es un factor determinante de la producción global.

Colman *et al.* (2012) encontraron evidencia respecto a que la dieta del huésped y la taxonomía estructuran las comunidades bacterianas del intestino del insecto. Sin embargo, aunque la taxonomía del huésped era importante en la estructura de la comunidad intestinal de himenópteros y termitas, la dieta era un factor importante de estructuración de la comunidad, particularmente para los huéspedes de insectos que ingieren sustancias derivadas de la lignocelulosa. El estudio proporciona una comparación de referencia de las comunidades bacterianas del intestino del insecto a partir de las cuales es posible probar más hipótesis sobre las causas próximas.

### **Medición de GEI en la producción de insectos**

Son pocos los trabajos que reportan las emisiones de CH<sub>4</sub> en insectos empleados para la alimentación. Según Fausto *et al.*, (2015) el análisis de la literatura científica revela deficiencias respecto a la cuantificación de las emisiones producidas por el metabolismo de los insectos (p. ej., CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub>).

Una investigación comparó la producción de CH<sub>4</sub> por las arqueas metanogénicas intestinales y su estructura comunitaria entre linajes filogenéticos de milpiés (Šustr *et al.*, 2014), siendo el primer estudio detallado de la diversidad de metanógenos en el tracto digestivo de los milpiés. En este trabajo se concluye que las diferencias en la producción de CH<sub>4</sub> en el intestino de los milpiés reflejan diferencias en la actividad y proliferación de los metanógenos intestinales.

Por otro lado, Halloran *et al.* (2017) detectaron niveles insignificantes de CH<sub>4</sub> en un sistema de cultivo de grillos *Acheta domesticus* y *Gryllus bimaculatus* en Tailandia. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se calcularon a partir de un balance de masa de carbono (Ca). Según los autores, las bajas emisiones

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

de CH<sub>4</sub> pueden deberse a que los insectos se alimentaron principalmente de fuentes ricas en proteínas sin celulosa para permitir una alta tasa de crecimiento. (Halloran *et al.*, 2018).

Los investigadores Martius *et al.* (1993), debido a la hipótesis sobre la contribución de las termitas al presupuesto mundial de CH<sub>4</sub>, calcularon las emisiones de CH<sub>4</sub> de nidos de termitas que se alimentan de madera (*Nasutitermes* spp.) en bosques primarios y secundarios de la Amazonía. La medición de las emisiones se realizó mediante una técnica de cámaras cerradas, con mediciones por periodos de 90 a 270 minutos. Extrapolando las tasas de emisión obtenidas a la biomasa global estimada de estos insectos calcularon una emisión total de 26 Tg CH<sub>4</sub> año<sup>-1</sup>, que representa aproximadamente el 5% del flujo anual de CH<sub>4</sub> de todas las fuentes a la atmósfera mundial.

Hackstein & Stumm (1994), seleccionaron 110 taxones representantes de artrópodos terrestres productores de CH<sub>4</sub> y 66 especies no productoras; para obtener información adicional sobre los orígenes del CH<sub>4</sub> biogénico. La investigación destacó la importancia de la posición taxonómica del huésped y sugiere la evolución de la simbiosis entre artrópodos y metanógenos, No se encontraron arqueas metanogénicas en langostas y grillos, colémbolos, abejas, escarabajos, mariposas y moscas. Algunas especies (y poblaciones) de diplopodos, cucarachas y termitas no emiten CH<sub>4</sub> probablemente debido a una pérdida secundaria de los metanógenos. La ausencia de metanógenos en milpiés y cucarachas en climas templados europeos puede reflejar la sensibilidad de los metanógenos intestinales para bajas temperaturas.

### Referencias bibliográficas

- Arias, J. P. (2020). Los microorganismos asociados a los insectos y su aplicación en la agricultura. *Revista Digital Universitaria*, 20(1).
- Alexander, P., Brown, C., Arneith, A., Dias, C., Finnigan, J., Moran, D., & Rounsevell, M. D. (2017). Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Global Food Security*, 15, 22-32.
- Anankware, P. J., Fening, K. O., Osekre, E., & Obeng-Ofori, D. (2015). Insects as food and feed: A review. *International Journal of Agricultural Research and Review*, 3(1), 143-151.
- Apolo-Arévalo, L., & Lannacone, J. (2015). Crianza del grillo (*Acheta domesticus*) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano. *Scientia*, 17(17).
- Carter S, Herold M, Rufino MC, Neumann K, Kooistra L, Verchot L (2015) Mitigation of agriculture emissions in the tropics: comparing forest land-sparing options at the national level. *Biogeosciences Discussions*, 12, 5435–5475.
- Chakravorty, J., Ghosh, S., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2014). Nutritional composition of *Chondacris rosea* and *Brachytrupes orientalis*: two common insects used as food by tribes of Arunachal Pradesh, India. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(3), 407-415.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Colman, D. R., Toolson, E. C., & Takacs-Vesbach, C. D. (2012). Do diet and taxonomy influence insect gut bacterial communities? *Molecular Ecology*, 21(20), 5124-5137.
- De la Cruz Lozano, J. (2006). Entomología: morfología y fisiología de los insectos. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Erens, J., Es Van S, H. F., Kapsomenou, E., & Luijben, A. (2012). A bug's life. Large scale insect rearing in relation to animal welfare. VENIK, *Wageningen*.
- FAO, F. (2017a). The future of food and agriculture—Trends and challenges. Annual Report.
- FAO. (2017b). The Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM). [www.fao.org/gleam/en/](http://www.fao.org/gleam/en/)
- Fausto, A. M., Fochetti, R., Zapparoli, M., & Danieli, P. P. (2015). Costi e benefici dell'entomofagia: sostenibilità ambientale dell'allevamento di insetti su larga scala. Accademia Nazionale Italiana di Antomologia.
- Grave, C. U., La, A. P., Alimentaria, S. E. G. U. R. I. D. A. D., & Regiones, M. U. C. H. A. S. (2016). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>
- Hackstein, J. H., & Stumm, C. K. (1994). Methane production in terrestrial arthropods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(12), 5441-5445
- Halloran, A., & Vantomme, P. (2013). The contribution of insects to food security, livelihoods and the environment. FAO, *Rome* [www.fao.org](http://www.fao.org).
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., & Bruun, S. (2016). Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4),
- Halloran, A., Hanboonsong, Y., Roos, N., & Bruun, S. (2017). Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 156, 83-9457.
- Halloran, A., Flore, R., Vantomme, P., & Roos, N. (Eds.). (2018). Edible insects in sustainable food systems. London, UK: Springer.
- Herrero, M. A., & Gil, S. B. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología austral*, 18(3), 273-289. <http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/93-intensificacion.pdf>.
- Huang, Shu-Ping, Talal, Stav, Ayali, Amir, & Gefen, Eran. (2015). The effect of discontinuous gas exchange on respiratory water loss in grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) varies across an aridity gradient. *Journal of Experimental Biology*, 218(16), 2510-2517.
- IPCC - 2006 Guidelines for National Inventories of Greenhouse Gases - Volume 4, Chapter 1, page 1.6.
- Jongema Y (2017) List of edible insect species of the world. Laboratory of Entomology, Wageningen University, *Wageningen, The Netherlands*.
- Kane, MD, Brauman, A. y Breznak, JA (1991). Clostridium mayombe sp. nov., una bacteria acetogénica H<sub>2</sub> / CO<sub>2</sub> del intestino de la termita africana que se alimenta del suelo, Cubitermes speciosus. *Archivos de microbiología*, 156 (2), 99-104.
- Martius, C., Waßmann, R., Thein, U., Bandeira, A., Rennenberg, H., Junk, W., & Seiler, W. (1993). Methane emission from wood-feeding termites in Amazonia. *Chemosphere*, 26(1-4), 623-632.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Nieto, M. I., Guzmán, M. L., & Steinaker, D. (2014). Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 40(1), 92-101.
- Oonincx, D. G., Van Isterbeek, J., Heetkamp, M. J., Van Den Brand, H., Van Loon, J. J., & Van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloS one*, 5(12), e14445.
- Oonincx, D. G., & De Boer, I. J. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PloS one*, 7(12), e51145
- Paris, C. (2015). Cumbre de Paris: Convención sobre el Cambio Climático. *Cultura de Paz*, 21(67).
- Ponti, D. (2011). Canales de comercialización de carne vacuna en mercado interno. Dirección de Análisis Económico Pecuario. Dirección Nacional de Transformación y Comercialización de Productos Pecuarios. Subsecretaría de Ganadería. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Porter, R. 2015. Caring for feeder Crickets. General Manager of the Australian Reptile Park in NSW. Disponible en <http://www.reptilepark.com.au/> último acceso 12/06/2020.
- Ramaswamy, S. B. (2015). Setting the table for a hotter, flatter, more crowded earth: insects on the menu? *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 171-178.
- Roffeis, M., Muys, B., Almeida, J., Mathijs, E., Achten, W. M. J., Pastor, B., ... & Rojo, S. (2015). Pig manure treatment with housefly (*Musca domestica*) rearing—an environmental life cycle assessment. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 195-214.
- Rouland, C., Brauman, A., Labat, M., & Lepage, M. (1993). Nutritional factors affecting methane emission from termites. *Chemosphere*, 26(1-4), 617-622.
- Schilman, P. E. (2017). Metabolism and gas exchange patterns in *Rhodnius prolixus*. *Journal of insect physiology*, 97, 38-44.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS). (2015). Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones.
- Slideshare (2012). Animales invertebrados IV. [PDF en línea] Disponible en <https://www.slideshare.net/mihayedo/insectos-1-es0> último acceso 24/08/2020
- Šustr, V., Chroňáková, A., Semanová, S., Tajovský, K., & Šimek, M. (2014). Methane production and methanogenic Archaea in the digestive tracts of millipedes (Diplopoda). *PloS one*, 9(7), e102659.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & Haan, C. D. (2009). La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones (No. FAO-MED 15). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Taponen, I. (2015). Supply Chain Risk Management in Entomology Farms: Case: High scale production of human food and animal feed.
- Tilman, D., & Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518-522.
- Van der Fels, H. J. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed: EFSA Scientific Committee. *EFSA Journal*, 13(10), 4257.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2014). *Insectes comestibles: perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale*. FAO Forestry Paper, (171).
- Velu, G., Ramasamy, K., Kumar, K., Nallapeta, S., & Ramanjaneya, V. R. (2011). Greenhouse gas emissions from termite ecosystem. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(2), 56-64.
- Yen, A. L. (2014). Foreword: Why a Journal of Insects as Food and Feed? *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 1-2. <https://www.wageningenacademic.com/doi/abs/10.3920/JIFF2015.x001>
- Ynsect. (s. f.) Disponible en <http://www.ynsect.com/en/> último acceso 24/07/2020.

## Fundamentación

En la conferencia climática de París en diciembre de 2015, 195 países firmaron el acuerdo climático, que establece un plan de acción global para limitar el Cambio Climático a menos de 2°C por encima de los niveles preindustriales. El objetivo es limitar este aumento a 1.5°C, lo que reduciría significativamente su impacto sobre el medio ambiente (Paris, 2015). Con la firma de este acuerdo, la Argentina está siendo parte activa en esta lucha a través de la presentación de su Contribución Nacional en la cual se propone limitar el crecimiento de emisiones al año 2030. Este compromiso busca revertir la tendencia creciente de emisiones de GEI a través de la implementación de políticas y acciones en materia de Cambio Climático que permitan contener el crecimiento de emisiones y definir una estrategia de descarbonización del crecimiento a futuro (MAyDS, 2017).

En este ámbito la contribución de la ganadería es significativa: su participación en el calentamiento global representa alrededor del 18 %, un porcentaje aún mayor que el del sector del transporte en todo el mundo. A la producción pecuaria se atribuye cerca del 9 % por ciento del total de las emisiones de CO<sub>2</sub>, un 37 % de CH<sub>4</sub> y un 65 % del óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Las emisiones de gases de efecto invernadero se originan principalmente en la fermentación ruminal y los desechos del ganado. Por lo que, según la FAO, se requiere una profunda transformación de los sistemas alimentarios y agrícolas en todo el mundo, siendo decisivo un cambio en la dieta para cumplir con el objetivo propuesto por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) (Grave, 2016).

En este contexto, son necesarios trabajos que evalúen estrategias de mitigación de las emisiones de GEIs de origen ganadero, evaluando alternativas de producción de proteína de origen animal que sean más eficientes en términos de aprovechamiento de la energía y que minimicen las emisiones gaseosas de GEI.

El objetivo general de este trabajo consiste en el aporte de información respecto a las emisiones de GEI (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>) de dos especies de insectos (*Blaptica Dubia* (Bd) y *Gryllus Assimilis* (Ga)) bajo dos dietas de calidad diferenciada para evaluar la sustentabilidad. A partir del objetivo general, se plantean las siguientes hipótesis:

- Existen diferencias en las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> para cada especie estudiada.
- La diferencia nutricional de cada alimento genera Patrones diferenciados de emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> provenientes de insectos son menores que los de la ganadería tradicional, en relación a la eficiencia del sistema productivo.

En virtud de las hipótesis planteadas, se plantean los siguientes objetivos:

- Desarrollar una metodología confiable, de bajo costo y de sencilla implementación para el monitoreo de las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en insectos.
- Obtener datos sobre emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en dos especies de insectos bajo diferentes dietas de alimentación.
- Correlacionar los datos obtenidos con parámetros biológicos que pudieran estar asociados.
- Analizar la sustentabilidad del empleo de insectos como fuente de alimentación humana en comparación con la ganadería tradicional.

### Referencias Bibliográficas

- Grave, C. U., La, A. P., Alimentaria, S. E. G. U. R. I. D. A. D., & Regiones, M. U. C. H. A. S. (2016). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>
- MAYDS, 2017. Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina. ISBN 978-987-1560-73-8
- Paris, C. (2015). Cumbre de Paris: Convención sobre el Cambio Climático. *Cultura de Paz*, 21(67).

## Materiales y Métodos

### Localización del proyecto

El trabajo experimental se llevó a cabo en el Grupo de Cambio Climático del Instituto de Patobiología de INTA Castelar, Provincia de Buenos Aires. El Instituto cuenta con un laboratorio que permitió ser acondicionado para el manejo de los animales en condiciones controladas de temperatura y humedad.

Este experimento para la determinación de factores de emisión en insectos se realizó en el marco del proyecto de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires “Inventario de emisión de gas metano por actividad ganadera: aplicación de sensado remoto satelital y mediciones de superficie” (PID UTN MSUTNBA0004540).

### Materiales y equipo

*Material Biológico:* Para el desarrollo del trabajo se seleccionaron dos especies de insectos los cuáles fueron provistos por el criadero Grillos Capos<sup>1</sup>. Sus características se detallan en Tabla 2.1: la cucaracha argentina *Blaptica dubia* (*Bd*) fuente potencial de proteína animal (Figura 2.1) y el grillo de campo *Gryllus assimilis* (*Ga*) considerado comestible (Figura 2.2) En el caso de las cucarachas se utilizaron especímenes juveniles de 1.5 cm, hasta adultos de 5 cm aproximadamente y en el de los grillos ninfas y adultos de 25 a 30 milímetros aproximadamente (fase en la que se estima mayor actividad metabólica).

Tabla 2.1 Descripción de las especies estudiadas, taxonomía y características.

Especie	Taxonomía	Características
<i>Blaptica dubia</i>	Phylum: Arthropoda Clase: Insecta Orden: Blattodea Familia: Blaberidae Género: Blaptica	Nombre Común: Cucaracha Argentina. Es dimórfica sexualmente; el macho tiene alas, mientras la hembra solo esboza alas, el adulto es negro amarillado a negro con algo de ligero anaranjado en manchas o puntos y solo visible con luz fuerte. Su tamaño va desde los 3 mm recién nacidas hasta los 4,5 cm aproximadamente cuando son adultos con una esperanza de vida de hasta 2 años (Proteinsecta, s. f.).

<sup>1</sup> Bioterio Grillos Capos, emprendimiento dedicado a la producción de alimento vivo para animales insectívoros ubicado en CABA. Sitio web: <http://www.grilloscapos.com.ar/>.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

El interés por esta especie para su explotación ganadera y consumo se centra en cualquiera de sus fases, puesto que su uso puede hacerse desde que son recién nacidas, donde son conocidas como “babys”, hasta fases más avanzadas donde su uso depende del animal al que se quiere alimentar (Proteinsecta, s. f.).

Nombre Común: Grillo Campestre de Jamaica.

*Gryllus assimilis*  
Phylum: Arthropoda  
Clase: Insecta  
Orden: Orthoptera  
Familia: Gryllidae  
Género: Gryllus

Es una especie que no presenta diapausa, por esa razón se constituye como presa ideal para su cría continua en cautiverio como cebo de reptiles, arácnidos y aves (Vega, 2012).

En su estado adulto su color varía de café oscuro a marrón. Con un tamaño que oscila entre 9 y 25 mm, disponen de antenas que son la mitad de tamaño que su cuerpo. Se emplea para la alimentación de animales exóticos, sobre todo de las especies de reptiles. Su ciclo de vida oscila entre el 1,5 mes hasta los 3 a 4 meses de vida, pasando por diferentes fases de desarrollo. Cada hembra puede depositar hasta 3.000 huevos al año (Proteinsecta, s. f.).

