

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**APERTURA MANDIBULAR Y ACARREO DE CEBOS EN HORMIGAS CORTADORAS
DEL GÉNERO *Acromyrmex sp.***

por

**Florencia Mariana OLVEIRA GORDILLO
Sofía Victoria PÉREZ ALANO**

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el título
de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2024**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a: -----

Dr. Martín Bollazzi

Tribunal: -----

Dra. Carolina Jorge

Ing. Agr. MSc. Agustina Armand Pílon

Fecha: 14 de noviembre de 2024

Estudiante:

Bach. Florencia Mariana Oliveira Gordillo

Bach. Sofía Victoria Pérez Alano

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecerle a nuestras familias y amigos por la paciencia y el apoyo incondicional durante el proceso de nuestra carrera.

Al Dr. Martín Bollazzi, nuestro tutor, por compartir sus conocimientos y su tiempo.

También a la Ing. Agr. Belén Vega por brindarnos su ayuda en la elaboración de este trabajo.

Y a la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República por siempre abrirnos sus puertas y ser la sede de nuestras investigaciones.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 BIOLOGÍA GENERAL DE LAS HORMIGAS CORTADORAS	10
2.1.1 Fundación de las colonias	11
2.1.2 Organización y funcionamiento de las colonias	11
2.1.3 El nido.....	12
2.2 FORRAJEO.....	13
2.3 CONTROL	15
2.3.1 Control mecánico	16
2.3.2 Control biológico	17
2.3.3 Control cultural	18
2.3.4 Control químico	19
2.3.4.1 Polvos	20
2.3.4.2 Líquidos	20
2.3.4.3 Termonebulización	20
2.3.4.4 Cebos tóxicos.....	21
2.4 HIPÓTESIS.....	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1 TIEMPO DE PICK-UP	25
3.2 MEDICIONES EN OBRERAS Y CARGA	28
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5. CONCLUSIONES.....	41
6. BIBLIOGRAFÍA.....	42
7. ANEXOS.....	50

TABLA DE FIGURAS

Figura 1	Morfología de <i>Acromyrmex lundii</i> (izquierda) y <i>Acromyrmex heyeri</i> (derecha) .	10
Figura 2	Nido de <i>Acromyrmex lundii</i>	12
Figura 3	Ilustración del nido de <i>Acromyrmex lundii</i>	12
Figura 4	Nido de <i>Acromyrmex heyeri</i>	13
Figura 5	Ilustración del nido de <i>Acromyrmex heyeri</i>	13
Figura 6	Épocas de control de hormigas cortadoras	16
Figura 7	Ubicación de los nidos muestreados	25
Figura 8	Nido de <i>Acromyrmex heyeri</i>	26
Figura 9	Nido de <i>Acromyrmex lundii</i>	27
Figura 10	Tubos con muestras de hormiga y cebo recolectados.....	28
Figura 11	Medición del ancho de cabeza	29
Figura 12	Materiales utilizados en la etapa práctica.....	30
Figura 13	Gradillas con muestras recolectadas.....	31
Figura 14	Apertura mandibular (mm) vs. Ancho de cabeza (mm) en obreras sin cebo...	33
Figura 15	Apertura mandibular (mm) vs. Ancho de cabeza (mm) en obreras con cebo .	34
Figura 16	Tiempo en levantar el cebo (s) vs. ancho de cabeza (mm)	35
Figura 17	Tiempo en levantar el cebo (s) vs. peso de la hormiga (mg)	36
Figura 18	Tiempo en levantar el cebo (s) vs. largo del cebo (mm)	36
Figura 19	Tiempo en recorrer 40 cm (s) vs. Peso de la hormiga (mg).....	39
Figura 20	Tiempo en recorrer 40 cm (s) vs. Largo del cebo (mm).....	39

RESUMEN

Las hormigas cortadoras de hojas son la principal plaga forestal en la región, causante de pérdidas económicas en plantaciones tanto de *Eucalyptus* como en *Pinus*.

La forma hasta ahora más eficiente para su control es la aplicación de cebos químicos, los cuales son trasladados al nido. Es por esto que el éxito de dicho control depende del levantamiento del cebo por parte de las hormigas.

Bajo la hipótesis de que no todas las especies de *Acromyrmex* pueden levantar los cebos comerciales actualmente utilizados con la misma eficiencia, se procede a evaluar el efecto de la apertura mandibular en la capacidad de las obreras de *Acromyrmex* de forrajear los cebos hormiguicidas. Para ello se compararon dos especies de *Acromyrmex* presentes en la zona de estudio con apertura mandibular diferente: *Acromyrmex lundii* y *Acromyrmex heyeri*.

Las colonias de ambas especies fueron ubicadas en el predio de Facultad de Agronomía en el otoño del 2022 a las que se les ofreció cebo Lampo (IA: fipronil) y Dinagro (IA: sulfloramida). A las hormigas que recolectan el cebo se les mide el tiempo que tardan en reconocer el cebo, aceptarlo y levantarlo hasta el camino, el tamaño de la cabeza, la apertura mandibular y el peso de la obrera; así como el largo del pellet que haya levantado.

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que entre las obreras que no cargaron cebo, *A. lundii* tiene mayor capacidad de apertura mandibular que *A. heyeri*, sin embargo, respecto al tamaño de cabeza, la que presenta mayor tamaño es *A. heyeri*, siendo que la mayoría se ubican entre 2,0 mm y 3,0 mm cuando para *A. lundii* oscilan entre 1,5 mm y 2 mm. En cuanto al tiempo que les insume a las hormigas levantar el cebo, solo el 17% fue explicado por las variables estudiadas: ancho de cabeza, peso de la hormiga y largo del cebo. Existen diferencias significativas entre el largo del cebo y el tiempo que demoran en levantarlo para ambas especies. A su vez se observa que las obreras de *A. lundii* le insume más tiempo recorrer los 40 cm que a las de *A. heyeri*. Entre ambas variables explicativas, la que tuvo mayor significancia y que explica con mayor porcentaje la variación en el tiempo en recorrer 40 cm fue el peso de la hormiga. *A. heyeri* no parece verse afectada por la longitud del cebo ni por el peso de la hormiga durante el transporte, lo que le permite moverse más rápido.

A. lundii a pesar de tener tamaños de cabeza más chicos, logra mayores aperturas mandibulares que *A. heyeri* y como los cebos comerciales que existen hasta ahora para el control de hormigas cortadoras, son de hasta 2 mm, tanto *A. heyeri* como *A. lundii*, no se verían exigidas para levantar el cebo por la capacidad de apertura mandibular, por lo que los fallos en el control no estarían explicados por este factor físico.

Palabras clave: hormigas, *Acromyrmex*, apertura mandibular, cebos químicos

ABSTRACT

Leaf-cutter ants are the main forest pest in the region, causing economic losses in both *Eucalyptus* and *Pinus* plantations.

The most efficient way to control them so far is the application of chemical baits, which are transported to the nest. This is why the success of such control depends on the ants lifting the bait.

Under the hypothesis that not all species of *Acromyrmex* can lift the currently used commercial baits with the same efficiency, we proceeded to evaluate the effect of mandibular opening on the ability of *Acromyrmex* workers to forage on ant baits. For this purpose, two species of *Acromyrmex* present in the study area with different mandibular openings were compared: *Acromyrmex lundii* and *Acromyrmex heyeri*.

Colonies of both species were located at the Facultad de Agronomía in autumn 2022 and were offered Lampo (AI: fipronil) and Dinagro (AI: sulfluramid) baits. Ants collecting the bait were measured for the time taken to recognise the bait, accept it and lift it to the path, head size, mandibular opening and weight of the worker, as well as the length of the lifted pellet.

The results obtained in this study indicate that among the workers that did not carry bait, *A. lundii* has a greater jaw opening capacity than *A. heyeri*, however, with regard to head size, *A. heyeri* is the one with the largest head size, with the majority being between 2.0 mm and 3.0 mm, while for *A. lundii* it ranges between 1.5 mm and 2 mm. As for the time taken by the ants to lift the bait, only 17% was explained by the variables studied: head width, ant weight and bait length. There are significant differences between the length of the bait and the time it takes to lift the bait for both species. In turn, it is observed that *A. lundii* workers take longer to travel the 40 cm than *A. heyeri* workers. Of the two explanatory variables, the one that had the greatest significance and explained the greatest percentage of the variation in the time taken to travel 40 cm was the ant's weight. *A. heyeri* appears unaffected by bait length or the weight of the ant during transport, allowing it to move faster.

A. lundii achieves larger mandibular openings than *A. heyeri* and as the commercial baits that exist to date for the control of leaf cutter ants are up to 2 mm, both *A. heyeri* and *A. lundii* are capable of lifting the bait because of their mandibular opening capacity, so the failures in the control would not be explained by this physical factor.

Keywords: ants, *Acromyrmex*, mandibular opening, chemical baits

1. INTRODUCCIÓN

Uruguay se ve envuelto en una coyuntura política, económica y comercial la cual ha llevado a que la producción forestal esté en pleno auge, produciendo altos volúmenes de madera, hasta el 2021 la superficie plantada equivalía a un 6,2% del territorio nacional (Dirección General Forestal, 2022). Pero este nuevo sistema trae aparejado otros cambios en la dinámica biológica de los bosques, como es el ataque de una de las consideradas principales plagas forestales, las hormigas cortadoras.

Los daños económicos se ven reflejados en la defoliación que realizan las hormigas cortadoras, la cual provoca una disminución en el desarrollo, deformación, crecimiento irregular y pudiendo llevar a la muerte de la planta (Hernández & Jaffé, 1995). Si el árbol joven sobrevive al ataque, algunas de las consecuencias finales pueden ser la reducción de la altura, de la circunferencia y hasta una pérdida del rendimiento de la producción de madera (Zanetti et al., 2014). Además, este tipo de daños predispone a la planta al ataque de otros insectos o patógenos debido a una mayor susceptibilidad.