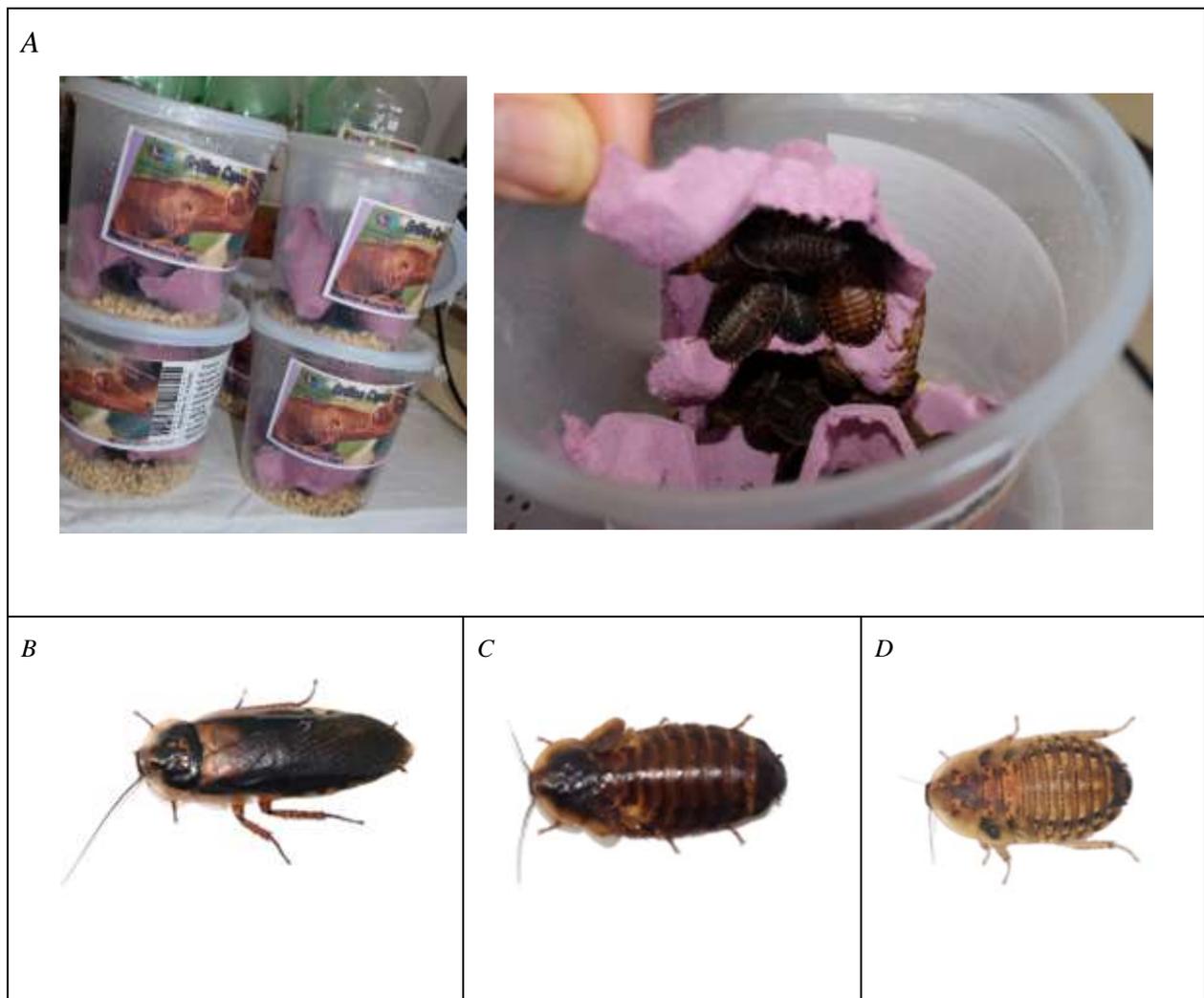


Figura 2.1. *Cucarachas Blaptica dubia*.  
*Blaptica dubia* (Bd) <sup>A</sup> (macho <sup>B</sup>, hembra <sup>C</sup> y juvenil <sup>D</sup>).

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

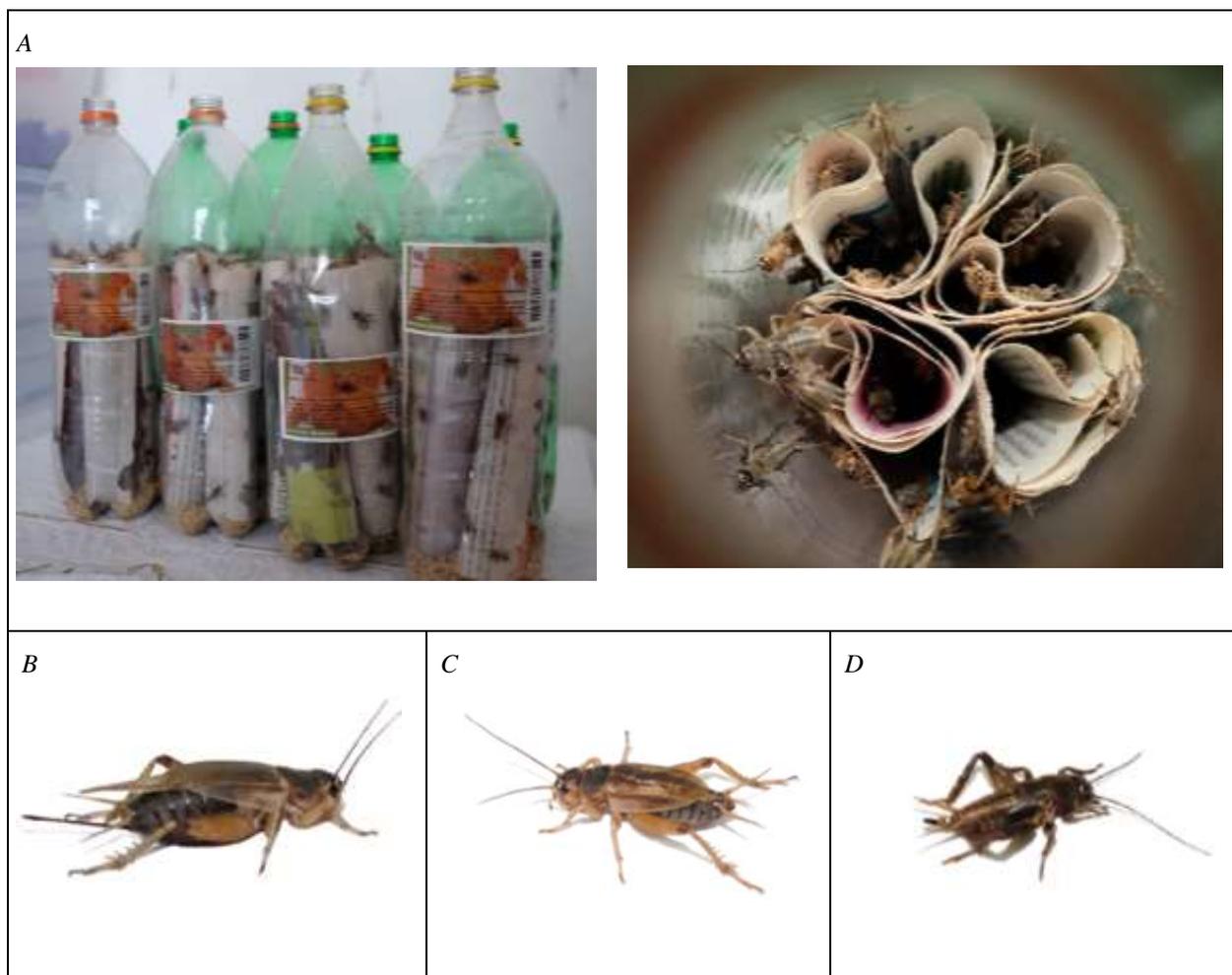


Figura 2.2 Grillos *Gryllus assimilis* *Gryllus assimilis* (Ga)<sup>A</sup>, (macho<sup>B</sup>, hembra<sup>C</sup> y juvenil<sup>D</sup>).

### Montaje: Método de cámaras de acumulación para monitoreo de gases

El método utilizado para el monitoreo de emisiones en insectos fue análogo al de las cámaras estáticas o cámaras de acumulación descritas por Conen y Smith, (2000) y Parkin y Venterea, (2010), el cual consiste en cajas o cilindros abiertos en la parte superior en los que, luego de colocar una tapa, se conforma un volumen cerrado.

Los flujos de GEI en el entorno de la interfaz suelo-atmosfera usualmente se determinan mediante la medición de la acumulación o disminución de la concentración del gas en cuestión, a corto plazo, en un recinto cerrado ubicado en la superficie del suelo cuyo diseño varía de acuerdo al sistema recolector que se utilice. Existen varios motivos que justifican la elección de este método para cuantificar las emisiones, entre los cuales se tiene:

- la posibilidad de medir flujos pequeños,

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- la sencillez de su empleo y su bajo costo.
- su diseño hace que sean de fácil instalación y remoción, lo que permite medir en diferentes sitios con el mismo equipamiento.

Las cámaras estáticas pueden recibir también otras denominaciones como tazas invertidas, cámaras de acumulación, cámaras cerradas o cámaras atmosféricas (Priano *et al.*, 2014). La idea central del método consiste en determinar la variación de la concentración de GEI, en este caso CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, dentro de una cámara abierta en su parte superior a la atmosfera y consta de una tapa removible a la que se adosa una válvula para la recolección de muestras de aire. De esta manera, se puede generar en la cámara un volumen fijo en el cual las concentraciones de GEI pueden aumentar o disminuir en función del tiempo, dependiendo si dentro de la cámara o en la interfaz se tiene una fuente o sumidero del gas. Esto se verifica con la extracción periódica de muestras de aire (al menos tres) durante un breve intervalo, por lo general no mayor a una hora. Posteriormente se determinan las concentraciones del gas de las muestras mediante técnicas cromatográficas.

El diseño de la cámara estática debe ser tal que las variaciones de concentración del gas bajo estudio sean detectables y, a la vez, permita asumir una tasa de variación constante durante el tiempo de estudio, que se calcula como la pendiente de regresión lineal que mejor ajusta los datos obtenidos. Valores negativos de la pendiente representan un secuestro del gas y valores positivos indican una emisión del mismo. Es necesario también ajustar los tiempos de medición para evitar la saturación dentro de la cámara en relación al flujo del gas de interés.

Existen algunos trabajos en los que se ha empleado esta técnica para el monitoreo de emisiones en termitas donde habitualmente la técnica se lleva a cabo en condiciones de campo enclavando la cámara en la superficie del suelo (MacDonald *et al.*, 1998). Según nuestro conocimiento, es la primera vez que se emplea el concepto de la cámara estática para el monitoreo de emisiones de GEI proveniente de insectos en condiciones controladas de laboratorio.

En este trabajo, la cámara de acumulación consistió en una caja de plástico de 34 L, la cual fue acondicionada debidamente para su uso y adecuado funcionamiento. Los bordes fueron recubiertos con una cinta de caucho, de manera tal que al colocar la tapa se garantizó un cierre hermético. A la tapa se adosó una válvula de esfera, para permitir la salida de aire de forma controlada, que en el extremo libre constó de un conector recto a un tubo de plástico de ¼” y al cual sencillamente se puede adosar una válvula de tres vías (Figura 2.3).

El interior de cada cámara se dispusieron 100 g de insectos y cada una fue acondicionada con 12 maples para aumentar el área de superficie interior y ofrecerles refugio a los individuos, además de los comederos y los bebederos (Figura 2.4). El monitoreo se efectuó por duplicado, por

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

lo cual se dispusieron en total 8 cámaras (2 especies, 2 tratamientos, por duplicado = 8 recipientes totales). Las cajas correspondientes a las Blapticas fueron además forradas con bolsas negras en el exterior para oscurecerlas y favorecer la toma de muestras, teniendo en cuenta sus hábitos nocturnos y mayor actividad en estas condiciones.



Figura 2.3 *Materiales y equipo para la toma de muestras.*

Válvulas de esfera <sup>A</sup>. Jeringas de 25 ml con válvulas de tres vías <sup>B</sup>. Termohigrometro digital <sup>C</sup>. Calentador de ambiente eléctrico <sup>D</sup>. Viales Exetainers <sup>E</sup>. Balanza digital <sup>F</sup>.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

A



B

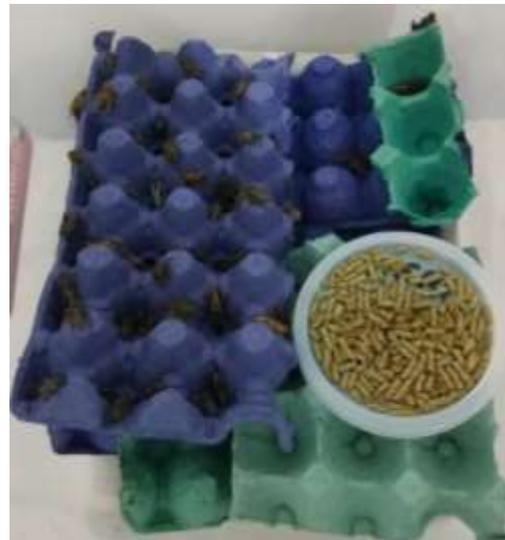


Figura 2.4 Cámaras de acumulación.

Cámaras adaptadas con bordes recubiertos con cinta de caucho para garantizar un cierre hermético y tapas acondicionadas con Válvulas de esfera para realizar las extracciones <sup>A</sup>. Montaje de *Blaptica dubia* y *Gryllus assimilis* <sup>B</sup>

EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS  
Registro de datos, toma de muestras y alimentación

El diseño de este experimento constó de dos tratamientos (Figura 2.5): la dieta 1 consistió en una mezcla de frutas y verduras (zapallito, zanahoria y pera) y la dieta 2 de alimento balanceado (Ganave Conejina).

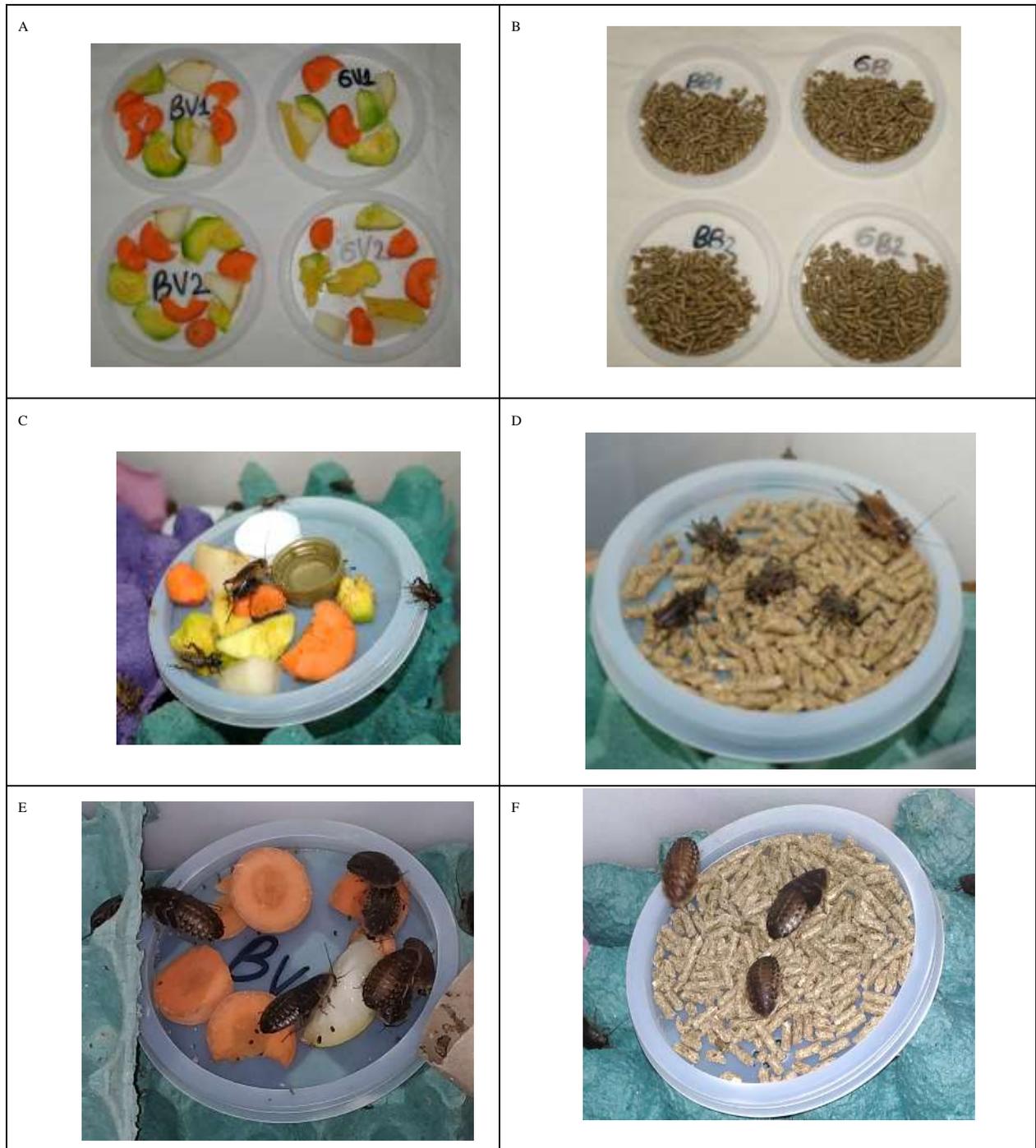


Figura 2.5 Tratamientos.  
Verduras <sup>A</sup>. Balanceado <sup>B</sup>. *Blaptica dubia*-Verduras (*BdV*) <sup>C</sup>. *Gryllus assimilis*-Verduras (*GaV*) <sup>D</sup>. *Blaptica dubia*-  
Balanceado (*BdB*) <sup>E</sup>. *Gryllus assimilis*-Balanceado (*GaB*) <sup>F</sup>

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

El estudio se llevó a cabo durante 8 días (12 horas de luz y 12 horas de oscuridad), 4 días para adaptación de los insectos a la dieta ofrecida y 4 días para la toma de muestras. Para garantizar una temperatura óptima para los insectos fue necesario calefaccionar el lugar con un calentador ambiental eléctrico.

La amplitud térmica durante todo el periodo de muestreo osciló entre los 24,5 y los 34,5°C, siendo 29°C la temperatura promedio (Figura 2.6), la humedad relativa (HR) fluctuó entre 53 y 60,3% por lo cual se garantizaron condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de los animales (Erens *et al.*, 2012). Además, cada cámara fue rociada con agua tres veces por día. El control y registro de estos parámetros se realizaron mediante un termohigrómetro digital (Figura 2.2) y durante el periodo de estudio no hubo fluctuaciones significativas de la temperatura y de la HR.

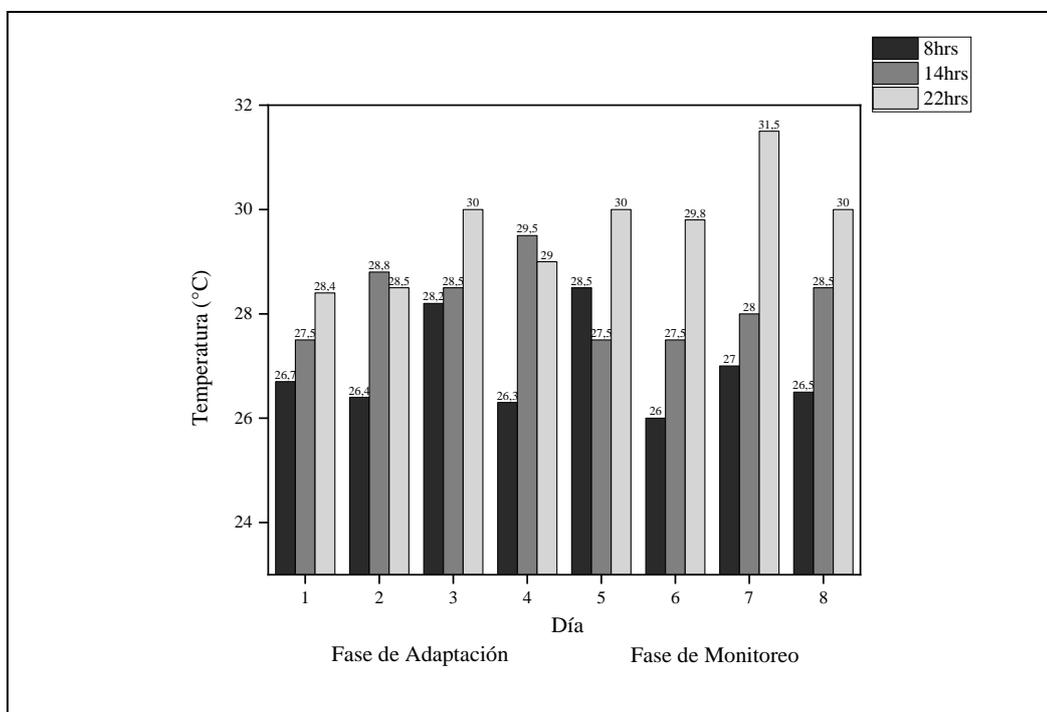


Figura 2.6 *Rango de Temperatura.*

Datos tomados durante los días de adaptación y muestreo en tres horarios (8, 14 y 22 horas). La amplitud térmica durante todo el periodo de muestreo osciló entre los 24,5 y los 34,5°C.

Los días de muestreo, previo a cada medición de flujos de gases, de cada cámara se retiró y pesó la alimentación remanente de la ofrecida el día anterior para establecer el consumo (expresado como la diferencia entre los alimentos ofrecidos y los no consumidos durante los 4 días que se midieron los flujos). Se aprovechó esta situación para el lavado y desinfección diario de comederos y bebederos.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

La medición de las emisiones se realizó después rociar las cámaras con agua y suministrar el alimento correspondiente a cada tratamiento. Una vez finalizado cada muestreo los individuos fueron pesados con una balanza digital (Figura 2.3) para determinar la ganancia de peso vivo (GPV) y contados para establecer la mortalidad (tomada como la disminución de la población en cada caja). Esta manipulación se hizo *a posteriori* a fin de reducir las condiciones estrés sobre los animales que pudieran interferir en las mediciones.

Las cajas permanecieron habitualmente abiertas y solo fueron cerradas durante el monitoreo de las emisiones (Figura 2.7) llevado a cabo a las 7 PM (horario establecido a fin de garantizar condiciones ideales entre las dos especies, teniendo en cuenta los hábitos diurnos para *Ga* y nocturnos para *Bd*). De cada caja se extrajeron 3 muestras de aire empleando una jeringa de 25 ml a intervalos establecidos de tiempo desde el momento del cierre: 0, 25 y 50 min.

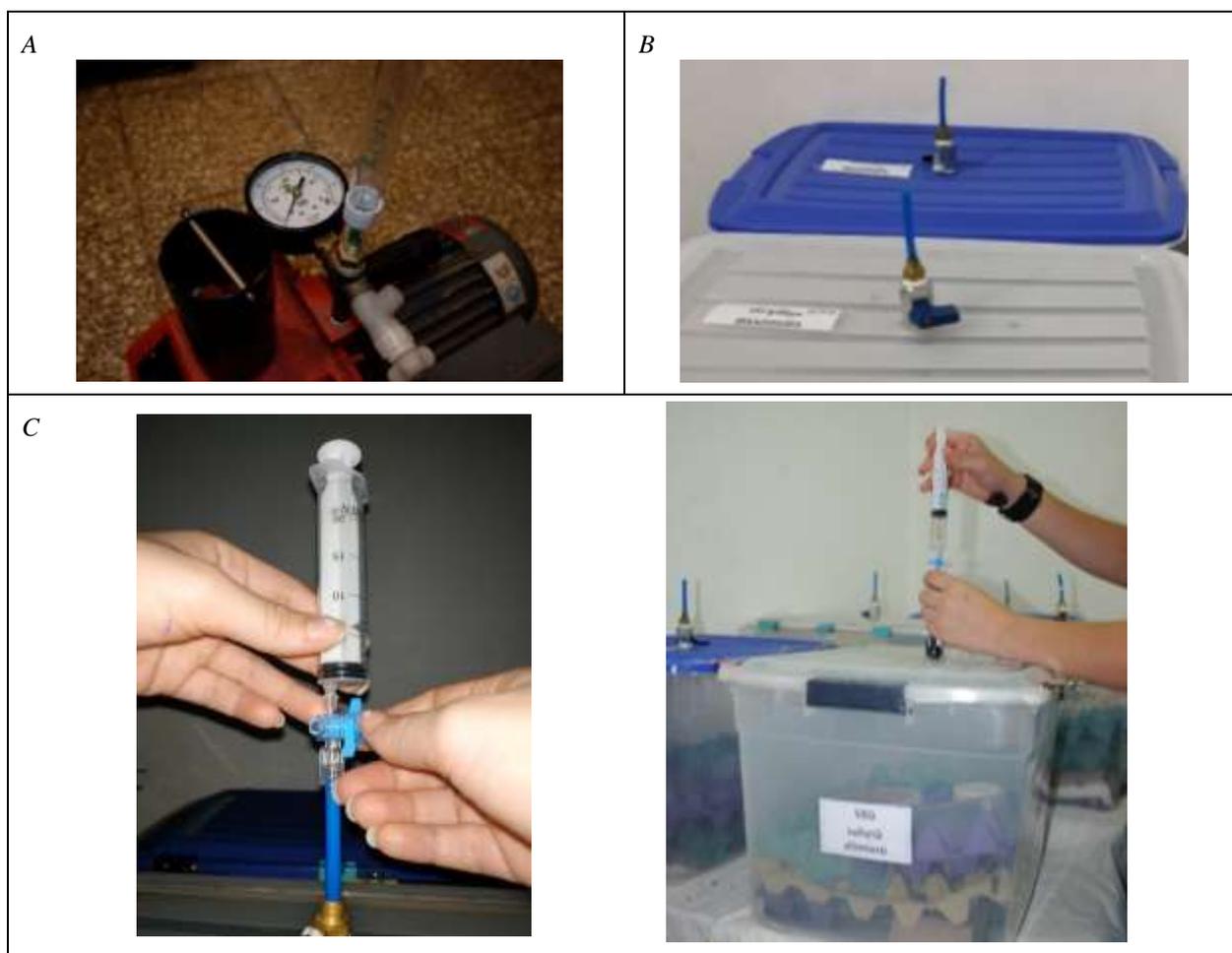


Figura 2.7 Procedimiento toma de muestras.

Vaciado de los viales mediante la bomba de vacío <sup>A</sup>. Cierre de las cámaras de acumulación manteniendo cerradas las válvulas de esfera <sup>B</sup>. Apertura de las válvulas de esfera en los intervalos de tiempo establecidos y extracción de la muestra habilitando las válvulas de tres vías <sup>C</sup>.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

Para el almacenamiento de las muestras (Figura 2.8) se emplearon viales *Exetainer* (12 ml) (Figura 2.3) los cuales fueron previamente limpiados con nitrógeno de alta pureza y evacuados empleando una bomba de vacío (Pascal PXC 100). El volumen de muestra recolectado, 25 ml, se inyectó en su totalidad en el vial, de manera que se almacenó con presión positiva. Este procedimiento se repitió durante cuatro días consecutivos a la misma hora. Las muestras fueron almacenadas hasta su posterior análisis.

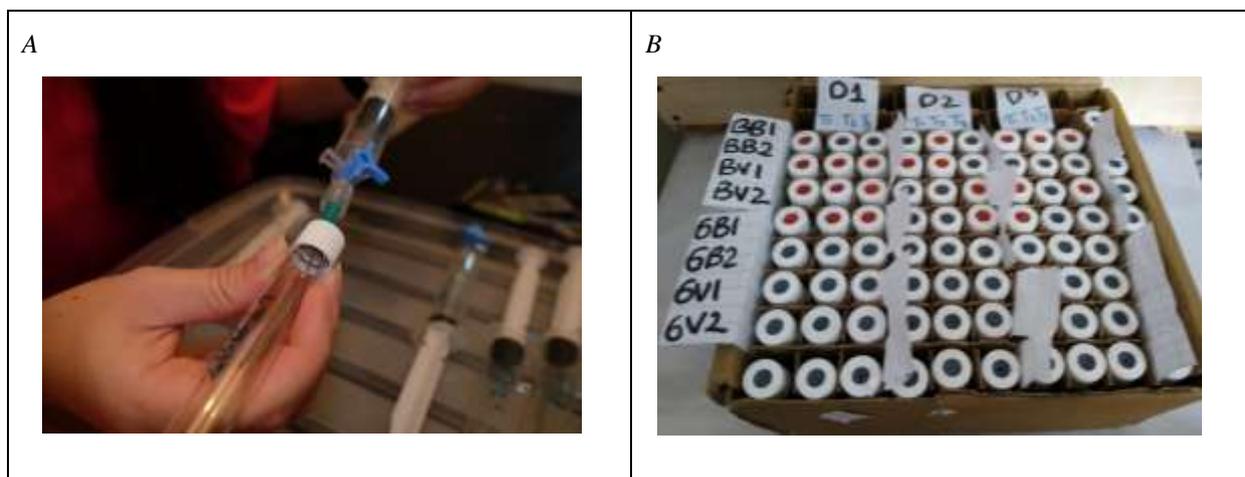


Figura 2.8 Procedimiento almacenamiento de las muestras.

Injectar las muestras en los viales <sup>A</sup>. Rotular y almacenar para su posterior análisis <sup>B</sup>.

## Medición de las concentraciones de GEI

Las concentraciones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  se analizaron mediante cromatografía de gases (Perkin Elmer 600, INTA Castelar, Hurlingham, Argentina) (Figura 2.9). Para las mediciones de  $\text{CH}_4$ , el cromatógrafo de gases cuenta con un detector de ionización de llama y una columna Elite Plot Q de 30 m (0.53 mm I.D.). Las temperaturas del horno, el inyector y el detector fueron de  $40^\circ\text{C}$ ,  $120^\circ\text{C}$ , y  $380^\circ\text{C}$ , respectivamente. El flujo de gas carrier ( $\text{N}_2$ ) de 21 psi. Los flujos de los gases inflamables (hidrógeno y aire) de 45 y 450 ml / min, respectivamente.

El equipo cuenta con un metanizador que convierte el  $\text{CO}_2$  en  $\text{CH}_4$ , y se registra un instante después en el cromatograma (Figura 2.9). Los estándares de calibración fueron de 40 ppm para el  $\text{CH}_4$  y 10000 ppm para el  $\text{CO}_2$ , que fueron convenientemente diluidos para el armado de las curvas de calibración.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

### Análisis estadísticos

A partir de la pendiente de la concentración en función del tiempo, se cuantificó la emisión de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  para cada especie. Además, se realizó un análisis de la varianza de las emisiones de ambos gases en función de las variables analizadas: especie y dieta. El Software Origin Lab 6.0 (OriginLab Corporation, 2016) fue utilizado para calcular las pendientes de las líneas de regresión.

El Software Infostat (Balzarini *et al.*, 2008) fue utilizado para el análisis de la varianza de las emisiones de ambos gases en función de las variables analizadas (ANOVA, test de Fisher LSD) y el análisis de correlación (correlación de Pearson).

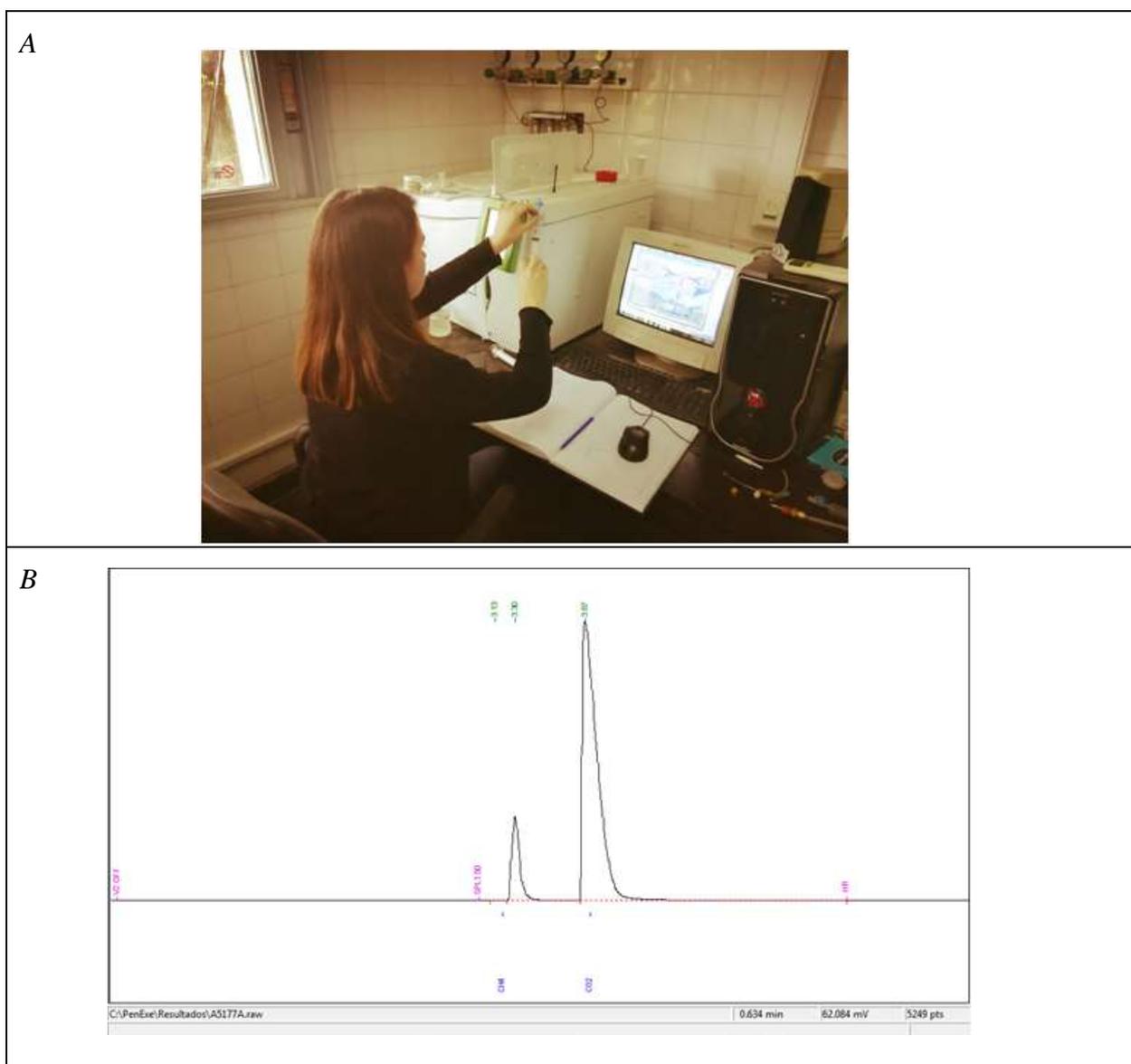


Figura 2.9 Análisis de las muestras y Cromatograma.

Cromatógrafo de gases Perkin-Elmer <sup>A</sup>. (INTA Castelar, Hurlingham, Argentina).

Cromatograma de salida del equipo <sup>B</sup>. El primer pico corresponde al  $\text{CH}_4$  y el segundo al  $\text{CO}_2$ .

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

### Referencias bibliográficas

- Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., & Robledo, C. W. (2008). InfoStat: software estadístico: manual del usuario. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina.
- Conen, F., & Smith, K. A. (2000). An explanation of linear increases in gas concentration under closed chambers used to measure gas exchange between soil and the atmosphere. *European Journal of Soil Science*, 51(1), 111-117.
- Erens, J., Es Van S, H. F., Kapsomenou, E., & Luijben, A. (2012). A bug's life. Large scale insect rearing in relation to animal welfare. VENIK, Wageningen.
- Macdonald, J. A., Eggleton, P., Bignell, D. E., Forzi, F., & Fowler, D. (1998). Methane emission by termites and oxidation by soils, across a forest disturbance gradient in the Mbalmayo Forest Reserve, Cameroon. *Global Change Biology*, 4(4), 409-418.
- OriginPro, S. R. (2016). OriginLab Corporation. Northampton, MA, USA.
- Parkin, T. B., & Venterea, R. T. (2010). USDA-ARS GRACEnet project protocols, chapter 3. Chamber-based trace gas flux measurements. Sampling protocols. Beltsville, MD p, 1-39.
- Priano M. E., Fuse´ V. S., Gere J. I., Berkovic A. M., Williams K. E., Guzman S. A., Gratton R. Juliarena M. P. 2014. Tree plantations on a grassland region: effects on methane uptake by soils. *Agroforest Syst.* 2014. 88:187–191 DOI 10.1007/s10457-013-9661-6. Pp 1-5.
- Proteinsecta (s.f.) Disponible en <https://www.proteinsecta.es/> último acceso 16/06/2020).
- Vega, P. B. (2012). El grillo de campo jamaicano, *Gryllus assimilis* (Fabricius, 1775), posible especie invasora para España (Orthoptera, Gryllidae). *Boletín de la SEA*, (50), 537-538.

## Análisis de la Alimentación de los Animales, Consumo de Alimento y Ganancia de Peso Vivo

### Composición nutricional de la dieta ofrecida

En la Tabla 3.1 se presenta la composición nutricional de las dietas ofrecidas durante el experimento. Las mismas fueron seleccionadas en virtud de que son empleadas habitualmente en los criaderos de las especies animales estudiadas. Por ejemplo, en plantas de producción como Proteinsecta, los grillos y las cucarachas son alimentados con piensos compuestos, fabricados con harinas y semillas, con carga proteica aproximada del 18% (Proteinsecta, 2020) (la carga proteica del alimento balanceado utilizado es similar, ya que es del orden del 15%).

Tabla 3.1 Tratamientos: Valor Nutricional (Base seca por gramo).

	Balanceado <sup>1</sup>	Verdura <sup>2</sup>
Materia Seca (%)	87	12
Lípidos (%)	3	0.15
Proteínas (%)	15	0.7
Carbohidratos (%)	-	5.1
Energía (Kcal/g)	2.5	41

Alimento balanceado complementario del forraje<sup>1</sup>: alfalfa deshidratada, afrecillo, trigo, maíz, harina de soja, cebada, avena, brotes de malta girasol, harina de girasol, sal, ceniza de hueso, harina de carne, núcleo vitamínicos y antioxidantes (Ganave Conejina). Verdura<sup>2</sup>: Mezcla de zapallito, zanahoria y pera.

Nota: Valores nutricionales. Para balanceado: en función de la etiqueta del producto Conejina Ganave. Para verdura: valores promedio obtenidos de los tres componentes, tomados de Closa (2002).

Halloran *et al.* (2016) recomiendan para las especies de insectos de cultivo alimentos de alta calidad y alto contenido de proteínas para disminuir el tiempo requerido para la cosecha. Nakagaki y Defoliart (1991) en un ensayo de alimentación utilizaron una dieta de mantenimiento granulada disponible comercialmente para conejos no reproductores (Purina Rabbit Chow, Purina Mills, St. Louis, Missouri) con valores nutricionales (Lípidos: 2%, Proteínas: 14%, Fibra: 20% y Energía: 20 Kcal/g) semejantes a los usados en el tratamiento balanceado.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

La verdura es considerada una alternativa viable para la alimentación de insectos, y fue seleccionada debido a que constituye una dieta contrastante en relación al balanceado, con un contenido de proteína significativamente menor y un mayor contenido de carbohidratos. Los grillos y las cucarachas son omnívoros y pueden alimentarse de diferentes maneras dependiendo de su hábitat, pueden ser alimentados con partes vegetales desechadas de la dieta humana, como tallos y hojas, o plantas naturales no aprovechadas por el hombre (Chakravorty *et al.*, 2014).

### Consumo de alimento y ganancia de peso vivo

En el período de adaptación (4 días), los insectos mostraron poca actividad debido al estrés generado por el proceso de reubicación (principalmente durante los dos primeros días). *Bd* manifestó menor actividad que *Ga* quienes evidenciaron una mejor adaptación.