Casi el 70% de las hormigas cortadoras se distribuyen en la región (Fowler et al., 1986), no siendo Uruguay la excepción. Se llega a encontrar un nivel de infestación cercano a los 10 hormigueros por hectárea como lo refleja el estudio realizado en la estación experimental La Estanzuela (Zerbino, 2002). En el país podemos encontrar dos géneros de hormigas cortadoras: *Acromyrmex* Mayr, 1865 y *Atta* Fabricius, 1805 (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). Son insectos sociales que viven en colonias y se dividen en castas donde cada una cumple una función determinada.

Las hormigas cortadoras cultivan un hongo del cual se alimentan y tienen un método de comunicación y de alimentación llamado trofalaxia (Hölldobler & Wilson, 1990). Todo esto hace que su control y erradicación no sea nada fácil, recurriendo a varios métodos, hasta ahora poco efectivos. Si bien es importante el manejo integrado de la plaga, es una realidad que muchas empresas apuestan únicamente al control químico con cebos tóxicos, hasta hoy el más efectivo (Bollazzi et al., 2023). La producción forestal se rige por exigentes estándares de certificación, que garantizan la calidad de la producción, en base a los aspectos sociales, económicos y ambientales. Una de las regulaciones es el uso restringido de agroquímicos, en este caso el principio activo fipronil, tema puesto en la mira por las organizaciones certificadoras.

Uno de los motivos de que el control químico sea ineficiente es que no entre a la colonia la suficiente cantidad de cebo necesaria para su eliminación total. Es por esto que, para el éxito de dicho control es decisivo que las obreras puedan levantar los cebos y llevarlos al nido (Bollazzi et al., 2023). Que el cebo no sea cargado puede estar explicado por una limitante física, por la cual las hormigas no son capaces de levantarlo; o una limitante química, en la cual el cebo no les es atractivo.

Como objetivo general se pretende investigar si el factor físico; apertura mandibular; es el limitante para levantar el cebo. Como objetivo específico; si existe una relación entre la máxima apertura mandibular de las obreras encargadas del acarreo de alimento y el tamaño del cebo utilizado para su control.

Para esto se medirá el tiempo que tardan en reconocer el cebo, aceptarlo y levantarlo hasta el camino, el tamaño de la cabeza, la apertura mandibular y el peso de la obrera; así como el largo del cebo que haya levantado.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIOLOGÍA GENERAL DE LAS HORMIGAS CORTADORAS

Las hormigas forman parte del Orden Hymenoptera, familia Formicidae y son insectos eusociales (Roces, 1990). El género *Acromyrmex* pertenece a la tribu Attini que junto con el género *Atta* y *Amoimyrmex* conforman el grupo denominado “hormigas cortadoras de hojas” (Cristiano et al., 2020). Las especies de este gremio utilizan el material vegetal que acarrear al nido como sustrato para el cultivo de hongos, de los que se alimentan (Hölldobler & Wilson, 1990; Weber, 1966). Este grupo de hormigas son consideradas los insectos plaga más importantes de América del Sur.

El género *Acromyrmex* se diferencia de *Atta* por la presencia de 4 pares de espinas ubicados en el dorso del tórax. Si bien el género está constituido por 31 especies (Gonçalves, 1961; Rabeling et al., 2015) el presente trabajo se enfoca en 2 de ellas, *Acromyrmex lundii* Guérin-Méneville, 1838 y *Acromyrmex heyeri* Forel, 1899 que son las dos principales especies de hormigas cortadoras de hojas que generan grandes problemas en las plantaciones forestales (Bollazzi, 2014). A continuación, se señalan las principales características de identificación y diferenciación entre ellas.

Acromyrmex lundii, conocida también como la hormiga cortadora negra, se las puede encontrar en plena ciudad y cortando cualquier especie de planta que se encuentre en los jardines (Montoya-Lerma et al., 2012). Mientras que *Acromyrmex heyeri*, tiene preferencia por monocotiledóneas y es un problema en las plantaciones de pinos. A diferencia de *A. lundii* que corta hojas, estas cortan los pecíolos, anillando el plantín varias veces probando el corte (Nickele et al., 2012).

Figura 1

Morfología de Acromyrmex lundii (izquierda) y Acromyrmex heyeri (derecha)



Nota. Elaborado con base en California Academy of Sciences (2024a, 2024b).

Diferencias en la preferencia del tipo vegetal que forrajean provoca adaptaciones morfológicas asociadas a ello. Las mandíbulas de *A. heyeri* que corta gramíneas son más cortas y robustas que las cortadoras de hojas. Otra diferencia es que las patas metatorácicas de *A. heyeri* son más cortas que *A. lundii* (Fowler et al., 1986). Además de las diferencias que se observan entre especies, existe en la colonia adulta polimorfismo entre los individuos (Hölldobler & Wilson, 1990). Esto significa que, en la colonia, pueden existir distintos tamaños de obreras, lo que también implica distintas aperturas mandibulares entre ellas.

2.1.1 Fundación de las colonias

Los adultos sexuados reciben una señal del ambiente para realizar el llamado “vuelo nupcial” en el cual las hembras fértiles (reinas) son fecundadas por los machos. En nuestro país, este momento de reproducción suele ocurrir entre los meses de octubre y noviembre, una vez que el mismo finaliza, los machos mueren (Zerbino, 2002).

Las hembras que fueron fecundadas se desprenden de sus alas y buscan un lugar donde establecer sus nidos, cavan una pequeña cámara, la sellan y comienzan a depositar sus huevos. En un primer momento la reina vive de la energía que le provee la degradación metabólica de los músculos de las alas, posteriormente y previo a que nazcan las primeras obreras, se alimentan de los primeros huevos que depositan (Zerbino, 2002).

Las primeras obreras salen a cortar vegetales para proporcionar el sustrato para el hongo, de manera que se puedan alimentar las larvas presentes y la reina. El número de individuos se va incrementando a medida que la reina pone los huevos (Zerbino, 2002).

Una vez que la colonia está madura y cuenta con un número suficiente de obreras, comienza la generación de individuos alados sexuados: hembras y machos. Cuando las condiciones ambientales son adecuadas, los adultos salen de la colonia y se efectúa nuevamente el vuelo nupcial. Después que éste se produjo, el nido queda con un número reducido de individuos, dado que mientras son generadas las hormigas sexuadas, prácticamente se detiene la producción de obreras. Para restablecer la población, la colonia disminuye su actividad en el exterior durante un corto período de tiempo. Este ciclo se repite todos los años hasta que la reina muere (Zerbino, 2002).

2.1.2 Organización y funcionamiento de las colonias

Las colonias de hormigas están compuestas por individuos que son sexuados y asexuados. Los primeros presentan la particularidad de ser alados y están presentes sólo en determinados momentos, tienen como única función la reproducción. Mientras que los otros, son estériles y ápteros. Se encuentran organizados en castas: rey, reina y obreras, estas últimas se dividen en jardineras, soldados y forrajeadoras. De acuerdo al trabajo o función que desempeñan tienen diferentes tamaños y formas. Las jardineras son las de menor tamaño y se encargan del cuidado y limpieza de la honguera. Las forrajeadoras

tienen un tamaño intermedio y son las que proporcionan el material verde para alimentar el hongo y los soldados son los individuos de mayor tamaño, su función es la defensa de la colonia (Hölldobler & Wilson, 1990; Zerbino, 2002).

2.1.3 El nido

Entre ambas especies también existen diferencias en la construcción del hormiguero según si se trata de *A. lundii* entonces es subterráneo (Figura 2 y 3) o *A. heyeri* que es superficial (Figura 4 y 5) (Bouvet, 2021).

Figura 2

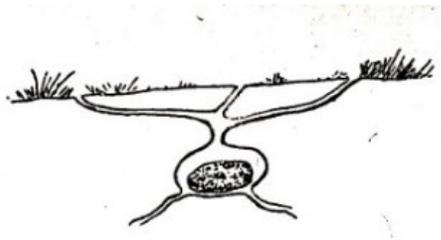
Nido de Acromyrmex lundii



Nota. Tomado de Bollazzi (2014).

Figura 3

Ilustración del nido de Acromyrmex lundii



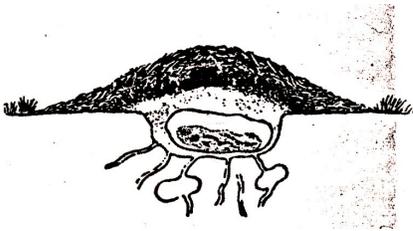
Nota. Tomado de Bollazzi et al. (2008).

Figura 4
Nido de Acromyrmex heyeri



Nota. Tomado de Bollazzi (2014).

Figura 5
Ilustración del nido de Acromyrmex heyeri



Nota. Tomado de Bollazzi et al. (2008).

La profundidad del hormiguero estará relacionada principalmente con la textura del suelo, encontrándose a mayor profundidad en suelos más arenosos, para poder mantener una humedad constante en la honguera. Otra particularidad de las hormigas cortadoras de hojas es que cerca de los nidos presentan un basurero, donde arrojan excedente (resto del hongo, hormigas muertas, basura, etc.) proveniente de la limpieza del interior de los hormigueros (Bouvet, 2021).

2.2 FORRAJEEO

Las obreras forrajeadoras de *Acromyrmex* tienen como tarea principal cultivar el hongo simbiote del cual se alimentan, parte de la tarea consiste en salir del nido en busca de material vegetal para incorporarlo al hongo. Suelen salir del nido al menos dos veces al día en plena actividad. A la acción de: seleccionar, cortar, levantar y transportar material vegetal se la conoce como “forrajeo” (Listre Barreto, 2018). En cada una de estas cuatro etapas del proceso de forrajeo influyen distintos factores de los cuales se mencionan algunos de ellos a continuación. En la selección, la hormiga debe encontrar el material que

le interesa forrajear y si bien las hormigas son polífagas, muestran preferencias por hojas de ciertas especies, plantas individuales e incluso hojas dentro de plantas individuales (Howard, 1987; Howard et al., 1990; Hubbell et al., 1983; Meyer et al., 2006; Nichols-Orians & Schultz, 1990). Suelen preferir plantines, plantas o árboles jóvenes, con hojas nuevas o brotes, cuyos tejidos tienen alto contenido de humedad y nutrientes (Montoya-Lerma et al., 2012; Nickele et al., 2012; Weber, 1972). Altas concentraciones de nitrógeno y fósforo en las plantas también pueden estar incentivando el ataque (Montoya-Lerma et al., 2012).

Una vez encontrado el material vegetal que deciden aceptar como alimento del hongo, las obreras regresan al nido a reclutar más obreras dejando feromonas de guía o rastro para volver (Murray, 1972; Weber, 1972).

En el corte del material seleccionado la hormiga definirá el fragmento a cosechar y uno de los aspectos a considerar es el efecto que tiene la distancia de forrajeo, ya que se demostró que la misma afecta a la selección del tamaño de la carga. Por ejemplo, en *A. lundii*, las hormigas cortan fragmentos más pequeños cerca del nido (Roces, 1990). Así mismo, relacionado con el tamaño del fragmento cosechado, se encontró una correlación negativa entre la densidad del área foliar (masa foliar/área foliar) y el tamaño del fragmento cosechado (Cherrett, 1986; Roces & Hölldobler, 1994; Rudolph & Loudon, 1986).

En *A. lundii* el tamaño del fragmento que cortan está limitado por el alcance máximo de la hormiga mientras corta. Por lo tanto, cortar fragmentos más grandes puede estar limitado por la morfología: dado que las obreras cortadoras de hojas anclan sus patas traseras en el borde de la hoja y rotan alrededor del eje de su cuerpo (Wetterer, 1991). En *A. heyeri* por su tipo de corte de anillar no están limitados por su morfología. Además, cortar fragmentos más grandes (más largos) no implica mayor esfuerzo de corte, ni mayor tiempo (suponiendo que la densidad del área foliar es constante). Por lo tanto, pueden cortar más material que *A. lundii* por unidad de esfuerzo de corte simplemente seleccionando fragmentos más largos (Bollazzi & Roces, 2011). El corte y la manipulación del material vegetal requieren de un alto costo energético y en menor medida de tiempo (Röschard, 2002).

Los caminos por los que se transporta el material vegetal levantado hacia el nido quedan establecidos por las feromonas que liberan las obreras. El número de caminos puede variar entre especies y nidos, para *A. lundii* y *A. heyeri* suelen ser entre 4 y 8 caminos de forrajeo con largos que van de 25 a 45 m (Fowler et al., 1986). El tiempo que les lleva el transporte puede variar entre algunos minutos hasta varias horas (Rudolph & Loudon, 1986) y esta etapa es la que requiere más gasto de tiempo.

Algunos de los factores que afectan la velocidad de transporte de las obreras con carga son: condiciones de temperatura del ambiente (Detrain et al., 2001), estado del camino o el viento (Moll et al., 2013), tamaño corporal de la hormiga (Burd, 2000; Bollazzi & Roces, 2011) y la relación entre el tamaño y el peso de la carga.

Una vez ingresados los fragmentos vegetales forrajeados, deben ser incorporados en las cámaras del nido, limpiados y triturados antes de la adición final de las hifas fúngicas (Mehdiabadi & Schultz, 2010).

El momento de mayor actividad de forrajeo se da cuando hay larvas en el nido a las cuales alimentar (Hölldobler & Wilson, 1990). En Uruguay esta época ocurre con mayor intensidad en primavera cuando se estarían alimentando las larvas de los individuos sexuales y de marzo a mayo para asegurar el alimento de las obreras que nacerán en agosto (Link, 1997).

Cuando las colonias están más desarrolladas y ya existe polimorfismo de individuos, las etapas del proceso de forrajeo pueden ser asignadas de acuerdo al tamaño de las obreras. Se dejan las tareas que demandan más energía, como lo es el corte, a obreras más grandes y las que requieren de más tiempo, como lo es el transporte, a obreras más chicas (Röschard, 2002).

2.3 CONTROL

Las hormigas cortadoras son plaga primaria que atacan a las plantas independientemente de cual sea su estado, provocando la muerte por defoliación de aquellas menores a 6 meses. Una colonia adulta puede afectar en promedio un 12% de una hectárea en rodales jóvenes (Bollazzi, 2014). En plantaciones forestales donde los daños repercuten en grandes volúmenes de biomasa perdida, se recomienda ser rigurosos y hacer controles previos a la plantación, junto con la preparación del suelo. Luego realizar controles de mantenimiento hasta que la planta tenga un tamaño considerable y el ataque de las hormigas no condicione su supervivencia (Bouvet, 2021).

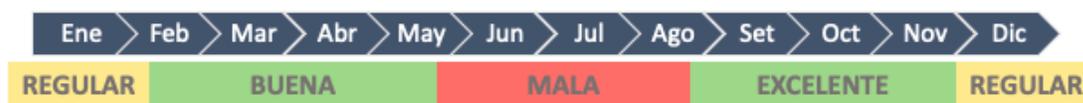
Según Cantarelli et al. (2008) los ataques de hormigas a pinos después de 24 meses no son significativamente perjudiciales para el desarrollo de la planta. Así como otros autores afirman no ser necesarios más controles a edades más avanzadas, porque los ataques no son considerables (Reis Filho et al., 2015). Pero antes de pasar a realizar un control o un manejo integrado, es necesario primero hacer un reconocimiento de las especies que afectan la zona. Una vez se tienen identificadas, se deben determinar los niveles de infestación que ocurren a nivel de campo y estimar el posible potencial de daño que tienen esas colonias para poder decidir controlar o no y en qué época del año este control sería eficiente.

En cuanto a la mejor época para controlar, cuando se habla de un control químico, se establecen dos momentos en el año donde éste es más eficiente. En los cuales la colonia se encuentra forrajando para mantener a las larvas, siendo estos los momentos de mayor vulnerabilidad en su ciclo biológico. Uno es a fines de agosto hasta octubre cuando la colonia está generando individuos alados que emergen en los vuelos nupciales en noviembre. Luego de ocurridos los vuelos nupciales, la actividad de las colonias disminuye hasta mediados de febrero, ya que las colonias viejas no tienen individuos que alimentar y

las nuevas se están recién estableciendo, por lo que no hay un flujo constante de forrajeo (Bollazzi et al., 2023).

Por lo tanto, se recomienda controlar las poblaciones de hormigas entre finales de agosto y la primera quincena de noviembre, reduciendo así el número efectivo de hormigueros, como las potenciales nuevas colonias producto de los vuelos, ya que estos serían evitados (Figura 6) (Bollazzi et al., 2023). El segundo momento donde un posible control sería efectivo es en el período febrero- abril, apuntando únicamente a colonias adultas ya que, las fundadas luego de los vuelos nupciales, recién saldrán a forrajear en la primavera siguiente (Bollazzi et al. 2022; Boaretto & Forti, 1997).

Figura 6
Épocas de control de hormigas cortadoras



Es importante destacar la importancia de realizar un Manejo Integrado de Plagas en las que se combinen varios de estos métodos. Las perspectivas de futuro apuntan a la necesidad de innovaciones tecnológicas, incluido el desarrollo y uso de programas informáticos, aplicaciones, drones y teledetección que complementen este manejo y sigan criterios tanto económicos, ecológicos como sociales que garanticen la sostenibilidad de los agroecosistemas (Martins, 2021).

Las hormigas cortadoras de hojas pueden controlarse mediante métodos mecánicos o físicos, culturales, biológicos y químicos. A continuación, se desarrolla cada método de control a detalle.

2.3.1 Control mecánico

El control mecánico y físico de las hormigas incluye prácticas de control directo, de destrucción directa de los insectos, así como aquellos métodos que pretenden evitar el acceso de los mismos a la planta mediante barreras físicas.

Por lo general estos métodos están restringidos a áreas pequeñas y con poca densidad de árboles, donde los nidos sean superficiales (Boaretto & Forti, 1997) ya que como se dijo, es de destrucción directa e implica la búsqueda de las colonias y/o los insectos.

El control mecánico consiste simplemente en la eliminación de los nidos en un área con herramientas manuales como picos, palas o azadas que permitan excavar, con el propósito de hallar y matar a la reina de la colonia ya que, sin ella, la producción de huevos se detiene y por ende ocurre el exterminio del hormiguero (Bouvet, 2021). Esta técnica sólo es viable en zonas pequeñas y cuando los hormigueros son superficiales, siendo efectiva de 3 a 4 meses luego de los vuelos nupciales ya que además implican un gran esfuerzo físico (Araújo et al., 2003; Boaretto & Forti, 1997). Su uso es más común en el combate de *Acromyrmex* cuyos nidos no son muy profundos (Araújo et al., 2003).

Otro de los métodos de control físico es el tratamiento con compost, el mismo consiste en una intervención del nido con pala para luego aplicar una mezcla compuesta de una parte orgánica como hojarasca, estiércol de aves, malezas y levaduras junto con una parte inorgánica, como lo es cal y agua. Una vez aplicado uniformemente, se cubre el nido con nylon negro durante dos semanas. Si bien es un método económico y ambientalmente viable, la realidad es que se restringen a pequeñas áreas y colonias nuevas (Bellucci Fratti & Pintos Torres, 2014).