Durante el muestreo de las emisiones de gases (4 días) fue necesaria la manipulación de las cámaras de acumulación para el sellado de las mismas. El primer día la extracción se realizó con la luz encendida y con el ruido producido por la bomba de vacío cerca de las cajas. Tratando de evitar el estrés en los individuos, los demás días la toma de muestras se realizó con la luz apagada, utilizando la bomba de vacío lejos de las cajas de acumulación. La actividad de los insectos aumentó después de la extracción de muestras.

Los datos comportamentales: consumo de alimento, ganancia de peso vivo (GPV) y mortalidad para *Blaptica dubia* (*Bd*) y *Gryllus assimilis* (*Ga*) se evidencian en la Tabla 3.2. Para poder analizar dichos factores, es necesario tener en cuenta que el estudio se realizó con dos especies de insectos y que, en términos de su biología y fase del ciclo de vida, su comportamiento y hábitos difieren entre sí.

Tabla 3.2. Datos de comportamiento, consumo de alimento y ganancia de peso vivo.

	<i>BdB</i>	<i>BdV</i>	p Valor	<i>GaB</i>	<i>GaV</i>	P Valor
Consumo (g/d animal)	0.0200±0.0024	0.1100±0.0100	<0.001	0.0500±0.0100	0.0500±0.0100	0.2016
GPV (kg/d animal)	0.0000170± 0.0000027	0.0000300± 0.0000180	0.4356	0.0000270± 0.0000250	0.0000170± 0.0002600	0.6411
Mortalidad %	2.3	5.9	Sd	23.5	35.7	sd

Nota. (*BdB*): Blapticas-Balanceado, (*BdV*): Blapticas-Verduras, (*GaB*): Gryllus-Balanceado y (*GaV*): Gryllus-Verdura ±: Desviación estándar. Consumo: Cantidad de alimento consumido por cada especie, mediciones para cada tratamiento. GPV: Ganancia de Peso Vivo durante 4 días. Mortalidad: % de insectos muertos al final del ensayo. sd: Sin dato.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

A partir de los resultados obtenidos (Tabla 3.2) se observa que existen diferencias estadísticamente significativas en el consumo medido, en el caso de las *Bd* para cada uno de los tratamientos. Las cucarachas consumieron más verdura que alimento balanceado, mientras que los grillos parecen no haber tenido preferencia por alguno de los alimentos ofrecidos. Un mayor consumo de verduras respecto a balanceado puede estar asociado a dos factores: por un lado, la alta proporción de agua de las verduras y por otro, el requerimiento de nutrientes dada la baja calidad nutricional del tratamiento Verdura.

Los valores de consumo obtenidos para *Blaptica dubia* (*BdB*  $0.02 \pm 0.0024$ , *BdV*  $0.11 \pm 0.01$ ) y *Gryllus assimilis* (*GaB* y *GaV*  $0.05 \pm 0.01$ ) son comparables con los reportados en diferentes investigaciones. Ardestani *et al.* (2020) observaron un consumo de 0.020 g/d de hojarasca para *Bd* y Gelperin (1971) obtuvo 0.02 g/d en una dieta de carbohidratos sólidos para la cucaracha *Blattella germanica* (*Bg*). Para grillos *Acheta domesticus* (*Ad*) Woodring *et al.* (1979) obtuvieron valores de 0.074 g/d. en una mezcla de harinas (alfalfa, maíz, pescado, milo, soja, avena de trigo, carne molida, alimento para aves) y Collavo *et al.* (2005) registraron 0,016 g/d. en una dieta de desechos.

La GPV se calculó tomando los pesos individuales (finales e iniciales) en el periodo de tiempo de muestreo (4 días). Al respecto se observa (Tabla 3.3) que no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para las dos especies. En el caso de *Ga* tenemos, si bien no hay diferencias estadísticamente significativas por la alta dispersión de los datos, ante un mismo valor de consumo la GPV fue ligeramente superior en los animales que ingirieron balanceado.

Los valores que se reportan están comprendidos entre los  $1.7e-5$  y los  $3.0e-5$  kg/d (*BdB*:  $0,000017 \pm 0,0000027$ , *BdV*:  $0,000030 \pm 0,000018$ , *GaB*:  $0,000027 \pm 0,000025$  y *GaV*:  $0,000017 \pm 0,000026$ ). Dichos resultados son del orden de los reportados por Collavo *et al.* (2005)  $1,14e-05$  kg/d para *Ad* en una dieta de desechos humanos y los de Tawes, (2014) para *Gryllus texensis* (*Gt*)  $1.71e-5$  kg/d en una dieta de alta calidad (AC) (75% de pescado y 25% de avena) y  $1.42e-5$  kg/d alternando entre la dieta de AC y una de baja calidad (25% de pescado y 75% de avena).

Sin embargo, los resultados que se obtuvieron en este estudio son mayores que los de Ardestani *et al.* (2020) para *Bd* alimentadas con hojarasca de dos especies vegetales: *Alnus glutinosa*  $2.4e-6$  kg/d y *Quercus rubor*  $5.1e-7$  kg/d; y los de Woodring *et al.* (1979) para *Ad*  $8.8e-6$  kg/d). Cabe mencionar que debido a que el objetivo central de esta investigación es la medición de emisiones de GEI en insectos, la metodología utilizada para la obtención de los datos de

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

Consumo y GPV puede tener un grado de error, que podría sobrestimar los resultados. Por lo se recomienda tener en cuenta variables puntuales como la edad, el sexo y la dieta al momento de realizar estas estimaciones, tal y como lo hace la literatura y el monitoreo del peso sobre periodos prolongados de tiempo (podría disminuir significativamente la dispersión de los resultados).

Los grillos tuvieron un mayor porcentaje de mortalidad en relación a las cucarachas, siendo 23.5% y 35.7% para *GaB* y *GaV* respectivamente y 2,3% y 5,9% para *BdB* y *BdV*. Comparando entre tratamientos el mayor porcentaje mortalidad se dio en los individuos alimentados con verduras. Varios autores relacionan la viabilidad de la población, la tasa de crecimiento y la capacidad de acumulación de biomasa con la composición del sustrato alimentario, donde dietas de baja calidad producen mayor tasa de mortalidad debido a la deficiencia nutricional de las mismas (Doberman *et al.*, 2019; Collavo *et al.*, 2005; Lundy & Parrella, 2015; Oonincx *et al.*, 2015).

Factores como la temperatura y la humedad juegan un papel importante en el desarrollo de los insectos y estar fuera de los parámetros adecuados para cada especie puede causar estrés, retrasos en crecimiento e incluso la muerte. Temperaturas más bajas que lo óptimo conducirá a un retraso en el desarrollo y temperaturas más altas producirán estrés: ambos extremos conducen a un aumento de la mortalidad y a una menor productividad general del criadero (Erens *et al.*, 2012). En este estudio la humedad relativa y la temperatura (figura 2.5) se hallaron en un rango óptimo para la cría de estos animales razón por la que se considera que no afectó la supervivencia de los individuos.

Los factores que pudieron influir en nuestros resultados pueden atribuirse al estrés al que estuvieron sometidos en diferentes momentos, incluyendo el empaquetado en el criadero, el transporte, el tiempo de adaptación, la preparación para la toma de muestras y la manipulación que se realizó diariamente en la fase de monitoreo. Por otro lado, en el caso de los grillos se usaron ninfas y adultos de dos a dos meses y medio de vida. y la esperanza de vida en cautiverio es de dos a tres meses aproximadamente dependiendo de las condiciones ambientales en la que se desarrollen. En el caso de las cucarachas la mortalidad fue menor y puede deberse a que son más resistentes a los cambios ambientales, conjuntamente con el hecho de que su ciclo de vida es mucho más largo, pudiendo vivir hasta dos años en condiciones de cautiverio (Proteinsecta, 2020).

### **Relación de conversión alimenticia**

Los insectos son una potencial alternativa en la producción de proteína animal dadas sus características fisiológicas y biológicas que conducen a una alta eficiencia de conversión de

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

alimento. Por ejemplo, en comparación con las especies de ganado tradicionales, son extremadamente eficientes para convertir las proteínas consumidas en proteína animal y alimento, y la energía en energía alimentaria (Halloran *et al.*, 2016). Según Ramos-Elorduy (2008), esto se debe a que los insectos son poiquilotermos (de sangre fría), lo que significa que no utilizan su metabolismo para mantener la temperatura corporal, a diferencia de los animales homeotermos (de sangre caliente).

La eficiencia de conversión de alimentos en los sistemas de producción animal puede expresarse de diferentes maneras, siendo la más común la tasa de conversión de alimento (FCR), que es la cantidad de alimento (kg) necesario para producir un kg de aumento de peso del animal, expresada como la masa de alimento consumido por ganancia diaria de peso (Dobermann *et al.*, 2019) (ecuación 3.1):

$$\frac{\text{Masa de alimento consumido}}{\text{Ganancia Diaria}} = \text{FCR} \quad (3.1)$$

Los entomólogos, sin embargo, usan comúnmente la eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos (ECI) (Oonincx, *et al.*, 2015), medida general de la capacidad que tiene un insecto de utilizar los alimentos que ingiere para su crecimiento. Este factor también proporciona información sobre la eficiencia con la que se convierte el alimento. La ECI se calcula como (peso ganado / peso de los alimentos consumidos)  $\times$  100%. (Waldbauer, 1968) (ecuación 3.2):

$$\frac{\text{Ganancia Diaria}}{\text{Consumo diario}} * 100\% = \text{ECI} \quad (3.2)$$

En escenarios ideales, se espera una ECI alta (el 100% es conversión perfecta) y una FCR baja (1 es conversión perfecta). Tanto los cálculos de FCR como de ECI se pueden realizar sobre la base de materia fresca o seca y se pueden utilizar para conversiones de nutrientes específicos (Dobermann *et al.*, 2019).

La eficiencia de conversión alimenticia es uno de los factores a tenerse en cuenta al elegir alternativas alimentarias ecológicamente viables para el futuro (Nakagaki & DeFoliart, 1991). Sin embargo, según Halloran *et al.* (2016) es difícil de comparar entre estudios, dado que la mayoría se han realizado en entornos de laboratorio y posiblemente no representan con precisión condiciones reales en los criaderos, al variar factores como densidad poblacional, dieta y temperatura.

La eficiencia con la que se utilizan los alimentos digeridos para el crecimiento no solo depende del requerimiento de energía por parte del animal sino también del equilibrio de nutrientes. Una alta eficiencia requiere de dietas óptimas y mayores conocimientos sobre las

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

necesidades nutricionales de las especies de insectos. Además, al igual que en la agricultura convencional, la selección genética puede contribuir aún más en este aspecto (Van Huis & Oonincx, 2017).

A partir de los resultados obtenidos fue posible analizar la FCR y la ECI, expresadas en peso fresco. En la Tabla 3.3 se muestran los datos para *Bd* y *Ga* junto a datos reportados por otros trabajos para algunas especies de insectos potencialmente comestibles. Las diferencias que pueden encontrarse entre los valores obtenidos y los de la literatura, pueden atribuirse a diferencias de temperatura, dieta y estado del desarrollo en el que se encuentren los insectos al momento de obtener los datos (Oonincx *et al.*, 2015).

En *Bd* la conversión de alimento fue más eficiente con el tratamiento Balanceado, siendo los valores de FCR y ECI 1,2 y 80% respectivamente frente a 3.7 y 27 % para el tratamiento verdura. Este resultado es comparable al obtenido por Oonincx *et al.* (2015) donde en *Bd* se obtuvo un valor de FCR de 1.5 para una dieta baja en proteínas y alta en grasas. En una dieta similar al tratamiento balanceado, alta en proteínas y baja en grasas se obtuvo un valor ligeramente superior. Sin embargo, las ECI están por debajo del 30%. Otra especie de cucaracha, *Periplaneta americana* (*Pa*) alimentada con materia orgánica también mostró una FCR similar (1.8) (Ramos-Elorduy, 2008) a la obtenida por *BdB*.

Para el caso de *GaB* los valores obtenidos de FCR y ECI son 2.0 y 50% respectivamente, y 2,7 y 36 % en *GaV*. Estos resultados son del mismo orden de estudios realizados en grillos *A. domesticus* (*Ad*) y *G. bimaculatus* (*Gb*). En *Ad* el mayor rendimiento se da en una dieta de desechos alimenticios con FCR 1.06 y ECI 65% respectivamente (Collavo *et al.*, 2005), seguida por la dieta que empleó un alimento especialmente formulado para grillos, con un FCR 1.08 y un ECI del 93%. Un alimento balanceado, de características similares a las utilizadas en este experimento, mostró un FCR de 1,65 y una ECI de 61% (Nakagaki & Defoliart, 1991). Con una dieta para aves la FCR fue 1,3 (Lundy & Parrella, 2015) y el estudio de Ramos-Elorduy, (2008) obtuvo una FCR de 2.28, similar a la obtenida en este trabajo con *GaV*. Valores más disimiles fueron reportados para *Gb* empleando alimento para pollos y mezcla de desperdicio vegetal, FCR 3.07 y ECI del 45.09 % (Dobermann *et al.* 2019).

Alimentar a los insectos con fruta y verdura le otorga a la producción y consumo de insectos un valor agregado, dado que las especies cultivadas podrían alimentarse de desechos orgánicos o residuos agrícolas, reduciendo un porcentaje de la materia orgánica que se convierte en basura (Van Huis *et al.*, 2013). Además, según Lundy & Parrella (2015), las emisiones de GEI que resultan de la descomposición de los desechos de alimentos en los vertederos podrían reducirse

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

drásticamente si las corrientes de desechos se desvían a través del metabolismo de los insectos, constituyendo un componente de emisión indirecta que podría reducirse de manera adicional.

Tabla 3.3 Eficiencia de conversión de alimento (FCR) y Eficiencia de conversión de alimento ingerido (ECI)

	Especie	FCR	ECI (%)	Dieta	Estado metamórfico	T° promedio	Fuente
CUCARACHAS	<i>Blaptica dubia</i>	1.20	80	Balanceado	Ninfas	29.5 °C	Datos Propios
		3.70	27	Verduras	Adultos		
		1.70 ± 0.24c	21 ± 3.0	HPHF	Ninfas	28 °C	(Ooninx <i>et al.</i> , 2015)
		2.30 ± 0.35ab	16 ± 2.7	HPLF			
		1.50 ± 0.19c	30 ± 3.9	LPHF			
		1.70 ± 0.15bc	18 ± 1.9	LPLF			
	<i>Periplaneta americana</i>	1.83	-	Materia Orgánica	Adultos	-	(Ramos-Elorduy, 2008)
GRILLOS	<i>Gryllus assimilis</i>	2	50	Balanceado	Ninfas	29.5 °C	Datos Propios
		2.70	36	Verdura	Adultos		
	<i>Acheta domestica</i>	1.65±0.03	61	Purina Rabbit Chow	Ninfas	33 ± 35 °C	(Nakagaki & Defoliart 1991)
		1.08 ± 0.01a	93	Alimento de grillo de Selph	Ninfas	-	(Nakagaki & Defoliart 1991)
		1.06	65 ± 1.73	Dieta de desechos	de 59 días (Adultos)	30.5 °C	(Collavo <i>et al.</i> , 2005)
		1.37	-	Alimento de aves de corral (PF)	Ninfas a adultos	29.0 ± 2.1 °C	(Lundy & Parrella, 2015).
		1.80	-	Desechos alimentarios (1-FW1)	Ninfas a adultos	29.0 ± 2.1 °C	
		2.28	-	Materia Orgánica	Adultos	-	(Ramos-Elorduy, 2008).
	<i>Gryllus bimaculatus</i>	3.07±0.46	33.15±4.92	Alimento para pollos FFL	Ninfas	30 °C	(Dobermann <i>et al.</i> , 2019)
		45.09±45.63	4.66±4.50	Mezcla de desperdicio vegetal			

Detalle: HPHF (alta en proteínas y grasas). HPLF (alta en proteínas, baja en grasas). LPHF (baja en proteínas, alta en grasas). LPLF (bajo en proteínas, bajo en grasas). Purina Rabbit Chow (Lípidos: 2%, Proteínas: 14%, Fibra: 20% y Energía: 20 Kcal/g). Alimento de grillo de Selph (ingredientes no divulgado). Dieta de desechos (frutas y verduras 34%, arroz y pasta 27%, cerdo y ternera carne 11%, pan 11%, pieles de queso 11%, yema 6%). Alimento para pollos FFL Fancy Feed Layers Pellets (19% proteína, 3.9% de aceite, 4.0% de fibra y 5.9% de ceniza). Mezcla de desperdicio vegetal (compuesto por 9.1%, proteína, 1.7% de aceite, 5.1% de fibra y 6.0% de cenizas). Alto en proteínas, alto en grasas (60% de granos gastados, 20% de levadura de cerveza, 20% de restos de galletas). (promedio ± desviación estándar). Nota: (adaptado de Halloran *et al.*, 2016).

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

De esta manera, se disminuye la contaminación ambiental transformando los desechos en alimentos ricos en proteínas. Sin embargo, parece ser que las dietas vegetales tienen menor FCR y ECI, por lo cual hay que analizar si se equilibran convenientemente las ventajas y desventajas.

Dado que se ha identificado el contenido de proteínas del alimento como un motor importante de supervivencia, crecimiento y desarrollo, es muy probable que la falta de crecimiento de los individuos en dietas de desechos esté relacionada con la carencia proteica. Ooninx *et al.*, (2015) destaca la necesidad de identificar fuentes de alimento sostenibles basadas en desechos que sean suficientemente altas en proteínas para mejorar la supervivencia de los grillos y los demás insectos cultivables. Esto sería posible empleando desechos de carne y despojos de mataderos locales como fuente de alimento, entendiendo la necesidad de un paso adicional en el procesamiento de los desechos para poder ofrecerlos como alimento (Ooninx *et al.*, 2015).

Los grillos tienen diferentes estadios larvales y en cada uno de ellos tienen diferentes requerimientos nutricionales. Estudios en *Ad*, han demostrado que, en las diferentes etapas de la vida del grillo, se metaboliza comida de forma diferente (Woodring *et al.*, 1979). Por lo tanto, parece probable que usar diferentes dietas para diferentes etapas de vida de los grillos permitirían un sistema de producción sostenible (Dobermann *et al.*, 2019). Para dietas de desechos, por ejemplo, Collavo *et al.* (2005) obtuvieron un FCR de 1.06 y un ECI de 67 %, valores similares obtenidos para nuestro ensayo en grillos alimentados con balanceado. De esta manera, para aumentar la productividad, una estrategia viable puede ser alimentar con desechos vegetales en los estadios iniciales, y con balanceado en los finales, para mantener las eficiencias de conversión altas.

Sin embargo, hay que seguir evaluando si con dietas compuestas completamente de desechos biológicos la producción de grillos sigue siendo viable (Lundy & Parrella, 2015; Ooninx *et al.*, 2015), y según Dobermann *et al.*, (2019), hasta la fecha la alimentación para pollos sigue siendo la mejor opción para su producción a gran escala. De esta manera, el diseño de regímenes de alimentación cuya calidad se incremente en el tiempo, es una alternativa que podría reducir la dependencia de balanceado en la producción de grillos a escala comercial.