Un método de control que se viene probando hace un tiempo, es el de barreras físicas que impiden el acceso a la planta por parte de las hormigas. Se han desarrollado diferentes tipos de barreras, entre ellas el llamado “faldón” o “sombrero chino”, que consiste en un cono de plástico de 20 cm de diámetro que se fija al tallo de la planta en posición invertida (Lima et al., 2001; Moressi et al., 2007). Sin embargo, al igual que los otros métodos de intervención puntuales, se vuelve impracticable en producciones intensivas y de grandes extensiones, como es la forestación, donde su eficacia no está comprobada fehacientemente y es logísticamente inviable (Listre Barreto, 2018).

Un método practicado por las empresas forestales tiempo atrás fue el uso de fuego tras la tala de los bosques ya que la localización de las colonias se volvía tedioso bajo los residuos de cosecha. Pero debido a los efectos nocivos del fuego y la preservación del medio ambiente, este método ha quedado en desuso por lo menos por las empresas certificadas (Oliveira et al., 2011).

2.3.2 Control biológico

Cuando hablamos de un manejo integrado de plagas no podemos obviar el control biológico como pieza importante en la regulación de la población de estos insectos plaga. El medio ambiente es responsable de causar la mortalidad del 99,95% de las reinas de las hormigas cortadoras de hojas, incluso antes de que hayan fundado sus nidos (Almeida et al., 1983).

El control biológico natural se realiza a través de predadores, parasitoides y microorganismos patógenos como bacterias, hongos y nematodos. Las aves que habitan en el sotobosque especialmente las especies insectívoras y omnívoras son importantes enemigos naturales, especialmente en períodos de bandadas (Almeida et al., 1983).

Un estudio realizado por Bragança (2007) sobre al menos cinco especies de hormigas del género *Acromyrmex* mostraron que más de 35 especies de moscas de la familia *Phoridae* son parasitoides naturales. Sin embargo, estudios realizados posteriormente indican que las tasas de parasitismo son muy bajas, siendo menores a un 5% y que las mismas no son específicas de las hormigas cortadoras (Bragança, 2011).

Se han observado resultados prometedores a nivel de laboratorio con aislados bacterianos de *Bacillus thuringiensis* y *Photorhabdus temperata* obteniendo una mortalidad mayor al 50% con la primera y del 100% con la segunda, luego de 24 horas (De Paula et al., 2006; Pinto et al., 2003). Sin embargo, estos estudios fueron realizados con bacterias en condiciones controladas de laboratorio y en obreras aisladas de las colonias, por lo que es importante llevar estos estudios a nivel de campo y evaluar los resultados (Boaretto & Forti, 1997; Britto et al., 2016).

Algunos autores consideran al género de hormigas *Solenopsis* depredadora de todos los estadios de estas plagas, pero nuevamente los estudios deben evaluarse a campo para comprobar una efectividad significativa para su control (Boaretto & Forti, 1997).

En cuanto a los hongos entomopatógenos se obtuvieron resultados satisfactorios con *Beauveria bassiana* contra *Acromyrmex striatus* durante el invierno en plantaciones de eucalipto en el sur de Brasil, pero en la práctica, no existe el uso de hongos contra las hormigas cortadoras (Araújo et al., 2003). Además, las hormigas poseen estrategias de defensa contra parásitos y patógenos, mediante secreciones glandulares antifúngicas o características comportamentales como limpieza del cuerpo, higiene del nido, cambios en las actividades y reconocimiento de patógenos (Bouvet, 2021).

Existe una incipiente investigación con respecto al uso de feromonas en el control de hormigas, éstas actuarían a dos niveles, uno es desorganizando el sistema social de la colonia con el eventual debilitamiento y el otro uso, es la incorporación de feromonas en cebos granulados, con el fin de aumentar su atractivo, con el consiguiente aumento del transporte al interior del nido (Vilela, 1994). Sin embargo, aún no se ha llevado a la práctica, ya que se necesita más información sobre el funcionamiento de las feromonas (Nickele & Reis Filho, 2021). Pero a priori se sabe que las feromonas son muy volátiles y de escasa permanencia en el ambiente, lo que lleva a pensar en un bajo éxito de esta técnica.

2.3.3 Control cultural

En cuanto al control cultural, el mismo refiere a aquellas prácticas que eviten el ataque de las hormigas a las plantas de interés, como es por ejemplo el uso de especies resistentes, o variedades que tengan resistencia a las hormigas que se encuentran en la zona (Bouvet, 2021). Algunos estudios indican que la resistencia parece estar asociada a un efecto inhibitorio en el crecimiento del hongo (Bouvet, 2021), pero cabe destacar el hecho de que el hongo cultivado por las hormigas tiene la capacidad de metabolizar ciertas

sustancias tóxicas de las plantas, lo que dificulta aún más la selección (Bellucci Fratti & Pintos Torres, 2014).

En lo que refiere a estudios sobre *Eucalyptus* los resultados que se obtuvieron de la investigación no permiten hacer una aplicación práctica de esta técnica de planificación en términos de composición de especies y procedencia de los bosques (Boaretto & Forti, 1997). En cuanto a las especies de pino Cantarelli (2005) indica que, *Pinus patula* presenta menos herbivoría por parte de *A. heyeri* en comparación con *Pinus taeda*.

Se sabe que varias especies de hormigas cortadoras de hojas explotan entre el 38% y el 77% de las plantas en los bosques naturales, lo que deja claro que existe una selección de plantas, pero el rango es muy amplio. (Boaretto & Forti, 1997, p. 42)

Otra práctica de control cultural es el uso de especies vegetales tóxicas para las hormigas, mediante el uso de cultivos trampa a modo de “repelentes naturales”. El “sésamo”, *Sesamum indicum* se ha probado a nivel de laboratorio (Bouvet, 2021), obteniendo resultados en la disminución gradual del tamaño de las esponjas de hongos, menor número de hormigas, desorganización general del hormiguero y su consecuente extinción (Da Silva & Diehl-Fleig, 1995). Esta planta al parecer induce una respuesta fisiológica, aumentando la tasa de respiración de las hormigas (Boaretto & Forti, 1997). A nivel de campo, sin embargo, el uso de cultivos trampa para contener el ataque de las hormigas cortadoras no dio los resultados esperados (Martins, 2021).

2.3.4 Control químico

Este tipo de control, considerado el más eficaz hasta el momento en el tratamiento de esta plaga, consiste en la aplicación de un producto sintético para eliminar las colonias (Bollazzi et al., 2023). Este método tiene varias formas de presentación y aplicación del insecticida, puede ser en forma de polvos, líquidos, termonebulizadores o como cebos granulados.

Para determinar cuál método es más efectivo, primeramente, se deben tener varios factores en cuenta, como es el tipo de producción del que se trate, la especie de hormiga cortadora, el turno de la plantación y la localización de las colonias. Una vez identificados estos factores, se pasará a evaluar el nivel de daño en base a niveles de infestación y ahí sí, decidir si controlar o no y cuál forma es más eficiente en términos de control, ambiental y económicamente hablando.

El control en nuestra región para *Acromyrmex* se realiza de dos formas, localizado o sistemático estricto. La aplicación localizada, consiste en buscar los hormigueros dentro del campo, es por esto que hay una gran fuente de error por parte del factor humano en este método. Luego en el control sistemático estricto no se hace búsqueda de hormigueros, se aplica de forma pareja en el terreno y la fuente de error en el control puede ser principalmente por parte hormigas, al no encontrar el cebo (Bollazzi et al., 2023).

2.3.4.1 Polvos

Como se mencionó, una de las formas de control químico utilizados son los insecticidas en polvo, su modo de acción es mediante contacto con el insecto, por lo que termina siendo eficaz en nidos superficiales previamente localizados. Siendo que la muerte de la colonia depende de la muerte de la reina y de las larvas por lo que se vuelve ineficiente su aplicación fuera de los hormigueros (Zerbino, 2002). Estos insecticidas en polvo consisten básicamente en un ingrediente activo con acción de contacto, talco como material inerte y el vehículo de aplicación. El principio activo más utilizado es la deltametrina, un piretroide (Boaretto & Forti, 1997).

La aplicación se realiza mediante aspersores o insufladores, que son equipos manuales equipados con un recipiente cónico para envasar el producto (Boaretto & Forti, 1997). También se suele abrir la honguera, espolvorear y volver a taparla, pero si hay más de una honguera, no se afecta a toda la colonia (Bouvet, 2021). Una de las desventajas del uso de este tipo de insecticida es que es afectado por la humedad, disminuyendo su efectividad (Bouvet, 2021). Además de ser una técnica que requiere más mano de obra y la necesidad de localizar los nidos para hacer un uso eficiente y controlado del producto (Lima et al., 2001).

2.3.4.2 Líquidos

Los insecticidas líquidos fueron muy difundidos hace algunas décadas, pero han quedado en desuso por su baja efectividad dada la necesidad de contacto con las hormigas, sumado a la pérdida del producto por la absorción del suelo (Bouvet, 2021). Los mismos se aplican directamente sobre el suelo en forma de riego, y en ocasiones al igual que la aplicación de insecticidas en polvo, se abre el nido para facilitar el contacto con la colonia, utilizando regaderas, mochilas o pulverizadoras (Bouvet, 2021).

2.3.4.3 Termonebulización

Este método de control consiste en la producción de una nube tóxica (gotas de alrededor de 50 μm) a partir de un hormiguicida vehiculizado en aceite mineral o gasóleo bajo acción del calor, aplicado directamente en los orificios o sobre los montículos de tierra suelta con un equipo llamado termo pulverizador (Bouvet, 2021). Se utiliza una manguera de escape y se espera a que la condensación del insecticida producido por la atomización refluya (Forti & Pretto, s.f. como se cita en Boaretto & Forti, 1997). La termonebulización presenta desventajas operacionales y económicas, además de que el mantenimiento de los equipos representa un obstáculo para su viabilidad. Pero es considerado eficiente para combatir nidos de gran tamaño en áreas extensas (Boaretto & Forti, 1997; Bouvet, 2021).

2.3.4.4 Cebos tóxicos

Pese a que los métodos descritos anteriormente son efectivos, los mismos se acotan a pequeñas áreas ya que implican la búsqueda de las colonias. Es por esto que se desarrollaron los cebos tóxicos como alternativa eficiente y aplicable a grandes extensiones como son el caso de las plantaciones forestales.

Otro de los motores que impulsó su desarrollo y uso, fue la búsqueda de alternativas más amigables con el medio ambiente y con el trabajador que realizaba la aplicación (Souza-Silva et al., 2005). A su vez, estas mismas empresas afectadas se encuentran sujetas a fuertes restricciones en lo que refiere a la certificación de sus plantaciones, medida que les permite acceder a nuevos y mejores mercados con valor agregado. Existen diferentes sellos de certificación de los procesos forestales como Forest Stewardship Council (FSC) y Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC). Las empresas bajo estas normas tienen que cumplir con criterios estrictos establecidos por el organismo encargado de otorgarlas. Entre ellas las llamadas "Políticas de plaguicidas", bajo esta normativa se han condicionado varios principios activos que se utilizan en productos aplicados en plantaciones forestales, como fipronil, sulfluramida y deltametrina, considerados plaguicidas "altamente peligrosos" por su toxicidad aguda para mamíferos y aves (FSC, 2024).

El encontrar métodos eficientes para el control de hormigas es importante para las empresas ya que los mismos pueden implicar hasta un 5% de los costos totales de plantación y significar un 75% de los costos del control de plagas general (Pérez et al., 2011).

Los cebos granulados son considerados el método químico más seguro de aplicar y eficaz ya que puede ser usado en producciones extensivas. Tienen como ventaja que la cantidad de insecticida que se utiliza es pequeña, por lo que no significa una amenaza para el ambiente (Zerbino, 2002). Consisten en gránulos de cebo de forma cilíndrica llamados pellets, de no más de 3 a 5 mm de largo y 2 mm de diámetro (Bouvet, 2021). Está formulado con tres compuestos: vehículo, atrayente e insecticida (principio activo). El vehículo es el que se utiliza en mayor proporción, pueden ser utilizados materiales como pulpa de citrus seca, que le aporta mayor atractividad; granos quebrados de maíz; soja o trigo; afrechillo; vermiculita (Zerbino, 2002); cáscara de arroz; poliestireno; polímeros; productos gelatinosos; poliuretano; mediante la adición de feromonas o extractos de glándulas feromonales de hormigas y extractos de plantas (Boaretto & Forti, 1997).

Como atrayente se utiliza aceite de girasol o de soja, su agregado cumple también con la función de dar cierta protección de la humedad, la cual degrada el cebo y provoca que las hormigas no lo transporten.

En cuanto al principio activo, los más eficientes son aquellos que tienen acción neurotóxica y que controlan luego que el cebo es repartido en toda la colonia (Zerbino, 2002), como fipronil, sulfluramida, manteniéndose en una proporción constante de 0,3% de la formulación (Boaretto & Forti, 1997).

Para que los cebos hormiguicidas sean efectivos en el control deben cumplir con ciertos requisitos: ser atractivos a distancia y de tamaño adecuado para que sea transportado. Además de que los síntomas de envenenamiento deben presentarse de forma retardada, para que hayan sido envenenadas la mayor cantidad de hormigas posibles (Zerbino, 2002).

El insecticida debe actuar por ingestión y presentar acción tóxica retardada, dado que las hormigas se traspasan el alimento una a la otra a través de su cavidad bucal, proceso denominado trofalaxia (Bollazzi et al., 2023). Las primeras en tener contacto con el insecticida son las encargadas de contaminar un mayor número de obreras, con una mortalidad inferior al 15% después del primer día y superior al 85% después del decimocuarto día desde la oferta (Boaretto & Forti, 1997; Bouvet, 2021).

También debe ser letal en bajas concentraciones y no causar daños ambientales. Además, el insecticida debe ser inodoro y no repelente (Boaretto & Forti, 1997). Siendo las sustancias sintéticas las más eficientes en este sentido ya que son más estables que aquellas de origen natural (Gaona Mena & Lajathe, 2013).

Los insecticidas más utilizados en el control de hormigas son clorpirifós, sulfloramida y el fipronil, un fenilpirazol que actúa sobre el sistema nervioso central, concretamente sobre la sinapsis química afectando el sistema GABA (ácido gammaaminobutírico) (Boaretto & Forti, 1997). En un estudio realizado por Gaona Mena y Lajathe (2013) en el que se utilizaron dos dosis de cebo/nido con los tres insecticidas en cuestión, se obtuvieron los siguientes resultados; el fipronil (0,03% i.a.) y fipronil (1% i.a.) en dosis de 5 g/nido controla colonias con una eficiencia de 100%, la sulfloramida (0,3% i.a.) en dosis de 5 g/nido controla los hormigueros con eficiencia de 100%. El clorpirifós (0,125% i.a.), tiene solo 20% de control sobre los hormigueros de *Acromyrmex rugosus*. El clorpirifós (0,2% i.a.) tiene una eficiencia global de 90% en el control de los nidos de *Acromyrmex rugosus*, pero tiene un control de 100% con 5 g, 20 g y 40 g/nido la mayor o menor cantidad de cebos acarreados depende del principio activo, de la dosis ofrecida y de la interacción entre el principio activo y la marca.

Este mismo estudio indicó que no existe una dependencia entre los productos utilizados y el tiempo de control, con respecto a la eficiencia de los mismos. Por otra parte, los cebos a base de fipronil y sulfloramida fueron aceptados y acarreados sin mayores inconvenientes, pero no fue el caso del clorpirifós que fue rechazado por las obreras al poco tiempo de empezar a acarrearlo, sacándolos de vuelta fuera del nido y dejando de transportarlo (Gaona Mena & Lajathe, 2013).

Una vez ingresado el cebo a la colonia por parte de las propias hormigas, el mismo es distribuido uniformemente, llegando a la honguera, donde es procesado por las obreras hidratándolo, fragmentándolo e incorporándolo a la masa de hongo, este proceso se da luego de las 6 a 18 horas de ofrecido el insecticida, contaminando entre el 50% y el 80% de las obreras (Pretto, 1996). Finalmente, luego de tres días se detiene el forrajeo y la

colonia se desorganiza, aunque la reina puede sobrevivir hasta 40 días (Boaretto & Forti, 1997).

Si bien este método es el más eficiente hasta ahora, tiene ciertas limitaciones como es la pérdida de efectividad cuando es aplicado en grandes extensiones y la imposibilidad de ser utilizado en periodos lluviosos o muy húmedos ya que se desagrega con facilidad.

Para realizar un control más eficiente se deberán tener ciertos aspectos en cuenta, como es la dosificación adecuada con un previo dimensionamiento del nido. Se considera que para hormigueros de menor tamaño alcanzan 10 g mientras que para hormigueros más grandes se necesitan 20 g del producto (Bollazzi et al., 2023). Si no se observa la colonia, puede calcularse el tamaño por el ancho de los caminos por donde circulan las obreras (Bouvet, 2021). Este aspecto es muy importante ya que los fallos en el control incurren en el mal dimensionamiento de los nidos (Justi Junior et al., 1996).

Además, para aumentar la eficiencia del cebo es importante el momento y el lugar donde se coloca, siendo mejores los momentos de mayor actividad de la colonia donde salen a forrajear (Bollazzi et al., 2023). Bollazzi y Roces (2011) afirman que, al ser insectos exotérmicos, la temperatura afecta la velocidad de transporte y la motivación de estas. En cuanto al lugar, los productos deben ser colocados a los costados del camino por donde circulan las hormigas, próximos a las bocas de entrada, no obstaculizando el camino, ni dentro del hormiguero ya que pueden rechazarlo por identificarlo como una amenaza (Bouvet, 2021).

Partiendo de saber que ambas especies difieren en el material cosechado, se entiende que tendrán una preferencia diferente en los compuestos que las atraen. *A. heyeri* como cortadora de pastos se encuentra atraída por monocotiledóneas y gimnospermas (Nickele et al., 2012) frente a *A. lundii* que prefiere hojas de dicotiledóneas (Montoya-Lerma et al., 2012). Entonces, el vehículo que forma parte de la formulación de los cebos actuales, no tendrá el mismo resultado en la atracción para ambas especies. Deduciendo que el factor químico puede ser uno de los causantes de la baja eficiencia del control con este método, no siendo aceptada la pulpa cítrica por *A. heyeri*.

Una vez localizado el cebo por parte de las hormigas, y aceptado como alimento, este debe ser llevado en la dosis suficiente, ya que una subdosis provocaría que no se dé una muerte total de la colonia y esta se recupere. Esto causaría que una segunda aplicación a los 90 días sea rechazada debido a la capacidad de las hormigas de identificar sustancias o elementos que fueron perjudiciales (Link, 1997).