Por ahora un uso más amplio de residuos alimenticios en la manutención de insectos está siendo sometido a evaluación a nivel reglamentario (incluyendo el uso de restos de carne y pescado), por lo que este permiso podría llegar en 2022 (Proteinsecta, 2020). Dado que los datos sobre la transferencia de contaminantes químicos de diferentes sustratos a los insectos son muy limitados, es necesario evaluar específicamente los peligros de los insectos que se alimentan de

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

estos sustratos y el impacto que pueden tener sobre la calidad del producto ofrecido al consumidor (Van der Fels, 2015).

### Referencias bibliográficas

- Ardestani, M. M., Šustr, V., Hnilička, F., & Frouz, J. (2020). Food consumption of the cockroach species *Blattella germanica* Serville (Blattodea: Blattellidae) using three leaf litter types in a microcosm design. *Applied Soil Ecology*, *150*, 103460.
- Brunori, J., Fazzoni, R., & Figueroa, M. E. (2012). Buenas prácticas pecuarias para la producción y comercialización porcina familiar (No. Q02/4). Ministerio de Agricultura de la República Argentina, Buenos Aires (Argentina) FAOINTA.
- Chakravorty, J., Ghosh, S., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2014). Nutritional composition of *Chondacris rosea* and *Brachytrupes orientalis*: two common insects used as food by tribes of Arunachal Pradesh, India. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *17*(3), 407-415.
- Closa, S. S., & de Landeta, M. C. (2002). Tablas de Composición de Alimentos. Base de datos ARGENFOODS. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 10 de Julio de 2020 de <http://www.argenfoods.unlu.edu.ar/Tablas/Tabla.htm>
- Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y. S., Chuang, L. T., Bosse, R. E. B. E. C. C. A., & Paoletti, M. G. (2005). *House cricket small-scale farming. Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*, *27*, 515-540.
- Dobermann, D., Michaelson, L., & Field, L. M. (2019). The effect of an initial high-quality feeding regime on the survival of *Gryllus bimaculatus* (black cricket) on bio-waste. *Journal of Insects as Food and Feed*, *5*(2), 117-123.
- Erens, J., Es Van S, H. F., Kapsomenou, E., & Luijben, A. (2012). A bug's life. Large scale insect rearing in relation to animal welfare. VENIK, Wageningen.
- Gelperin, A. (1971). Regulation of feeding. *Annual review of entomology*, *16*(1), 365-378.
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., & Bruun, S. (2016). Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*(4), 57.
- Lundy ME, Parrella MP ((2015)). Crickets Are Not a Free Lunch: Protein Capture from Scalable Organic Side-Streams via High-Density Populations of *Acheta domesticus*. *PLoS One* *10* (4): e0118785.
- Nakagaki, B. J., & Defoliart, G. R. (1991). Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. *Journal of Economic Entomology*, *84*(3), 891-896.
- Oonincx, D. G., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., & van Loon, J. J. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS One*, *10*(12).
- Proteinsecta, (2020) Alimentos autorizados para insectos de granja. Disponible en <https://www.proteinsecta.es/alimentos-autorizados-para-insectos-de-granja/> último acceso 02/06/2020

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Ramos-Elorduy, J. (2008). Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance. *Ecology of food and nutrition*, 47(3), 280-297.
- Tawes, B. (2014). The effect of changing juvenile nutritional conditions and compensatory growth on life history traits in a field cricket, *Gryllus texensis*.
- Van der Fels, H. J. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed: EFSA Scientific Committee. *EFSA Journal*, 13(10), 4257.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security* (No. 171). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Van Huis, A., & Oonincx, D. G. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), 43.
- Waldbauer, G. P. (1968). The consumption and utilization of food by *insects*. In *Advances in insect physiology* (Vol. 5, pp. 229-288). Academic Press.
- Woodring, J. P., Clifford, C. W., & Beckman, B. R. (1979). Food utilization and metabolic efficiency in larval and adult house crickets. *Journal of Insect Physiology*, 25(12), 903-912.

## Análisis de las Emisiones de GEI

### Monitoreo de las concentraciones y cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>

A partir de la pendiente de la concentración en función del tiempo, se cuantificó la emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> para cada especie. De esta forma es posible estimar el flujo medio durante la secuencia de muestras mediante la ecuación (1):

$$f = \frac{\Delta C}{\Delta t} * \frac{\rho V}{A} \quad (1)$$

Donde  $\frac{\Delta C}{\Delta t}$  es la variación de la concentración en el tiempo,  $\rho$  la densidad del aire,  $V$  el volumen de la cámara y  $A$  el área basal de la misma.

En la Figura 4.1 se presentan a modo de ejemplo la variación de la concentración (respecto a la concentración en tiempo 0) durante los tres tiempos de muestreo para algunas de las cámaras durante el periodo de muestreo. Se seleccionaron cámaras y tratamientos con pendientes diferenciadas para mejorar la visibilidad. La concentración de CO<sub>2</sub> aumenta de forma lineal ( $R^2 > 0,89$ ) en todas las cámaras durante todo el periodo de muestreo. Este resultado es importante porque pone en evidencia que, para los flujos medidos, el rango de tiempo elegido (de 0 a 50 min) es un rango adecuado y que en ningún caso se alcanzaron concentraciones cercanas a la concentración de saturación.

En el caso del CH<sub>4</sub>, solo se registraron flujos positivos y aumento de la concentración de forma lineal ( $R^2 > 0,85$ ) para *Bd*. En el caso de *Ga*, las concentraciones oscilan alrededor de un valor medio cercano a los niveles basales de concentración atmosférica (2 ppm), por lo cual, si bien se estima el flujo a los efectos de poder cuantificar la emisión, está tiene un alto nivel de incertidumbre y presenta valores muy bajos y cercanos a cero. Aunque los valores de emisión obtenidos son despreciables con respecto a los obtenidos con *Bd*, se calcularon para poder efectuar la estadística comparativa. Las fluctuaciones de la concentración pueden deberse al error analítico de la técnica cromatográfica empleada (para el caso del CH<sub>4</sub> es bajo, del orden del 2%) y la variación originada de los niveles basales por los flujos positivos de cámaras aledañas (dado que todas las cámaras se encuentran en la misma habitación).

Los resultados obtenidos en lo que respecta al funcionamiento de la metodología de cámaras atmosféricas son comparables a los obtenidos por Priano *et al.* (2014) en monitoreos de emisiones y secuestros de gases en suelos, por lo que se puede concluir que la técnica de cámaras

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

estáticas es adecuada para el monitoreo de emisiones en insectos.

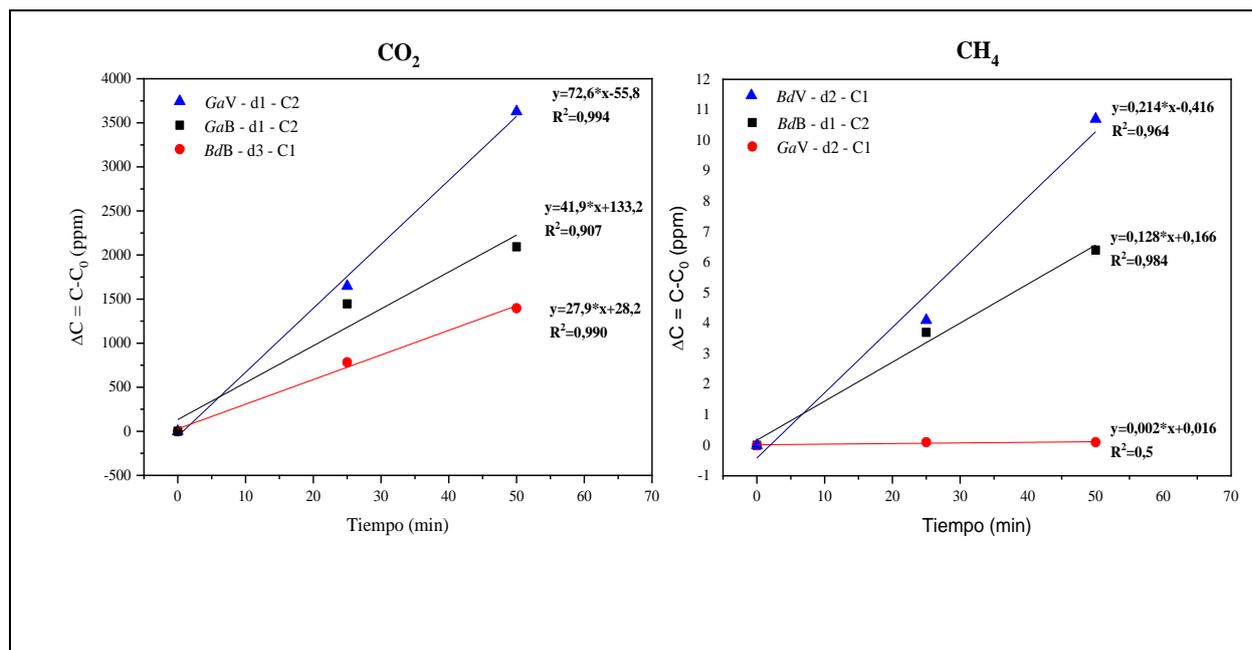


Figura 4.1 Concentración de GEI vs Tiempo

Emisión de CO<sub>2</sub>: GaV- d1- C2: *Gryllus assimilis*-Verdura día 1 Cámara 2. GaB- d1- C1: *Gryllus assimilis* - Balanceado día 1 Cámara 2 y BdB- d3-C1: *Blaptica dubia*-Balanceado día 3 Cámara 1. Emisión de CH<sub>4</sub>: BdV- d2- C1: *Blaptica dubia*-Verdura día 2 Cámara 1. BdB- d1- C2: *Blaptica dubia*-Balanceado día 1 cámara 2 y GaV- d2 C1: *Gryllus assimilis*-Verdura día 2 cámara 1.

### Emisiones de GEI (CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>) para *Blaptica dubia* y *Gryllus assimilis* para dos dietas de calidad diferenciada

En la Tabla 4.1 se detallan las emisiones medias obtenidas de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> para cada especie y tratamiento. En la emisión de CH<sub>4</sub> hubo diferencias estadísticamente significativas entre *Ga* y *Bd* ( $p < 0.001$ ): en *Ga* fue significativamente menor (prácticamente nula); en *Bd* se observa una tendencia a la diferenciación entre tratamientos,  $0.00425 \pm 0.00058$  y  $0.01 \pm 0.0015$  g/d en balanceado y verdura respectivamente ( $p = 0.056$ ). Por otra parte, la emisión de CO<sub>2</sub> fue mayor en *Ga* ( $3.86 \pm 1.29$  y  $4.11 \pm 1.87$  g/d para balanceado y verdura respectivamente,  $p = 0.770$ ) versus *Bd* ( $1.50 \pm 0.45$  y  $1.87 \pm 0.78$  g/d para balanceado y verdura respectivamente  $p = 0.261$ ).

Las emisiones absolutas de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> se grafican en la Figura 4.2, donde se muestra que prácticamente no hay diferencias significativas entre tratamientos y es notable la diferencia entre especies. La única diferenciación se evidencia en la emisión de CH<sub>4</sub> para *Bd*, donde se observa que la media es prácticamente el doble en la dieta de verdura, tratamiento en el que se tiene además una mayor dispersión de los datos, por lo cual la diferenciación deja de ser tan evidente. Queda claro que para el caso de *Ga* la emisión es prácticamente nula, con muy poca dispersión de los

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

datos para los dos tratamientos.

Tabla 4.1 Resumen media emisiones GEI

	<i>BdB</i>	<i>BdV</i>	p.	<i>GaB</i>	<i>GaV</i>	p.	Esp.
			Valor			Valor	
Emisión de CH <sub>4</sub> (g/d)	0.00420 ±0.00058	0.01000 ±0.00150	0.0562	0.00046 ±0.00036	0.00054 ±0.00063	0.1515	***
Emisión de CO <sub>2</sub> (g/d)	1.50±0.45	1.87±0.78	0.2610	3.86±1.29	4.11 ±1.87	0.7635	***
Emisión total (gCO <sub>2</sub> eq/d)	1.58 ±0.45	1.98±0.78	0.2306	3.87±1.29	4.12 ±1.87	0.7701	***
Emisión de CH <sub>4</sub> (gCH <sub>4</sub> /Kg PV/d)	0.04000 ±0.00440	0.04±0.01	0.3938	0.01 ±0.0048	0.01 ±0.01	0.5170	***
Emisión de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /Kg PV/d)	13.63 ±5.05	14.34 ±5.77	0.7976	45.56 ±12.94	66.98 ±24.63	0.0471	***
Emisión Total (gCO <sub>2</sub> eq/Kg PV/d)	14.43 ±5.07	15.22 ±5.74	0.7745	45.68 ±12.95	67.19 ±24.62	0.0472	***

Nota: Emisiones generales: Emisiones generales de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> (promedio ± desviación estándar) para *Bd* y *Ga* y sus dos tratamientos, además del CO<sub>2</sub> Total, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> por kilogramo de peso vivo. Esp.: Especie. Nota: \*\*\* ≤0.0001

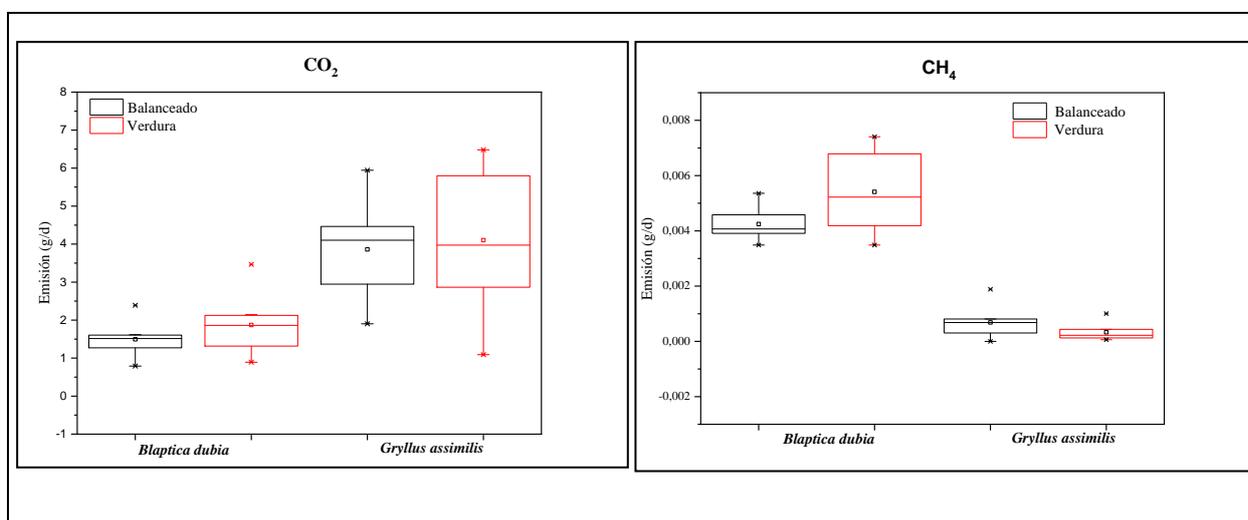


Figura 4.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. *Blaptica dubia* y *Gryllus assimilis* en los dos tratamientos (Balanceado y Verduras).

A partir de los análisis estadísticos se encontró que existen diferencias de emisión por especie y que en términos globales (emisiones totales en unidades de CO<sub>2</sub> eq) emite más *Ga* que *Bd*, ocasionado principalmente por la mayor emisión de CO<sub>2</sub> y aun así *Bd* son más eficientes

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

(producen menos unidades de CO<sub>2</sub> eq en términos absolutos y relativos al peso vivo).

Es importante tener en cuenta que, la producción de CO<sub>2</sub> en insectos se relaciona con la frecuencia respiratoria. Si se la compara durante la alimentación respecto a un estado de reposo, esta aumenta, lo que a su vez incrementa la producción de CO<sub>2</sub> desde el inicio de la alimentación hasta el final de la misma (Gouveia *et al.*, 2000)

Aunque son pocas las mediciones de GEI en insectos utilizados actualmente para la alimentación (Halloran *et al.*, 2016), se sabe que en general algunos insectos producen grandes cantidades de CH<sub>4</sub> y que algunos invertebrados pueden albergar metanógenos en su tracto gastrointestinal y emitir CH<sub>4</sub>: milpiés, termitas, cucarachas y escarabajos, y que otros taxones no parecen generar estas emisiones (Hackstein *et al.*, 2006). Según Hackstein y Stumm (1994), las arqueas metanogénicas se pueden encontrar en el proctodeo (intestino posterior) de la mayoría de cucarachas (Blattaria), y escarabajos (Scarabaeidae). La emisión de CH<sub>4</sub> en las cucarachas ha sido documentada por Hackstein y Stumm (1994) y Oonincx *et al.*, (2010).

Los datos de este trabajo muestran menores emisiones en los insectos alimentados con Balanceado. Algunas investigaciones pueden indicarnos posibles razones de estos resultados; como la de Rouland *et al.* (1993) donde evaluaron los factores nutricionales asociados a la emisión de CH<sub>4</sub> en termitas. La producción de CH<sub>4</sub> está asociada a la degradación anaerobia del material vegetal por una microbiota simbiótica localizada en el intestino posterior de la termita, razón por la cual la calidad de la dieta, expresada por el contenido de proteína, tiene un impacto significativo en las emisiones. Es esperable entonces que dietas de baja calidad, se relacionen con mayores emisiones, y viceversa, dietas de alta calidad con menor intensidad de emisión.

En estudios específicos sobre cucarachas, como el de Kane *et al.* (1991) valoraron el efecto de la dieta del huésped en la producción de ácidos orgánicos y CH<sub>4</sub> por las bacterias intestinales de *Periplaneta americana* (*Pa*) observando que la dieta tiene un efecto significativo sobre el microbiota intestinal y sus actividades. Dicha emisión fue significativamente afectada por el nivel de desarrollo del insecto, la etapa y la alimentación.

Por otro lado, Halloran *et al.* (2017) detectaron niveles insignificantes de CH<sub>4</sub> en un sistema de cultivo de *Acheta domesticus* (*Ad*) y *Gryllus bimaculatus* (*Gb*) en Tailandia, atribuyendo las bajas emisiones a que los insectos se alimentaron principalmente de fuentes ricas en proteínas sin celulosa lo que les permite además una alta tasa de crecimiento.

En la Tabla 4.2 se presentan los datos de emisión obtenidos, comparados con los de otros trabajos e insectos, cucarachas (*Blattella germanica* (*Bg*) y *Periplaneta americana* (*Pa*)) y

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

ortópteros (*Acheta domesticus* (*Ad*) y *Locusta migratoria* (*Lm*)).

Tabla 4.2 Análisis comparativo emisión GEI en insectos

Especie	Alimentación	Emisión de CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /kg PV/d)	Emisión de CO <sub>2</sub> (g CO <sub>2</sub> /kg PV/d)	Fuente
<i>Blaptica dubia</i>	Balanceado	0.04± 0.01	13.63±5.05	Datos propios
	Verdura	0.04±0.01	14.34±5.77	Datos propios
	Puré de pollo y zanahorias	0.08±0.02	19±3	Oonincx <i>et al.</i> , (2010).
<i>Blattella germanica</i>	ND	0.01	-	Hackstein y Stumm (1994).
<i>Periplaneta americana</i>	ND	0.03	-	Hackstein y Stumm (1994).
<i>Gryllus assimilis</i>	Balanceado	0.01±0.01	45.56±12.94	Datos propios
	Verduras	0.01±0.01	66.98±24.63	Datos propios
<i>Acheta domesticus</i>	Puré de pollo y zanahorias	0	68±10	Oonincx <i>et al.</i> , (2010).
<i>Locusta migratoria</i>	Salvado de trigo y césped	0.00±0.017	110±21	Oonincx <i>et al.</i> , (2010).