En cuanto a la tasa de transporte, ésta depende de la velocidad y dependerá de la masa y el largo de la carga. Se ha observado que el tamaño de las cargas está por debajo de lo esperado para maximizar el transporte individual de cada obrera, debido a que las hormigas seleccionan el tamaño del fragmento. Prefiriendo aquellos fragmentos más pequeños a pesar de que esto resulte en menores tasas de transporte (Burd, 1996a, 1996b). No ocurre lo mismo cuando se les ofrece un elemento de alta atraktividad como

son los cebos tóxicos, transportando mayores cargas en comparación con lo que ocurre en condiciones naturales, lo cual podría limitar la velocidad de entrega y la tasa de transporte (Bellucci Fratti & Pintos Torres, 2014).

Pero en el trabajo realizado por Bellucci Fratti y Pintos Torres (2014) se concluyó que la velocidad es independiente del índice de carga, las autoras afirman que las obreras se trasladan a una misma velocidad sin importar cuanto estén cargando. También observaron que existen diferencias en los pesos, siendo las obreras de *A. lundii* más pesadas que *A. heyeri* las que transportan cebos, pero esto no repercute en el peso transportado ya que hormigas grandes o chicas pueden cargar el mismo peso. Sin embargo, para cargas naturales si hay una correlación positiva.

Los cebos tóxicos disponibles actualmente se ajustan al rango de cargas que pueden transportar las hormigas del género *Acromyrmex* permitiendo contar con un margen para aumentar el tamaño de los cebos y así incrementar el contenido de ingrediente activo por unidad. De esta manera, aumentaría la eficiencia del control sistemático, ya que las hormigas tendrían que transportar menos unidades de cebo para llevar la misma cantidad de ingrediente activo (Bellucci Fratti & Pintos Torres, 2014).

Las hormigas cortadoras son capaces de transportar cebos de hasta 4 veces el peso de los mismos (Bellucci Fratti & Pintos Torres, 2014; Duarte Costa & Grecco Moreno, 2016; Listre Barreto, 2018). Esto supone que un cambio en el tamaño del pellet podría mejorar la eficiencia con este tipo de control. Pero nos enfrentamos a otra limitante, por la cual se realiza este trabajo; ¿Es posible la manipulación y transporte de cebos más grandes por parte de las hormigas del género *Acromyrmex* o la apertura mandibular podría estar limitando su levantamiento?

2.4 HIPÓTESIS

No todas las especies de *Acromyrmex* pueden levantar los cebos comerciales utilizados en el control de hormigas cortadoras de hojas con la misma eficiencia, ya que existe una diferencia significativa en la apertura mandibular de las obreras de las diferentes especies.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos planteados pretenden establecer el efecto de la apertura mandibular en la capacidad de las obreras de *Acromyrmex* de forrajear los cebos hormiguicidas. Para ello, se compararon dos especies de *Acromyrmex* presentes en la zona de estudio, con apertura mandibular diferente: *Acromyrmex lundii* y *Acromyrmex heyeri*.

Con el fin de cumplir con estos objetivos es que se midió el tiempo que tardan en reconocer el cebo, aceptarlo y levantarlo hasta el camino, el tamaño de la cabeza, la apertura mandibular y el peso de la obrera; así como el largo del cebo que haya levantado. Para luego analizar la relación entre la apertura mandibular y el ancho de la cabeza en obreras con y sin cebo; así como también el tiempo en que demora en levantar el hormiguicida respecto al tamaño de la obrera, su peso y el largo del cebo levantado.

3.1 TIEMPO DE PICK-UP

Para medir el tiempo que demoran en levantar el cebo y transportarlo (pick-up) se identificaron hormigueros y/o caminos de forrajeo de *Acromyrmex heyeri* y de *Acromyrmex lundii* dentro del predio de Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay ($34^{\circ}50'12.75''S$; $56^{\circ}13'15.82''O$). En la figura 7 se muestra la localización de los hormigueros estudiados.

Figura 7

Ubicación de los nidos muestreados



Nota. Elaborado a partir de Google Earth (2024).

Se muestrearon un total de siete colonias que fueron identificadas como: *A. heyeri*-Ciprés, *A. heyeri*-Ceibo, *A. heyeri*-Vitivinicultura; *A. lundii*-Bodega, *A. lundii*-Contenedor, *A. lundii*-Estacionamiento y *A. lundii*-Compostaje (Figura 7). Se rotó entre hormigueros con la intención de muestrear diferentes colonias, con diferentes tamaños de obreras y con distinta intensidad de forrajeo, aumentando así la variabilidad de muestras y evitando sesgos estadísticos. Por la época de realización de la toma de datos (otoño 2022) se encontraron colonias ya establecidas. En la Figura 8 se muestra uno de los nidos de *A. heyeri* estudiados y en la Figura 9 uno de los nidos de *A. lundii*.

Figura 8

Nido de Acromyrmex heyeri



Figura 9
Nido de Acromyrmex lundii



Una vez identificados se pasó a buscar un camino de forrajeo con un flujo continuo de obreras y en lo posible que estuviera libre de vegetación para hacer una correcta observación y medición del acarreo. Luedo de seleccionar el camino se colocó una regla marcando los 40 cm de trayecto recorrido y en un extremo el cebo tóxico (Lampo o Dinagro)¹. El cebo se colocó al costado del camino, para no interrumpir el flujo de forrajeo y evitando que lo rechacen por identificarlo como una amenaza.

Los parámetros medidos fueron:

- tiempo en recoger el cebo (s).
- tiempo en recorrer 40 cm de camino (s).

El criterio utilizado para realizar estas mediciones fue comenzar el conteo a partir del primer intento de levantamiento del cebo, finalizando cuando lograra cargarlo y comenzara a dirigirse hacia el camino de forrajeo. Se rechazaba la muestra cuando la obrera desistía o cuando se establecía una lucha entre obreras y terminaba cargándola otra hormiga.

¹ Marcas comerciales, Lampo contiene IA: fipronil y Dinagro IA: sulfluramida.

En la medición del camino recorrido el criterio utilizado fue comenzar a medir el tiempo al pasar por el número cero de la regla y detener el cronómetro al culminar el recorrido a los 40 cm.

Se descartaron muestras cuando: la obrera abandonaba el camino de forrajeo, daba la vuelta dirigiéndose en sentido contrario y/o cuando se establecía una lucha entre obreras que hacía que la hormiga medida perdiera el cebo.

Una vez tomadas las mediciones se procedió a levantar la obrera y el cebo transportado con pinzas y colocarlos en un tubo numerado, registrando dichas mediciones en una planilla de campo junto con su número de identificación (Figura 10). Estos tubos fueron colocados en una gradilla a la sombra para evitar la exposición directa al sol, que aumente la temperatura y cause la muerte de las obreras colectadas (anexo A). Una vez obtenidas las muestras, se llevaron al laboratorio donde se procedió con las siguientes mediciones.

Figura 10

Tubos con muestras de hormiga y cebo recolectados



3.2 MEDICIONES EN OBRERAS Y CARGA

Una vez en el laboratorio se procedió a realizar las mediciones de las siguientes variables:

- largo del cebo (mm)
- apertura mandibular (mm)
- ancho de la cabeza (mm)
- peso de la hormiga (mg)

Con el calibre adaptado para una medición más precisa se midió el largo del cebo transportado. Luego con la hormiga viva, se la tomó con pinzas desde el tórax y se enfrentó al calibre. La misma abre y cierra la mandíbula para intentar morder el calibre, pero sin dejar que lo tome se pasa a realizar la medición intentando tomar el valor en la máxima apertura mandibular. Para disminuir errores muestrales, se realizaron al menos tres medidas y se tomó la mayor obtenida.

Luego se procedió a tomar la medida del ancho de la cabeza, ésta se obtiene en el punto más ancho de la cabeza a la altura de la inserción del par antenal (Figura 11). Se registran ambas medidas en la planilla usada en la etapa de campo con la numeración correspondiente.

Por último, se pasa a hacer la medición de peso de las obreras, para esto se utilizó la balanza de precisión OHAUS, modelo A560C, USA con una precisión de 0,1 mg. La cual se taró con un tubo de muestra vacío entre medición y medición (Figura 12). Se registró el peso en la planilla y se guardaron las muestras recogidas en una gradilla con tapa en la heladera (Figura 13), de esta manera acondicionándose y reservándose para posibles corroboraciones posteriores (anexo B).