Nota. Emisión de CH<sub>4</sub> (g CH<sub>4</sub>/Kg PV/d), CO<sub>2</sub> (g CO<sub>2</sub> /Kg PV/d) y Emisión Total (g CO<sub>2</sub> eq/Kg PV/d). ± Desviación estándar. ND No detallado.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> (g CH<sub>4</sub>/kg PV/d) y CO<sub>2</sub> (g CO<sub>2</sub> /kg PV/d) para *Blaptica*, *BdB* (0.04±0.0044 y 13.63±5.05 y *BdV* (0.04±0.01 y 14.34±5.77) respectivamente, son comparables con el estudio de Oonincx *et al.* (2010) donde para *Bd* (tratamiento pollo y verdura) las emisiones de CH<sub>4</sub> son 0.08±0.021 y para CO<sub>2</sub> 19±3 y están dentro del rango de los datos de CH<sub>4</sub> registrados para *Bg* y *Pa* , 0,01 y 0.03 respectivamente (Hackstein y Stumm 1994).

La emisión de CO<sub>2</sub> (g CO<sub>2</sub> /kg PV/d) para grillos, *GaB* 45.56±12.94 y *GaV* 66.98±24.63 está dentro del rango reportado por Oonincx *et al.* (2010) para *Ad* 68±10 (tratamiento pollo y verdura) y es tres veces menor que para *Lm* (tratamiento salvado de trigo) 110±21. Respecto a las emisiones por especie en términos globales, hay mayor emisión en los Ortópteros que en las *Blapticas*

En la Tabla 4.3 se presenta el análisis de correlación de variables para cada tratamiento agrupando ambas especies (si bien lo correcto hubiese sido hacerlo para grillos y cucarachas por separado, el número de datos no era suficiente para presentar correlaciones con alto nivel de significancia, por lo cual se presentan a continuación con fines netamente exploratorios).

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

Tabla 4.3 Análisis de correlación por tratamiento de las variables..

Balanceado					Verdura				
	Emisión de CH <sub>4</sub>	Emisión de CO <sub>2</sub>	PV	Consumo		Emisión de CH <sub>4</sub>	Emisión de CO <sub>2</sub>	PV	Consumo
Emisión de CH <sub>4</sub>	1				Emisión de CH <sub>4</sub>	1			
Emisión de CO <sub>2</sub>	-0,83 <i>&lt;0,001</i>	1			Emisión de CO <sub>2</sub>	-0,61 <i>0,01</i>	1		
PV	0,62 <i>0,01</i>	-0,25 <i>0,36</i>	1		PV	0,89 <i>&lt;0,001</i>	-0,49 <i>0,05</i>	1	
Consumo	-0,81 <i>&lt;0,001</i>	0,69 <i>&lt;0,001</i>	0,58 <i>0,02</i>	1	Consumo	0,88 <i>&lt;0,001</i>	-0,77 <i>&lt;0,001</i>	0,84 <i>&lt;0,001</i>	1

Variables asociadas a la emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> y el consumo y PV de los animales.

Nota. Coeficiente de regresión lineal de Pearson. En cursiva se indica el p valor asociado a cada correlación.

Para ambos tratamientos se observa que la emisión de CH<sub>4</sub> aumenta cuando la emisión de CO<sub>2</sub> disminuye (o viceversa) con un alto grado de correlación ( $r=-0.83$ ,  $p<0.001$  y  $r=-0.61$ ,  $p=0.01$  para balanceado y verdura respectivamente). Esto puede explicarse en relación al mecanismo oxidativo predominante, que favorece la emisión de CH<sub>4</sub> o la de CO<sub>2</sub>. Se observa también que es directamente proporcional al PV ( $r=0.62$ ,  $p=0.01$  y  $r=0.89$ ,  $p<0.001$  para balanceado y verdura respectivamente). Es de esperar que animales de mayor tamaño emitan más cantidad de gas, resultados en este sentido se han obtenido en la ganadería bovina y ovina tradicional (Gere, 2012).

En relación al consumo se espera mayores emisiones para consumos más altos, lo que se observa para el caso del tratamiento verdura ( $r=0.88$ ,  $p<0.001$ ). Una relación inversa se observa para el caso de balanceado ( $r=-0.88$ ,  $p<0.001$ ), y dicho resultado no puede ser explicado en términos de los alcances del siguiente estudio ya que no es un resultado esperable. Algo similar puede decirse de la emisión de CO<sub>2</sub>: se obtuvo una correlación positiva con el consumo de balanceado ( $r=0.69$ ,  $p<0.001$ ) (mayor consumo explicaría emisiones más altas) y una correlación negativa con el consumo de verdura ( $r=-0.77$ ,  $p<0.001$ ).

Por último, se observa una correlación positiva entre el peso vivo de los animales y el consumo de alimento, y es de esperar que animales de mayor tamaño consuman más alimento ( $r=0.58$ ,  $p=0.02$  y  $r=0.84$ ,  $p<0.001$  para balanceado y verdura respectivamente).

Además de los factores que fueron anteriormente nombrados, se sabe que las condiciones ambientales como la luz, la humedad, la temperatura y las concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, juegan un papel importante en la determinación de la cantidad de GEI que se produce con la cría de insectos para el consumo (Velu *et al.*, 2011).

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

Por lo tanto, al pensar en los insectos como una solución en la reducción de GEI en la producción de proteína para consumo animal o humano, existe la posibilidad de pensar estrategias de mitigación de emisiones que permitan maximizar ese potencial y de esa manera optimizar los sistemas (para obtener mayor eficiencia en términos de producción como así también reducir las emisiones de GEI) (Halloran *et al.*, 2016). Entre dichas estrategias se pueden citar la gestión de la producción (estrategias de manejo productivo), las estrategias de elección de las dietas y la manipulación microbiana, siendo estas áreas en investigación muy activas (Eckard *et al.*, 2010).

### Referencias bibliográficas

- Eckard, R. J., Grainger, C., & De Klein, C. A. M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock science*, 130(1-3), 47-56.
- Gere, J. I. (2012). La técnica de trazado por SF<sub>6</sub> para medir emisiones de metano de rumiantes en pastoreo: desarrollos metodológicos y algunas aplicaciones (Doctoral dissertation, PhD Thesis], Tandil, Argentina: Faculty of Exact Sciences).
- Gouveia, S. M., Simpson, S. E. J., Raubenheimer, D., & Zanotto, F. P. (2000). Patterns of respiration in *Locusta migratoria* nymphs when feeding. *Physiological Entomology*, 25(1), 88-93.
- Hackstein, J. H., & Stumm, C. K. (1994). Methane production in terrestrial arthropods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(12), 5441-5445.
- Hackstein, J. H., van Alen, T. A., & Rosenberg, J. (2006). Methane production by terrestrial arthropods. In *Intestinal Microorganisms of Termites and Other Invertebrates* (pp. 155-180). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., & Bruun, S. (2016). Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 57.
- Halloran, A., Hanboonsong, Y., Roos, N., & Bruun, S. (2017). Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 156, 83-94
- Halloran, A., Hansen, H. H., Jensen, L. S., & Bruun, S. (2018). Comparing environmental impacts from insects for feed and food as an alternative to animal production. In *Edible insects in sustainable food systems* (pp. 163-180). Springer, Cham.
- Kane, M. D., Brauman, A., & Breznak, J. A. (1991). *Clostridium mayombe* sp. nov., an H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> acetogenic bacterium from the gut of the African soil-feeding termite, *Cubitermes speciosus*. *Archives of microbiology*, 156(2), 99-104.
- Oonincx, D. G., Van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J., Van Den Brand, H., Van Loon, J. J., & Van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloS one*, 5(12), e14445.
- Priano M. E., Fuse´ V. S., Gere J. I., Berkovic A. M., Williams K. E., Guzman S. A., Gratton R. Juliarena M. P. 2014. Tree plantations on a grassland region: effects on methane uptake by soils. *Agroforest Syst.* 88:187–191 DOI 10.1007/s10457-013-9661-6. Pp 1-5.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Rouland, C., Brauman, A., Labat, M., & Lepage, M. (1993). Nutritional factors affecting methane emission from termites. *Chemosphere*, 26(1-4), 617-622.-
- Velu, G., Ramasamy, K., Kumar, K., Nallapeta, S., & Ramanjaneya, V. R. (2011). Green house gas emissions from termite ecosystem. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(2), 56-64.

## **Análisis del Aporte Nutricional y del Impacto Ambiental de la Producción de Insectos en Comparación con la Ganadería Tradicional**

### **Aporte nutricional de la producción de insectos versus la producción ganadera tradicional**

Desde el punto de vista nutricional según Kouřimská y Adámková (2016), los insectos comestibles tienen un contenido significativo de proteínas que varía del 20 al 76% de la materia seca, y la variabilidad del contenido de grasa es del 2 al 50%; el contenido total de ácidos grasos poliinsaturados puede ser de hasta el 70% del total de ácidos grasos y los carbohidratos están representados principalmente por la quitina, cuyo contenido varía entre 2.7 mg y 49.8 mg por kg de materia fresca. Además, cumplen con los requisitos de aminoácidos sugeridos para humanos, son ricos en varios micronutrientes como cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, selenio y zinc, así como riboflavina, ácido pantoténico, biotina y, en algunos casos, ácido fólico. Sin embargo, hay que tener en cuenta que su composición de nutricional depende mucho de la alimentación (Rumpold & Schlüter, 2013).

Los animales acumulan la energía sobrante del alimento en forma de grasa, como reserva para épocas de escasez y además los insectos que experimentan metamorfosis deben acumular una gran cantidad de energía para hacer frente al gasto que sufrirá durante la misma (Koga & García 2006). Según Ramos-Elorduy (1982) los niveles de grasa en los ortópteros están entre el 15 y el 30% y el contenido proteico desde 52 al 77%.

La proteína cruda del insecto tiene una digestibilidad relativamente baja en comparación con otras fuentes de proteína, aparentemente porque algunos de los componentes nitrogenados están en forma de quitina en el tegumento y la quitinasa, enzima que digiere la quitina, está ausente en animales monogástricos (Nakagaki y Defoliart, 1991). La quitina actúa como fibra dietética sin ofrecer calorías (Collavo *et al.*, 2005).

Sin embargo, el estudio realizado en *Gryllus assimilis* por Jayanegara *et al.* (2017) demostró que eliminar la quitina mejora la calidad de la proteína. La extracción del exoesqueleto o su extracción química reduce efectivamente el contenido de quitina del insecto lo que puede ser beneficioso en su utilización como alimento para animales y, además, puede usarse para sustituir hasta un 50% de harina de soja en concentrado para rumiantes. Otra manera para reducir la cantidad de quitina es recolectar los insectos antes de la última muda (Collavo *et al.*, 2005). Es necesario tener en cuenta que la quitina se usa como un complemento alimenticio que

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

efectivamente reduce concentración de colesterol en sangre y controla la obesidad (Koide, 1998) y varios estudios informan el éxito del uso de quitina y derivados en la absorción de úlceras y lípidos (Collavo *et al.*, 2005).

En la Tabla 5.1, se contrastan los valores nutricionales de *Blaptica dubia* (*Bd*), *Gryllus assimilis* (*Ga*) y *Acheta domesticus* (*Ad*) respecto a la ganadería tradicional argentina (vacuno, ovino, aves de corral, cerdo y pescado).

Tabla 5.1 Valor nutricional por cada 100 g del valor comestible (composición centesimal).

		Lípidos	Proteínas	Energía (kcal/g)	Fibra*	Ceniza	Materia seca	Porción comestible	Fuente
INSECTOS	<i>Blaptica dubia</i>	24.2	46.2	5.2	8.5	4.1	ND	ND	Hopley (2016).
	<i>Gryllus assimilis</i>	29.7, 23.2	54.7, 64.9	ND	4.8*	2.8, 4.8	22	80	Koga & García (2006), Barroso <i>et al.</i> (2014).
	<i>Acheta domesticus</i>	13.8, 22.8	62, 73	5.34	7.0, 19.9	4.6, 5.7	ND	80	Nakagaki <i>et al.</i> (1987), Barroso <i>et al.</i> (2014), Bernard <i>et al.</i> (1997).
GANADERÍA TRADICIONAL	Vacuno <sup>(1)</sup>	10.7	18.4	170	-	1.4	30.5	40	Closa & de Landeta (2002)
	Ovinos <sup>(2)</sup>	2.7	18.7	99	-	1.6	23	55	Closa & de Landeta (2002)
	Aves de corral <sup>(3)</sup>	2.5	16.3	88	-	1.2	20	55	Closa & de Landeta (2002)
	Cerdos <sup>(4)</sup>	18.9	19.9	250	-	0.8	33	55	Closa & de Landeta, (2002)
	Pescados <sup>(5)</sup>	1.3	17.1	81	-	1.2	20	-	Closa & de Landeta, (2002)

Nota. ND: No determinada \*Considerada como cantidad de quitina del insecto, parte no digerible. Asado fresco-crudo<sup>1</sup>, Cordero, carne de paleta-crudo<sup>2</sup>, Pollo, (carne, pellejo, menudos)-fresco-crudo<sup>3</sup>. Cerdos <sup>(4)</sup> (Costilla). Merluza, Fresca, cruda, (*Merluccis merluccis*)<sup>5</sup>.

Los insectos comparados corresponden a especies utilizadas como alimento: *Bd* usado específicamente para animales (aves y reptiles) y *Ga* y *Ad* pueden además usarse para consumo humano. Las tres especies según la literatura citada, presentan valores nutricionales de rangos similares; el porcentaje proteico es del 46 al 73% (siendo uno de los parámetros más destacables,

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

la energía es del orden de 5 kcal/g, y cenizas del 2.8 al 5.7%. Las diferencias se dan en los lípidos que fluctúan entre el 13 y el 29,7% y la fibra entre el 4.8 y el 20%. En general estos valores difieren entre autores pudiendo, según Banjo *et al.* (2006), atribuirse a las variaciones en la dieta, los hábitos de los insectos, la edad de colecta o como resultado de diferentes ecotipos. En este sentido, Rodríguez (2006) destaca la importancia de desarrollar estudios que permitan una producción más homogénea, determinando la edad ideal, los efectos asociados a la alimentación de los animales, la variabilidad genética, el método de procesado, entre otros factores.

Los valores nutricionales de la ganadería tradicional argentina (vacuno, ovino, aves de corral, cerdo y pescado) son del orden de 2.5 a 18.9% en lípidos, 16.3 a 19.9% en proteínas. El aporte energético fluctúa entre 81 y 250 kcal/g, el porcentaje de cenizas entre el 0.80 y el 1.60% y la fracción comestible entre el 40 y el 55%.

Al comparar los datos de la mini ganadería (producción de insectos) con la ganadería tradicional puede apreciarse que el porcentaje de lípidos y cenizas es mayor en los insectos y la energía calórica es significativamente mayor en el ganado convencional. Sin embargo, el contenido proteico puede ser hasta tres veces mayor en insectos y la fracción de peso comestible en insectos difiere considerablemente con el ganado convencional, siendo el ganado vacuno el de menor aprovechamiento.

### **Relación de conversión alimenticia en insectos vs ganadería convencional**

Las relaciones de conversión de alimento son relevantes en la producción de proteína animal, ya que una mayor demanda de carne genera una demanda más que proporcional de granos y alimentos ricos en proteínas (Van Huis, 2013). Sin embargo, para Paoletti *et al.* (2007), usar la FCR para evaluar el impacto ambiental de algunas especies de insectos en comparación con las especies de ganado es cuestionable, debido a que la FCR considera el peso fresco y esto significa que se puede lograr un alto FCR si el producto final tiene un alto contenido de agua. Otra desventaja de este parámetro es que no considera la digestibilidad del producto. Por ejemplo, para especies de insectos donde se come el exoesqueleto, se consigue un bajo FCR; aunque, el exoesqueleto no es digerible y no proporciona valor nutricional (Hallorant *et al.*, 2016). Sin embargo, es preciso tener en cuenta que las quitinasas (enzimas que descomponen la quitina) se han encontrado en los intestinos de las poblaciones humanas con una tasa mayor de entomofagia, lo que podría representar una respuesta adaptativa a los hábitos alimenticios (Paoletti *et al.* 2007).

Un limitante de la FCR que afecta al ganado directa e indirectamente, es el clima, ya que modifica la calidad y / o cantidad de alimentos disponibles, los requerimientos de agua y energía,

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

la cantidad de energía consumida y el uso de los mismos. Los animales hacen frente a estas condiciones adversas del clima alterando los mecanismos fisiológicos y de comportamiento para mantener su temperatura corporal dentro de un rango normal (Arias *et al.*, 2008). En el caso de los insectos, al ser poiquiloterms, no usan su metabolismo para mantener su temperatura corporal dentro de rangos estrechos, a diferencia de los animales homeotérmicos; se espera que esto resulte en mayores eficiencias de conversión de alimento en insectos (Oonincx *et al.*, 2010).