Figura 11
Medición del ancho de cabeza

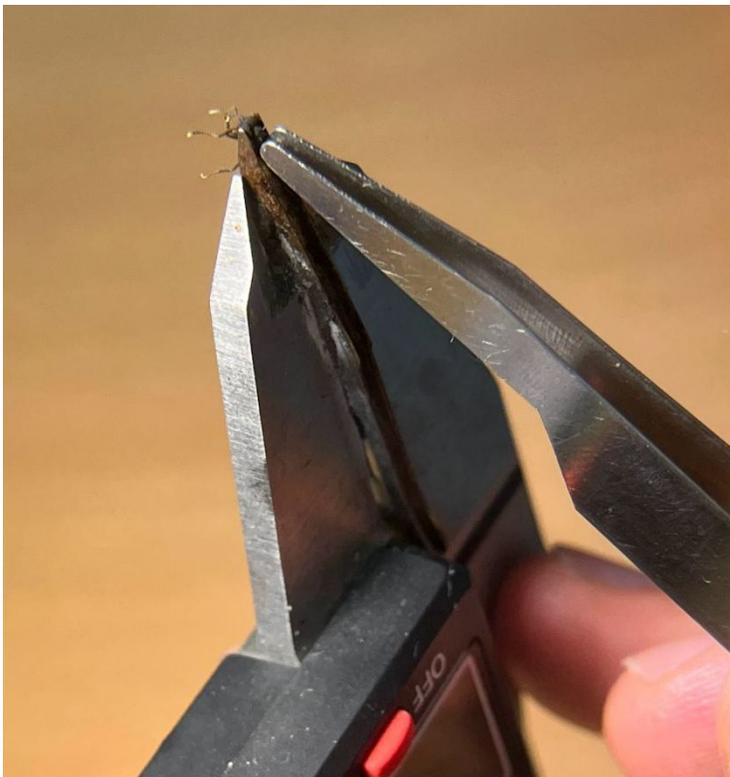
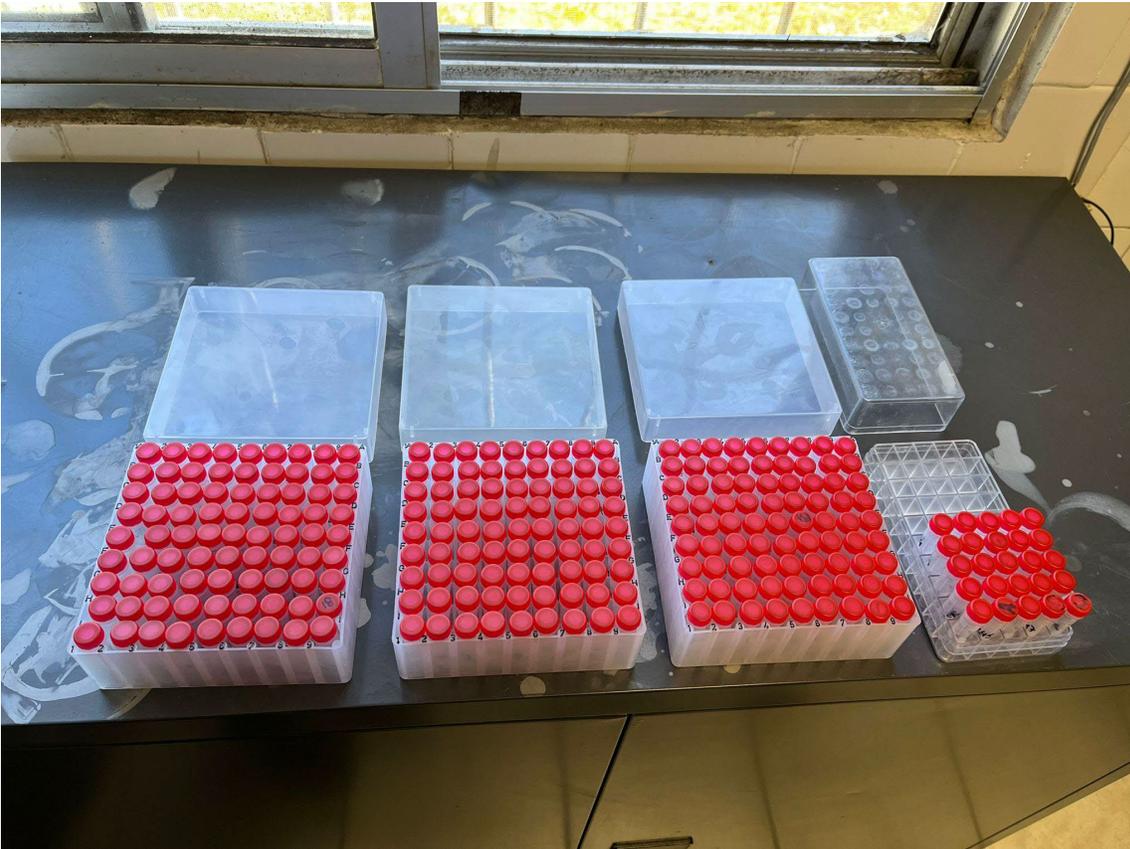


Figura 12
Materiales utilizados en la etapa práctica



Figura 13
Gradillas con muestras recolectadas



3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Obtenidas las mediciones del material recolectado a campo, se pasó analizar los valores y ajustar distintos modelos para encontrar correlaciones y elaborar su análisis estadístico. Los valores de las variables se analizaron aplicando modelos lineales mixtos o modelos lineales generalizados utilizando el paquete estadístico R, en el caso de las GLM la distribución utilizada fue la Lognormal.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

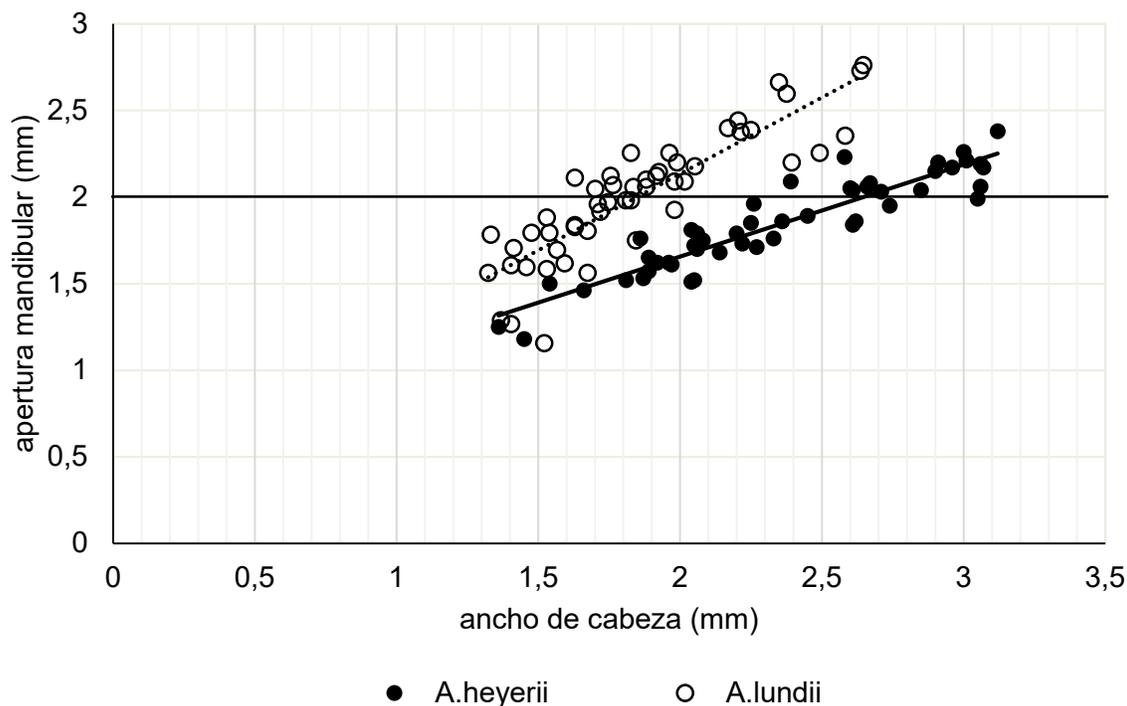
Las Figuras 14 y 15 representan la apertura mandibular en función del ancho de la cabeza, para obreras que no cargaron cebo y hormigas que si cargaron cebo respectivamente.

Para las obreras que no cargaron cebo, *A. lundii* tiene mayor capacidad de apertura mandibular que *A. heyeri* ya que, esta última tiende a no superar los 2 mm, mientras que en *A. lundii* la mayoría de las muestras se encuentran por encima de este valor (Figura 14). La relación entre ambas variables es lineal positiva, con un ajuste alto, expresado mediante el R^2 , de 82% en *A. lundii* y 77% en *A. heyeri*.

Además, luego de ajustar el modelo lineal mixto, se comprobó que esta relación entre ancho de la cabeza y apertura mandibular es significativa ($F_{1,96} = 344$, $p < 0,001$). Sin embargo, respecto al tamaño de cabeza, la que presenta mayor tamaño es *A. heyeri*, siendo que la mayoría se ubican entre 2,0 mm y 3,0 mm cuando para *A. lundii* oscilan entre 1,5 mm y 2 mm. Esta inclinación, entre ambas variables, también se puede observar con la pendiente de las líneas de tendencias en cada una, siendo mayor en *A. lundii* que en *A. heyeri*. Significa que, en *A. lundii* pequeños incrementos en el tamaño de la cabeza resultan en una mayor capacidad de apertura mandibular. Visto de otra forma, se puede decir que, entre obreras del mismo tamaño, *A. lundii* tiene mayor capacidad de apertura mandibular que *A. heyeri* ($F_{1,96} = 344$, $p < 0,001$).