En relación al potencial que tienen como alimento, Van Huis, (2013) comparó la FCR de *Ad* respecto a datos de ganadería (Figura 5.1), mostrando que los grillos son dos veces más eficientes que los pollos, 4 veces más eficientes que los cerdos y 12 veces más que el ganado. Este análisis según el autor, podría indicar la alta capacidad que tienen los grillos para convertir el alimento de manera más eficiente en masa corporal que el ganado convencional

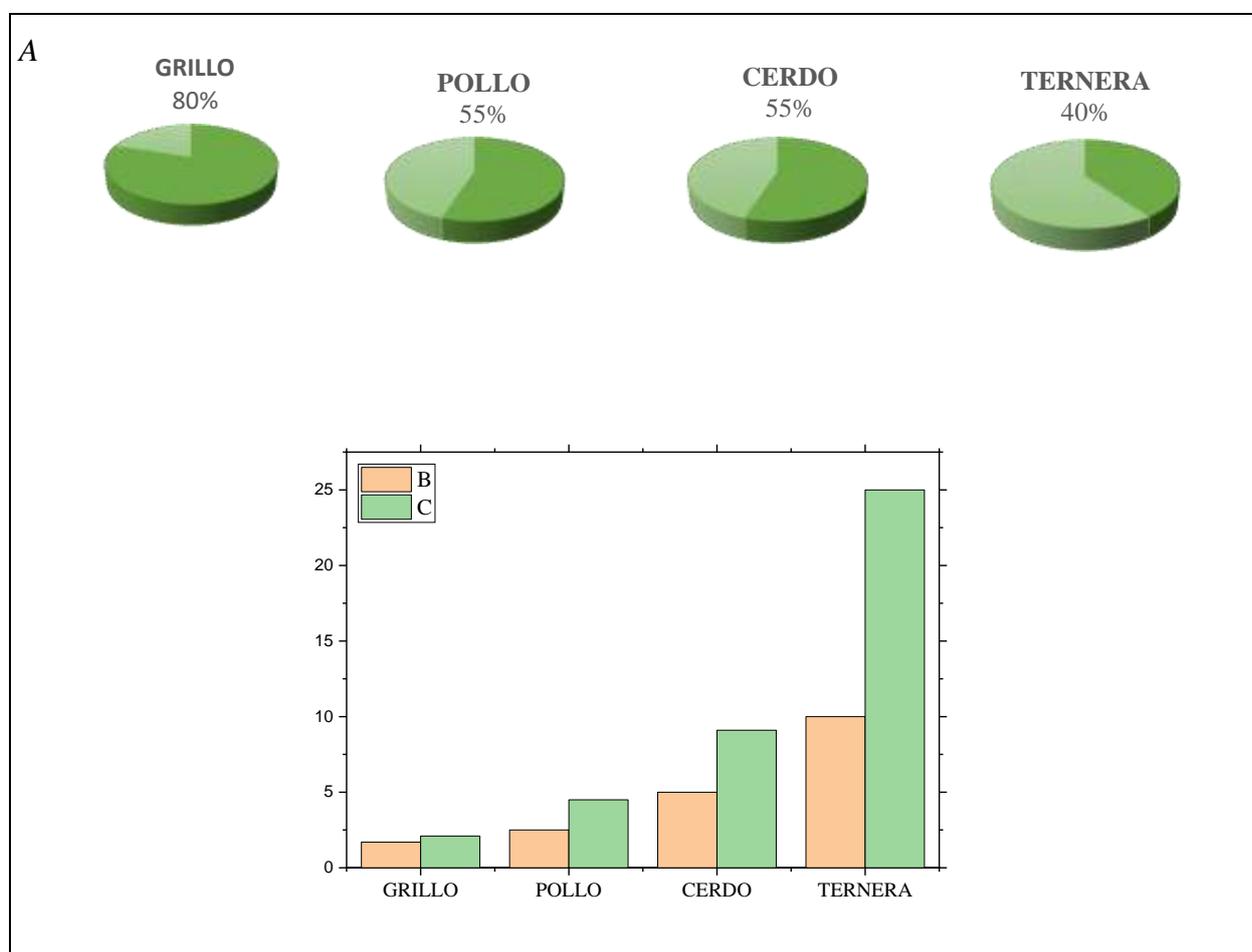


Figura 5.1 Eficiencias de conversión Grillos vs Carne convencional.

Porcentaje comestible del animal <sup>A</sup>. kg de pienso / kg de peso comestible <sup>B</sup>. kg de pienso /kg de peso vivo <sup>C</sup>. Adaptado de Van Huis, (2013).

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

Dado que según Van Huis (2013) otras especies de insectos probablemente muestren eficiencias similares, en la Tabla 5.2 se comparan los datos para *Ga* y *Bd* y los de *Ad* junto con los de la ganadería tradicional. Los valores de ECI para *Bd* (80%) y *Ad* (93%) son significativamente más altos que en cerdos y ganado vacuno. Los valores *Ga* (50%) son cercanos a la ECI de aves de corral (48%). Las FCR en los insectos están en el rango de 1.2 a 2, lo que indicaría que se puede producir un kg de biomasa de insectos a partir de un promedio de 1 a 2 kg de biomasa de alimentación, datos que concuerdan con Collavo *et al.* (2005). Estas FCR son más cercanos a la producción de aves de corral (2.5). Según estos datos, los insectos son en promedio 2.5 veces más eficientes que los cerdos y 6 más que las vacas.

Tabla 5.2 Comparación de los insectos vs la ganadería: ECI, FCR y porción comestible.

	<i>BdB</i>	<i>GaB</i>	<i>Ad</i>	Vacunos	Aves de corral	Cerdo
ECI de peso vivo de todo el cuerpo (%)	80	50	93	15 <sup>1</sup>	48 <sup>1</sup>	29.5 <sup>1</sup>
FCR (kg de alimentación : kg peso vivo)	1.2	2.0	1.08	10	2.5	5
Porción comestible (%) <sup>1</sup>	80	80	80	40	55	55
Fuente	Datos Propios	Datos Propios	Nakagaki & Defoliart, (1991)	Smil, (2002).	Smil, (2002).	Smil, (2002).

ECI: Eficiencia de conversión de alimentos ingeridos. FCR: la tasa de conversión de alimento.

Nota. Fuente Nakagaki & Defoliart, (1991)<sup>1</sup>.

### Insectos para alimentar animales

Los ingredientes alimenticios a base de insectos representan una solución local para el sector de la cría de animales, mejorando la circularidad en la cría y al mismo tiempo reconectando las cadenas de suministro agrícolas regionales. Los insectos no solo son parte de las dietas naturales de peces, aves o animales porcinos, sino que también son beneficiosos para el crecimiento y desarrollo de los animales (IPIFF, 2020).

Teniendo en cuenta que los costos de los recursos alimenticios convencionales como la harina de soja y la harina de pescado son muy altos y, su disponibilidad en el futuro será limitada; los insectos se han planteado como una posible solución y se han realizado algunos estudios sobre la evaluación de insectos (larvas de insectos o harinas) como ingrediente en las dietas de algunas especies animales (Makkar *et al.*, 2014). Las especies de insectos que se han probado como recursos alimenticios para animales domesticados son el gusano de la harina, las larvas de la mosca

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

soldado negra, el gusano de la mosca doméstica, el gusano de seda, el saltamontes, la langosta y el grillo (Jayanegara *et al.*, 2017).

Numerosas especies de peces han ido adaptando gradualmente su sistema musculoesquelético y evolucionado para cazar mejor las presas terrestres, como los insectos, mientras que los pollos y los cerdos son conocidos por rascar la capa superior del suelo en la búsqueda de invertebrados, incluidas las larvas. La evidencia reciente muestra que la inclusión de insectos en la dieta de tales animales mejora su FCR, pero también su aumento de peso diario. Además, los insectos y sus ingredientes derivados también pueden ayudar a abordar las deficiencias de nutrientes en la alimentación animal, proporcionando nutrientes que generalmente se consideran factores limitantes en la nutrición animal (por ejemplo, ciertos aminoácidos). Otro beneficio prometedor de los insectos es la presencia de péptidos antimicrobianos, actualmente investigados por su potencial en el desarrollo de nuevos antibióticos (IPIFF, 2020).

La palatabilidad de estos alimentos alternativos es buena y pueden reemplazar del 25 al 100% de la harina de soja o pescado dependiendo de la especie animal. Sin embargo, la mayoría de las comidas de insectos son deficientes en Calcio (Ca) y requiere suplementación en la dieta, especialmente para animales en crecimiento y gallinas ponedoras. Los niveles de Ca y ácidos grasos en las comidas para insectos se pueden mejorar mediante la manipulación del sustrato en el que se crían los insectos (Makkar, *et al.*, 2014).

### **Emisión GEI insectos comestibles vs ganado**

Debido al impacto que tiene la ganadería en las emisiones de GEI, principalmente del CH<sub>4</sub> entérico, es importante realizar una comparación de las emisiones de este gas con las obtenidas en insectos (Tabla 5.3).

Dichos datos, demuestran que es posible comparar la emisión de CH<sub>4</sub> obtenida con la de la actividad ganadera para tener un primer indicador de sustentabilidad en relación al peso vivo (PV) de los animales: en bovinos Gere *et al.* (2019) reportaron un valor de  $0.55 \pm 0.04$  g CH<sub>4</sub>/kg PV/d y en cerdos Atacora *et al.* (2011) uno de  $0.34$  g CH<sub>4</sub>/kg PV/d. Con los datos del presente trabajo, se obtuvo una emisión de CH<sub>4</sub> prácticamente nula en *Ga* y una de  $0.04 \pm 0.01$  g CH<sub>4</sub>/kg PV/d en *Bd*. Evidentemente, la emisión de CH<sub>4</sub> producida en insectos, en este caso para *Blaptica*, es significativamente menor (inferior al 10 %) de la producida en bovinos.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

Tabla 5.3 Comparación emisiones GEI insectos vs ganadería

Animal		Emisión de CH <sub>4</sub> (g/d)	Emisión de CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /Kg PV/d)	Fuente
Insectos	<i>Bd</i>	0.0100±0.0015	0.04±0.01	Datos Propios*
	<i>Ga</i>	0.00054±0.00063	0.01±0.01	Datos Propios*
Ganado Tradicional	Vacuno	203±12	0.55 ± 0.04	Gere <i>et al.</i> (2019)
	Cerdos	17±1	0.34	Atacora <i>et al.</i> (2011)

Nota. Datos propios\*: se tomaron los valores más altos (en ambas especies corresponden al tratamiento Verduras).

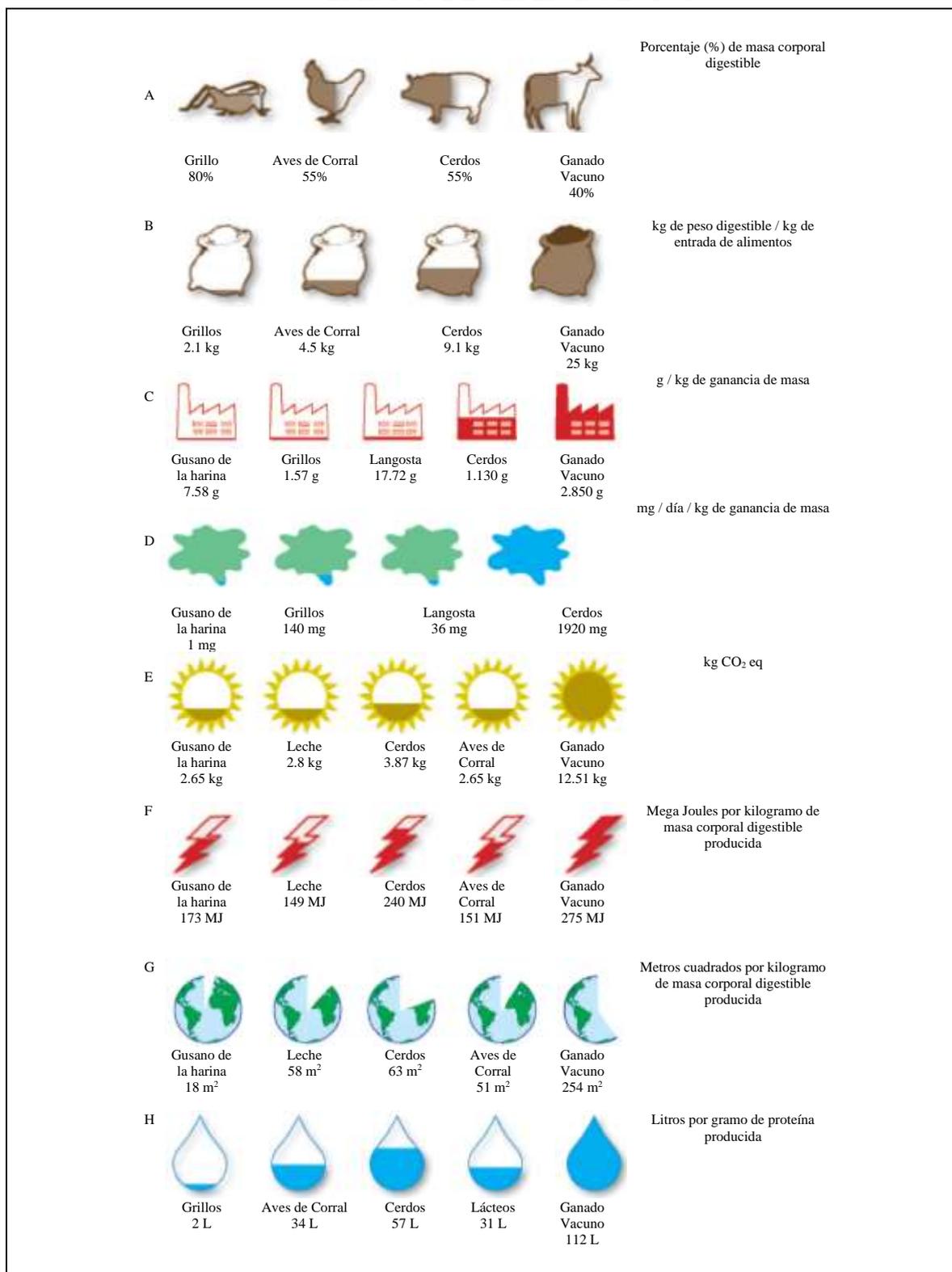
### Impacto ambiental

Del sector pecuario se sabe que contribuye directa o indirectamente a todos los factores causantes de pérdida de biodiversidad a nivel local y global; favoreciendo el cambio climático, lo que a su vez tiene un impacto en los ecosistemas y las especies (Steinfeld *et al.*, 2009). Y en la producción de insectos, aunque las investigaciones en el campo son limitadas, se estima que a gran escala contribuirían en la mitigación de los impactos generados por la ganadería tradicional al reemplazar parcial o totalmente la proteína tradicional.

La Figura 5.2 resume el uso de recursos y parámetros de impacto ambiental de la cría de insectos versus la ganadería tradicional, mostrando que los insectos son una alternativa prometedora en la producción de proteína animal. Dentro de los parámetros comparados se destacan, el porcentaje de masa corporal digerible, que en insectos es el doble (80%) que para ganado vacuno (40%); un menor requerimiento de recursos, como el gasto hídrico por g de proteína producida (insectos: 2L vs ganado: 112L) y la cantidad de tierra requerida para su cultivo (insectos: 18m<sup>2</sup> vs ganado: 254m<sup>2</sup>).

Existe evidencia científica sobre los beneficios ambientales y sociales de la producción de insectos, sin embargo, su uso como alimento humano y animal aún es limitado en el mundo occidental (van Huis, 2013). Lo que permite reflexionar sobre la necesidad de desarrollar estrategias orientadas a mejorar la aceptación de los posibles consumidores y la proyección de los ganaderos y agricultores hacia nuevos procesos productivos y oportunidades de negocio.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS



**Figura 5.2** Cría de insectos vs otro ganado convencional.

Uso de recursos y parámetros de impacto ambiental. Adaptado de: Gahukar, (2016): (A) % Porcentaje de biomasa digerible. (B) relación de conversión alimenticia. (C) producción de equivalentes de gases de efecto invernadero por kg de ganancia de masa corporal. (D) producción de contaminación por amoníaco por kg de ganancia de masa corporal. (E) potencial de calentamiento global. (F) uso de energía. (G) uso de la tierra. (H) uso de agua

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

### Referencias bibliográficas

- Atakora, J. K., Moehn, S., & Ball, R. O. (2011). Enteric methane produced by finisher pigs is affected by dietary crude protein content of barley grain based, but not by corn based, diets. *Animal feed science and technology*, 166, 412-421.
- Arias, R. A., Mader, T. L., & Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de medicina veterinaria*, 40(1), 7-22.
- Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., & Robledo, C. W. (2008). InfoStat: software estadístico: manual del usuario. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina.
- Banjo, A. D., Lawal, O. A., & Songonuga, E. A. (2006). The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *African journal of Biotechnology*, 5(3), 298-301.
- Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422, 193-201.
- Bernard, J. B., Allen, M. E., & Ullrey, D. E. (1997). Feeding captive insectivorous animals: nutritional aspects of insects as food. *Nutrition Advisory Group Handbook, Fact Sheet*, 3, 1-7.
- Closa, S. S., & de Landeta, M. C. (2002). Tablas de Composición de Alimentos. Base de datos ARGENFOODS. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina. Disponible en <http://www.argenfoods.unlu.edu.ar/Tablas/Tabla.htm> último acceso 10/07/2020.
- Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y. S., Chuang, L. T., Bosse, R. E. B. E. C. C. A., & Paoletti, M. G. (2005). House cricket small-scale farming. *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*, 27, 515-540.
- Conen, F., & Smith, K. A. (2000). An explanation of linear increases in gas concentration under closed chambers used to measure gas exchange between soil and the atmosphere. *European Journal of Soil Science*, 51(1), 111-117.
- Gahukar, R. T. (2016). Edible insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock and crops. In *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 85-111). Academic Press.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Gere, J. I., Bualó, R. A., Perini, A. L., Arias, R. D., Ortega, F. M., Wulff, A. E., & Berra, G. (2021). Methane emission factors for beef cows in Argentina: effect of diet quality. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 64(2), 260-268.
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., & Bruun, S. (2016). Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4),
- Herrero, M. A., & Gil, S. B. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología austral*, 18(3), 273-289. <http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/93-intensificacion.pdf>
- Hopley, D. (2016). The evaluation of the potential of *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*, *Naophoeta cinerea*, *Blaptica dubia*, *Gromphardhina portentosa*, *Periplaneta americana*,

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Blatta lateralis*, *Oxyhalao duesta* and *Hermetia illucens* for use in poultry feeds (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- IPIFF (2020) Insectos como alimento. Plataforma de Insectos para Alimentos y Piensos (IPIFF), Bruselas. <http://ipiff.org/insects-eulegislation/> último acceso Junio 2020.
- Jayanegara, A., Sholikin, M. M., Sabila, D. A., Suharti, S., & Astuti, D. A. (2017). Lowering Chitin Content of Cricket (*Gryllus assimilis*) Through Exoskeleton Removal and Chemical Extraction and its Utilization as a Ruminant Feed in vitro. *Pakistan journal of biological sciences: PJBS*, 20(10), 523-529.
- Koga, R., & García, F. (2006). Estudio del valor nutricional e identificación de los diferentes minerales que alberga el *Gryllus assimilis* (Orthoptera: Gryllidae).
- Koide, S. S. (1998). Chitin-chitosan: properties, benefits and risks. *Nutrition research*, 18(6), 1091-1101.
- Kouřimská, L., & Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS journal*, 4, 22-26.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33.
- Nakagaki, B. J., Sunde, M. L., & DeFoliart, G. R. (1987). Protein quality of the house cricket, *Acheta domesticus*, when fed to broiler chicks. *Poultry Science*, 66(8), 1367-1371.
- Nakagaki, B. J., & Defoliart, G. R. (1991). Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. *Journal of Economic Entomology*, 84(3), 891-896.
- Oonincx, D. G., Van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J., Van Den Brand, H., Van Loon, J. J., & Van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloS one*, 5(12), e14445.
- Paoletti, M. G., Norberto, L., Damini, R., & Musumeci, S. (2007). Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 51(3), 244-251.
- Proteinsecta, (2020) Disponible en <https://www.proteinsecta.es/tipos-de-grillos-empleados-en-granjas-insectos> último acceso 07/05/2020
- Ramos-Elorduy de Conconi, J., Bourges Rodríguez, H., & PINOMORENO, J. (1982). Valor nutritivo y calidad de la proteína de algunos insectos comestibles de México.
- Rodríguez Montero, M. (2016). Estado del conocimiento de los insectos como alimento: evolución y situación actual.
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular nutrition & food research*, 57(5), 802-823.
- Smil, V. (2002). Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology*, 30(3), 305-311.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & Haan, C. D. (2009). La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones (No. FAO-MED 15). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual review of entomology*, 58, 563-583.

## Conclusiones

En el marco de esta investigación, se logró desarrollar una metodología confiable, de bajo costo y de sencilla implementación para llevar a cabo el monitoreo de las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en insectos, evaluando la factibilidad para su utilización a futuro en el monitoreo de otras especies de interés agropecuario, aportando los primeros datos para la especie *Gryllus assimilis* y ampliando la información existente para *Blaptica dubia*.

La evaluación de los factores de emisión de GEI en insectos arrojó diferencias significativas entre especies y tratamientos, corroborando lo reportado en la literatura; por un lado, respecto a la relación existente entre la emisión de CH<sub>4</sub> y los metanógenos alojados en el tracto gastrointestinal de las cucarachas y por otro, evidenciando la relación entre las emisiones y el valor nutricional de la dieta y su contenido de celulosa o hemicelulosa puesto que el tratamiento más eficiente en términos de emisión de GEI fue el que se empleó para alimentación Balanceado.

Al comparar la emisión de CH<sub>4</sub> obtenida con la de la actividad ganadera para tener un indicador de sustentabilidad en relación al peso vivo (PV) de los animales, se evidencia que la emisión de CH<sub>4</sub> producida en insectos es significativamente menor (inferior al 10 %) de la producida en bovinos.

Además de monitorear las emisiones de GEI, se evaluaron datos comportamentales que permitieron comparar factores relevantes en la producción de proteína animal, tales como, relaciones de conversión alimentaria (FCR y ECI) en las especies estudiadas, en relación con otros insectos comestibles y la ganadería convencional. Dicha comparación muestra mayores eficiencias en la producción de insectos; lo que según la literatura se debe en gran medida a sus características fisiológicas y biológicas dado que no utilizan su metabolismo para regular su temperatura. Sin embargo, mejoras en la eficiencia tanto en la emisión de GEI como en las relaciones de conversión alimentaria, requieren conocimientos específicos sobre las necesidades nutricionales de las especies y un consumo equilibrado de nutrientes. En el análisis de la eficiencia de conversión de alimento, también se obtuvieron eficiencias mayores con el tratamiento Balanceado.

A raíz de los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que la mitigación de impactos ambientales en la producción de proteína animal a través de insectos es viable, aunque al estar determinada por diferentes factores como son, la especie, la densidad poblacional, la dieta, las necesidades nutricionales y las condiciones ambientales (T°, HR%) es necesario ajustar dichas variables para optimizar su producción. De esta manera, constituye una solución viable en la

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

reducción de GEI ocasionadas por la producción de proteína para consumo animal o humano, aunque requieran la evaluación e implementación de estrategias que permitan maximizar este potencial.

Por último, existen otros aspectos importantes a tener cuenta en el proceso de producción proteica a partir de insectos, entre los que es necesario tener en cuenta el establecimiento de la normatividad que regule las pautas correspondientes para este tipo de producción. Además, es necesario orientar el interés de los ganaderos y agricultores hacia nuevos procesos productivos y oportunidades de negocio para transformar las actuales formas de producción de alimento. Será necesario además el desarrollo de estrategias que conlleven a mejorar la aceptación social de la inclusión de insectos en las dietas humanas para que se constituyan en una alternativa de mitigación viable en un futuro cercano.

## Referencias y Bibliografía General

- Alexander, Peter, Brown, Calum, Arneith, Almut, Dias, Clare, Finnigan, John, Moran, Dominic, & Rounsevell, Mark DA. (2017). -Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Global Food Security*, 15, 22-32.
- Anankware, PJ, Fening, KO, Osekre, E, & Obeng-Ofori, D. (2015). Insects as food and feed: a review. *Int J Agric Res Rev*, 3(1), 143-151.
- Apolo-Arévalo, L., & Lannacone, J. (2015). Crianza del grillo (*Acheta domestica*) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano. *Scientia*, 17(17).
- Ardestani, M. M., Šustr, V., Hnilička, F., & Frouz, J. (2020). Food consumption of the cockroach species *Blattella germanica* Serville (*Blattodea: Blattellidae*) using three leaf litter types in a microcosm design. *Applied Soil Ecology*, 150, 103460.
- Arias, R. A., Mader, T. L., & Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de medicina veterinaria*, 40(1), 7-22.
- Arias, J. P. (2020). Los microorganismos asociados a los insectos y su aplicación en la agricultura. *Revista Digital Universitaria*, 20(1).
- Atakora, J. K., Moehn, S., & Ball, R. O. (2011). Enteric methane produced by finisher pigs is affected by dietary crude protein content of barley grain based, but not by corn based, diets. *Animal feed science and technology*, 166, 412-421.
- Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., & Robledo, C. W. (2008). *InfoStat: software estadístico: manual del usuario*. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina.
- Banjo, A. D., Lawal, O. A., & Songonuga, E. A. (2006). The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *African journal of Biotechnology*, 5(3), 298-301
- Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422, 193-201.
- Bernard, J. B., Allen, M. E., & Ullrey, D. E. (1997). Feeding captive insectivorous animals: nutritional aspects of insects as food. *Nutrition Advisory Group Handbook, Fact Sheet*, 3, 1-7.
- Brunori, J., Fazzoni, R., & Figueroa, M. E. (2012). Buenas prácticas pecuarias para la producción y comercialización porcina familiar (No. Q02/4). Ministerio de Agricultura de la República Argentina, Buenos Aires (Argentina) FAO/INTA.
- Carter S, Herold M, Rufino MC, Neumann K, Kooistra L, Verchot L (2015) Mitigation of agriculture emissions in the tropics: comparing forest land-sparing options at the national level. *Biogeosciences Discussions*, 12, 5435–5475.
- Chakravorty, J., Ghosh, S., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2014). Nutritional composition of *Chondacris rosea* and *Brachytrupes orientalis*: two common insects used as food by tribes of Arunachal Pradesh, India. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(3), 407-415.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Closa, S. S., & de Landeta, M. C. (2002). Tablas de Composición de Alimentos. Base de datos ARGENFOODS. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina. Disponible en <http://www.argenfoods.unlu.edu.ar/Tablas/Tabla.htm> último acceso 10/07/2020.
- Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y. S., Chuang, L. T., Bosse, R. E. B. E. C. C. A., & Paoletti, M. G. (2005). House cricket small-scale farming. Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails, 27, 515-540.
- Colman, D. R., Toolson, E. C., & Takacs-Vesbach, C. D. (2012). Do diet and taxonomy influence insect gut bacterial communities? *Molecular ecology*, 21(20), 5124-5137.
- Conen, F., & Smith, K. A. (2000). An explanation of linear increases in gas concentration under closed chambers used to measure gas exchange between soil and the atmosphere. *European Journal of Soil Science*, 51(1), 111-117.
- De la Cruz Lozano, J. (2006). Entomología: morfología y fisiología de los insectos. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*.
- Dobermann, D., Michaelson, L., & Field, L. M. (2019). The effect of an initial high-quality feeding regime on the survival of *Gryllus bimaculatus* (black cricket) on bio-waste. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(2), 117-123.
- Eckard, R. J., Grainger, C., & De Klein, C. A. M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock science*, 130(1-3), 47-56.
- Erens, J., Es Van S, H. F., Kapsomenou, E., & Luijben, A. (2012). A bug's life. Large scale insect rearing in relation to animal welfare. VENIK, Wageningen.
- FAO, F. (2017a). The future of food and agriculture—Trends and challenges. Annual Report.
- FAO. (2017b). *Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM)*. <http://www.fao.org/gleam/en/>
- Fausto, A. M., Fochetti, R., Zapparoli, M., & Danieli, P. P. (2015). Costi e benefici dell'entomofagia: sostenibilità ambientale dell'allevamento di insetti su larga scala. *Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*.
- Gahukar, R. T. (2016). Edible insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock and crops. In *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 85-111). Academic Press.
- Gelperin, A. (1971). Regulation of feeding. *Annual review of entomology*, 16(1), 365-378.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Gere, J. I. (2012). La técnica de trazado por SF6 para medir emisiones de metano de rumiantes en pastoreo: desarrollos metodológicos y algunas aplicaciones (Doctoral dissertation, PhD Thesis], Tandil, Argentina: Faculty of Exact Sciences).
- Gere, J. I., Bualó, R. A., Perini, A. L., Arias, R. D., Ortega, F. M., Wulff, A. E., & Berra, G. (2021). Methane emission factors for beef cows in Argentina: effect of diet quality. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 64(2), 260-268.
- Gouveia, S. M., Simpson, S. E. J., Raubenheimer, D., & Zanotto, F. P. (2000). Patterns of respiration in *Locusta migratoria* nymphs when feeding. *Physiological Entomology*, 25(1), 88-93.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Grave, C. U., La, A. P., Alimentaria, S. E. G. U. R. I. D. A. D., & Regiones, M. U. C. H. A. S. (2016). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>
- Hackstein, J. H., & Stumm, C. K. (1994). Methane production in terrestrial arthropods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(12), 5441-5445.
- Hackstein, J. H., van Alen, T. A., & Rosenberg, J. (2006). Methane production by terrestrial arthropods. In *Intestinal Microorganisms of Termites and Other Invertebrates* (pp. 155-180). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Halloran, A., & Vantomme, P. (2013). The contribution of insects to food security, livelihoods and the environment. FAO, Rome [www.fao.org](http://www.fao.org).
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., & Bruun, S. (2016). Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 57.
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., & Bruun, S. (2016). Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 57.
- Halloran, A., Hanboonsong, Y., Roos, N., & Bruun, S. (2017). Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 156, 83-94.
- Halloran, A., Flore, R., Vantomme, P., & Roos, N. (Eds.). (2018). *Edible insects in sustainable food systems*. London, UK: Springer.
- Halloran, A., Hansen, H. H., Jensen, L. S., & Bruun, S. (2018). Comparing environmental impacts from insects for feed and food as an alternative to animal production. In *Edible insects in sustainable food systems* (pp. 163-180). Springer, Cham.
- Herrero, M. A., & Gil, S. B. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología austral*, 18(3), 273-289. <http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/93-intensificacion.pdf>
- Hopley, D. (2016). The evaluation of the potential of *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*, *Naophoeta cinerea*, *Blaptica dubia*, *Gromphardhina portentosa*, *Periplaneta americana*, *Blatta lateralis*, *Oxyhalao duستا* and *Hermetia illucens* for use in poultry feeds (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- Huang, Shu-Ping, Talal, Stav, Ayali, Amir, & Gefen, Eran. (2015). The effect of discontinuous gas exchange on respiratory water loss in grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) varies across an aridity gradient. *Journal of Experimental Biology*, 218(16), 2510-2517.
- IPCC - 2006 Guidelines for National Inventories of Greenhouse Gases - Volume 4, Chapter 1, page 1.6.
- IPIFF (2020) Insectos como alimento. Plataforma de Insectos para Alimentos y Piensos (IPIFF), Bruselas. Disponible en <http://ipiff.org/insects-eulegislation/> último acceso 20/06/2020.
- Jayanegara, A., Sholikin, M. M., Sabila, D. A., Suharti, S., & Astuti, D. A. (2017). Lowering Chitin Content of Cricket (*Gryllus assimilis*) Through Exoskeleton Removal and Chemical Extraction and its Utilization as a Ruminant Feed in vitro. *Pakistan journal of biological sciences: PJBS*, 20(10), 523-529.
- Jongema Y (2017) List of edible insect species of the world. Laboratory of Entomology, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Kane, MD, Brauman, A. y Breznak, JA (1991). Clostridium mayombe sp. nov., una bacteria acetogénica  $H_2 / CO_2$  del intestino de la termita africana que se alimenta del suelo, Cubitermes speciosus. *Archivos de microbiología*, 156 (2), 99-104.
- Koga, R., & García, F. (2006). Estudio del valor nutricional e identificación de los diferentes minerales que alberga el *Gryllus assimilis* (Orthoptera: Gryllidae).
- Koide, S. S. (1998). Chitin-chitosan: properties, benefits and risks. *Nutrition research*, 18(6), 1091-1101.
- Kouřimská, L., & Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS journal*, 4, 22-26
- Lundy ME, Parrella MP (2015). Crickets Are Not a Free Lunch: Protein Capture from Scalable Organic Side-Streams via High-Density Populations of Acheta domesticus. *PLoS One* 10 (4): e0118785.
- Macdonald, J. A., Eggleton, P., Bignell, D. E., Forzi, F., & Fowler, D. (1998). Methane emission by termites and oxidation by soils, across a forest disturbance gradient in the Mbalmayo Forest Reserve, Cameroon. *Global Change Biology*, 4(4), 409-418.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33.
- Martius, C., Waßmann, R., Thein, U., Bandeira, A., Rennenberg, H., Junk, W., & Seiler, W. (1993). Methane emission from wood-feeding termites in Amazonia. *Chemosphere*, 26(1-4), 623-632.
- MAyDS, 2017. Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina. ISBN 978-987-1560-73
- Nakagaki, B. J., Sunde, M. L., & DeFoliart, G. R. (1987). Protein quality of the house cricket, Acheta domesticus, when fed to broiler chicks. *Poultry Science*, 66(8), 1367-1371.
- Nakagaki, B. J., & Defoliart, G. R. (1991). Comparison of diets for mass-rearing Acheta domesticus (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. *Journal of Economic Entomology*, 84(3), 891-896.
- Nieto, M. I., Guzmán, M. L., & Steinaker, D. (2014). Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 40(1), 92-101.
- Oonincx, D. G., Van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J., Van Den Brand, H., Van Loon, J. J., & Van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloS one*, 5(12), e14445.
- Oonincx, D. G., & De Boer, I. J. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PloS one*, 7(12), e51145
- Oonincx, D. G., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., & van Loon, J. J. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS One*, 10(12).
- OriginPro, S. R. (2016). OriginLab Corporation. Northampton, MA, USA.
- Paoletti, M. G., Norberto, L., Damini, R., & Musumeci, S. (2007). Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 51(3), 244-251.
- Parkin, T. B., & Venterea, R. T. (2010). USDA-ARS GRACEnet project protocols, chapter 3. Chamber-based trace gas flux measurements. Sampling protocols. Beltsville, MD p, 1-39.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Paris, C. (2015). Cumbre de París: Convención sobre el Cambio Climático. *Cultura de Paz*, 21(67).
- Ponti, D. (2011). Canales de comercialización de carne vacuna en mercado interno. Dirección de Análisis Económico Pecuario. Dirección Nacional de Transformación y Comercialización de Productos Pecuarios. Subsecretaría de Ganadería. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Porter, R. 2015. Caring for feeder Crickets. General Manager of the Australian Reptile Park in NSW. Disponible en <http://www.reptilepark.com.au/> último acceso 12/06/2020.
- Priano M. E., Fuse´ V. S., Gere J. I., Berkovic A. M., Williams K. E., Guzman S. A., Gratton R. Juliarena M. P. 2014. Tree plantations on a grassland region: effects on methane uptake by soils. *Agroforest Syst* 88:187–191 DOI 10.1007/s10457-013-9661-6. Pp 1-5
- Proteinsecta (s.f.) Disponible en <https://www.proteinsecta.es/> último acceso 16/06/2020.
- Proteinsecta, (2020) Alimentos autorizados para insectos de granja. Disponible en <https://www.proteinsecta.es/alimentos-autorizados-para-insectos-de-granja/> último acceso 07, 2020.
- Ramaswamy, S. B. (2015). Setting the table for a hotter, flatter, more crowded earth: insects on the menu? *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 171-178.
- Ramos-Elorduy de Conconi, J., Bourges Rodríguez, H., & Pinomoreno, J. (1982). Valor nutritivo y calidad de la proteína de algunos insectos comestibles de México.
- Ramos-Elorduy, J. (2008). Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance. *Ecology of food and nutrition*, 47(3), 280-297.
- Roffeis, M., Muys, B., Almeida, J., Mathijs, E., Achten, W. M. J., Pastor, B., ... & Rojo, S. (2015). Pig manure treatment with housefly (*Musca domestica*) rearing—an environmental life cycle assessment. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 195-214.
- Rodríguez Montero, M. (2016). Estado del conocimiento de los insectos como alimento: evolución y situación actual.
- Rouland, C., Brauman, A., Labat, M., & Lepage, M. (1993). Nutritional factors affecting methane emission from termites. *Chemosphere*, 26(1-4), 617-622
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular nutrition & food research*, 57(5), 802-823.
- Schilman, P. E. (2017). Metabolism and gas exchange patterns in *Rhodnius prolixus*. *Journal of insect physiology*, 97, 38-44.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS). (2015). Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones.
- Slideshare (2012). Animales invertebrados IV. [PDF en línea]. Disponible en <https://www.slideshare.net/mihayedo/insectos-1-eso> último acceso 24/08/2020.
- Smil, V. (2002). Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology*, 30(3), 305-311.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & Haan, C. D. (2009). La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones (No. FAO-MED 15). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

## EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS

- Šustr, V., Chroňáková, A., Semanová, S., Tajovský, K., & Šimek, M. (2014). Methane production and methanogenic Archaea in the digestive tracts of millipedes (Diplopoda). *PLoS one*, 9(7), e102659.
- Taponen, I. (2015). Supply Chain Risk Management in Entomology Farms: Case: High scale production of human food and animal feed.
- Tawes, B. (2014). The effect of changing juvenile nutritional conditions and compensatory growth on life history traits in a field cricket, *Gryllus texensis*.
- Tilman, D., & Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518-522.
- Van der Fels, H. J. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed: EFSA Scientific Committee. *EFSA Journal*, 13(10), 4257.
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual review of entomology*, 58, 563-583.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2014). Insectes comestibles: perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. FAO Forestry Paper, (171).
- Van Huis, A., & Oonincx, D. G. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), 43.
- Vega, P. B. (2012). El grillo de campo jamaicano, *Gryllus assimilis* (Fabricius, 1775), posible especie invasora para España (Orthoptera, Gryllidae). *Boletín de la SEA*, (50), 537-538.
- Velu, G., Ramasamy, K., Kumar, K., Nallapeta, S., & Ramanjaneya, V. R. (2011). Greenhouse gas emissions from termite ecosystem. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(2), 56-64.
- Waldbauer, G. P. (1968). The consumption and utilization of food by insects. In *Advances in insect physiology* (Vol. 5, pp. 229-288). Academic Press.
- Woodring, J. P., Clifford, C. W., & Beckman, B. R. (1979). Food utilization and metabolic efficiency in larval and adult house crickets. *Journal of Insect Physiology*, 25(12), 903-912.
- Yen, A. L. (2014). Foreword: Why a Journal of Insects as Food and Feed? *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 1-2. <https://www.wageningenacademic.com/doi/abs/10.3920/JIFF2015.x001>
- Ynsect. (s. f.) Disponible en <http://www.ynsect.com/en/> último acceso 24/07/2020.

EMISIÓN DE GEI EN INSECTOS  
**Publicaciones**

Presentaciones en congresos:

Garay A., Bualó R., Maure A., Castañeda D., Gere J.I. (2020). Emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en *Blaptica dubia* Serville (Blattodea, Blaberidae) y *Gryllus assimilis* Fabricius (Orthoptera, Gryllidae). 47 Congreso Sociedad Colombiana de Entomología SOCOLEM.

Financiado por el proyecto:

PID UTN MSUTNBA0004540. Inventario de emisión de gas metano por actividad ganadera: aplicación de sensado remoto satelital y mediciones de superficie. Director: José Ignacio Gere. 01/01/ 2017-31/12/2019.