Figura 14

Apertura mandibular (mm) vs. Ancho de cabeza (mm) en obreras sin cebo

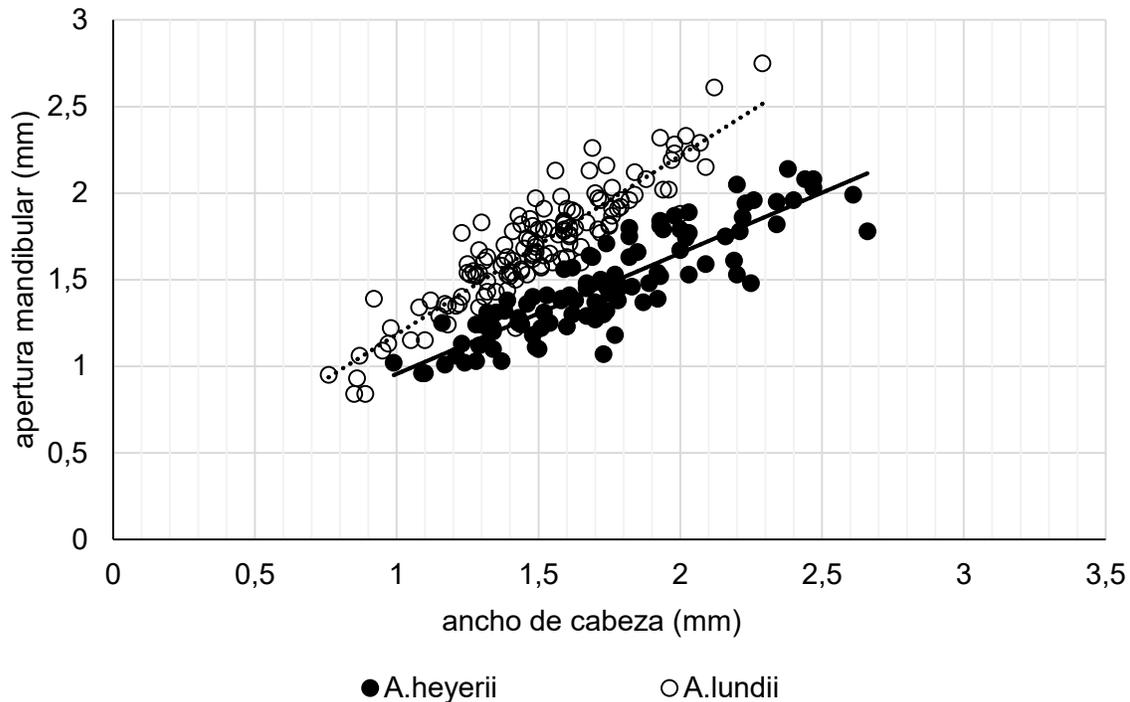


Teniendo en cuenta que el diámetro de los cebos comerciales es aproximadamente de 2 mm y suponiendo que ambas especies levantan por el diámetro del cebo, no por el largo. A priori, se podría inferir que, *A. lundii* no se encontraría exigida para levantar el cebo, pero sí lo podría estar *A. heyeri*, que mostró valores de apertura mandibular menores.

En la tendencia que siguen los datos de las hormigas que cargaron cebo (Figura 15) se observa que las hormigas encargadas del acarreo no son las más grandes, sino por el contrario, hay un desplazamiento del promedio de los valores en el eje de las x hacia la izquierda, significa que son hormigas más pequeñas las que se encargan de esta tarea. La relación entre ambas variables es lineal positiva, con un ajuste alto, expresado mediante el R^2 , de 82% en *A. lundii* y 77% en *A. heyeri*. Además, luego de ajustar el modelo lineal mixto, se comprobó que esta relación es significativa ($F_{1,229} = 35$, $p < 0,001$) y que las obreras de *A. lundii* que cargaron el cebo tienen una apertura mayor que en *A. heyeri* ($F_{1,229} = 154$, $p < 0,001$).

Figura 15

Apertura mandibular (mm) vs. Ancho de cabeza (mm) en obreras con cebo



El hecho de que las obreras que cargan el cebo son más pequeñas que el promedio general de las obreras que no cargan cebo condice con la organización de las castas donde las hormigas de mayores tamaños se encargan de otras actividades como lo es la defensa de la colonia (Zerbino, 2002). Este punto coincide con el promedio de la apertura mandibular que está por debajo de los 2 mm y tiene sentido ya que ambas variables, como ya se vio, están correlacionadas.

Dado que *A. lundii* sigue mostrando que es capaz de abrir la mandíbula a valores de 2 mm o más, podríamos aprovechar esta capacidad para ofrecer a esta especie tamaños de cebos mayores que optimizarían la eficiencia de control explicado por una mayor capacidad de carga que se traduce en una mayor entrada de producto a la colonia.

No obstante, a las correlaciones encontradas en las hormigas que cargaron cebo y las que no cargaron cebo respecto a su apertura mandibular, no se debe descartar la existencia de errores de medición, ya que no solo entra la subjetividad del operario que mide, sino también los instrumentos utilizados y su precisión.

Tener en cuenta que las hormigas se colectaron a campo y se les realizaba las mediciones pertinentes luego de estar 4 horas en un recipiente, lo que podría influir en la resistencia y fuerza que aplicaban al ser medidas. Al momento de medir la capacidad máxima de apertura se planteó la cuestión de hasta qué punto era una apertura capaz del propio individuo y en qué punto empezaba a ser forzada por las herramientas de medida. Con esta modalidad se plantea la incertidumbre de que los valores obtenidos pueden estar subestimados y realmente tienen una mayor capacidad de apertura.

Aquí lo que se analiza es cómo impactan tres variables de respuesta en cuanto al tiempo que les incurre a las hormigas levantar el cebo: ancho de cabeza (Figura 16), peso de la hormiga (Figura 17) y largo del cebo (Figura 18).

Figura 16

Tiempo en levantar el cebo (s) vs. ancho de cabeza (mm)

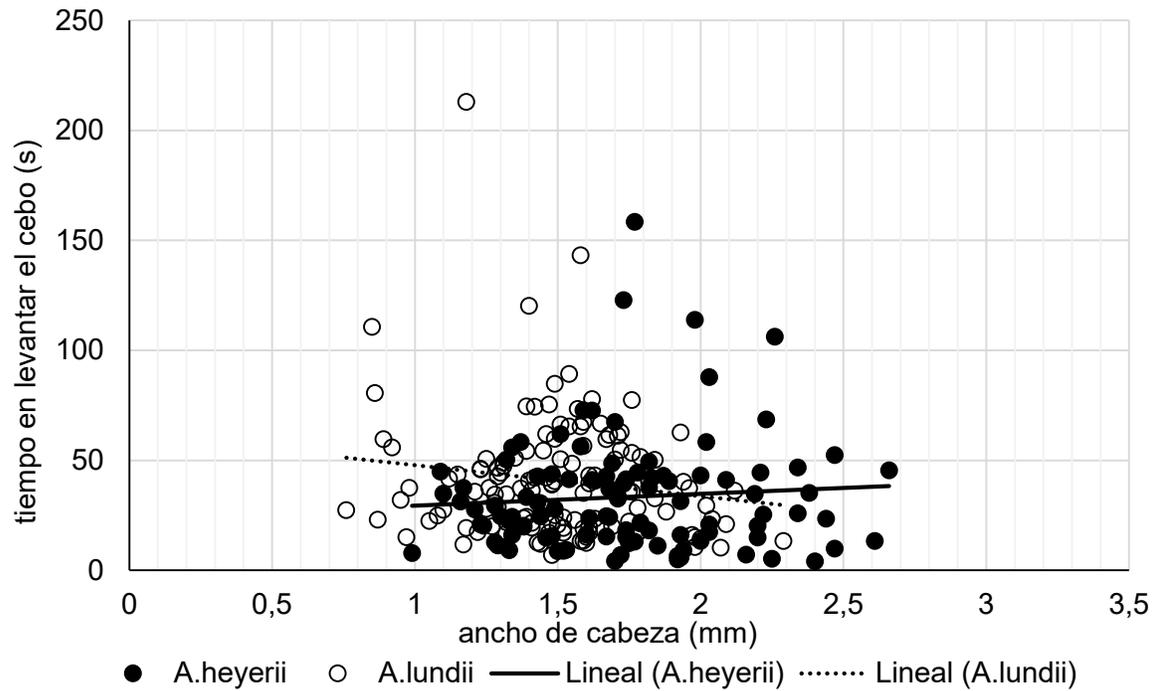
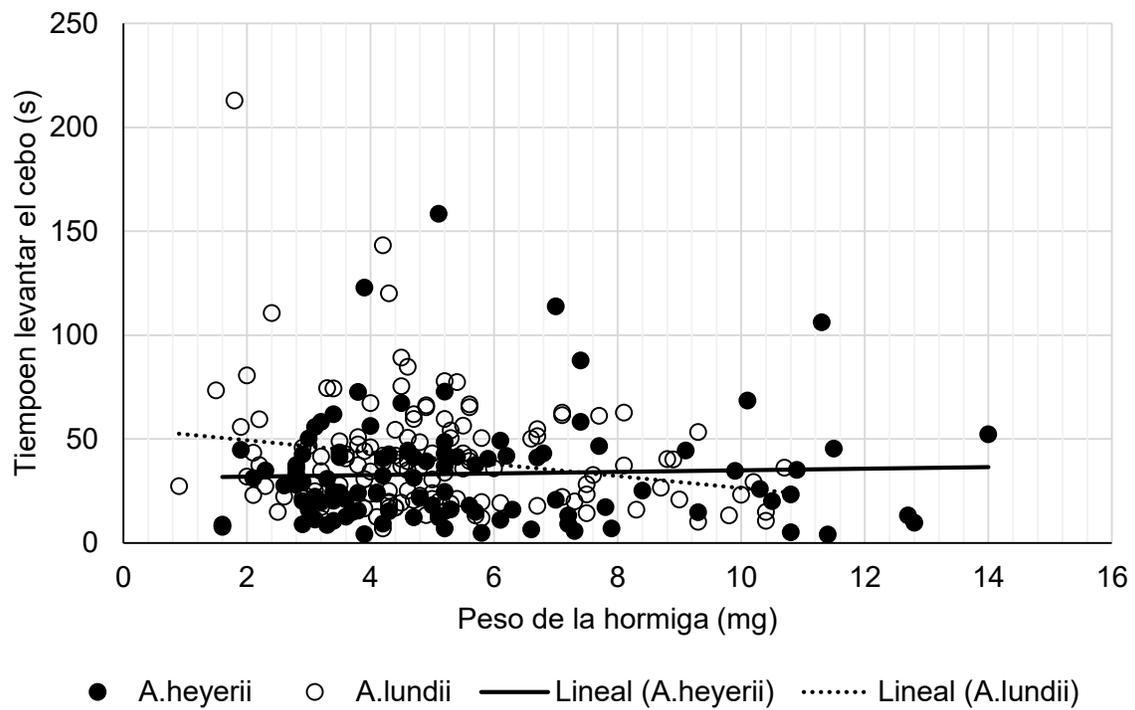
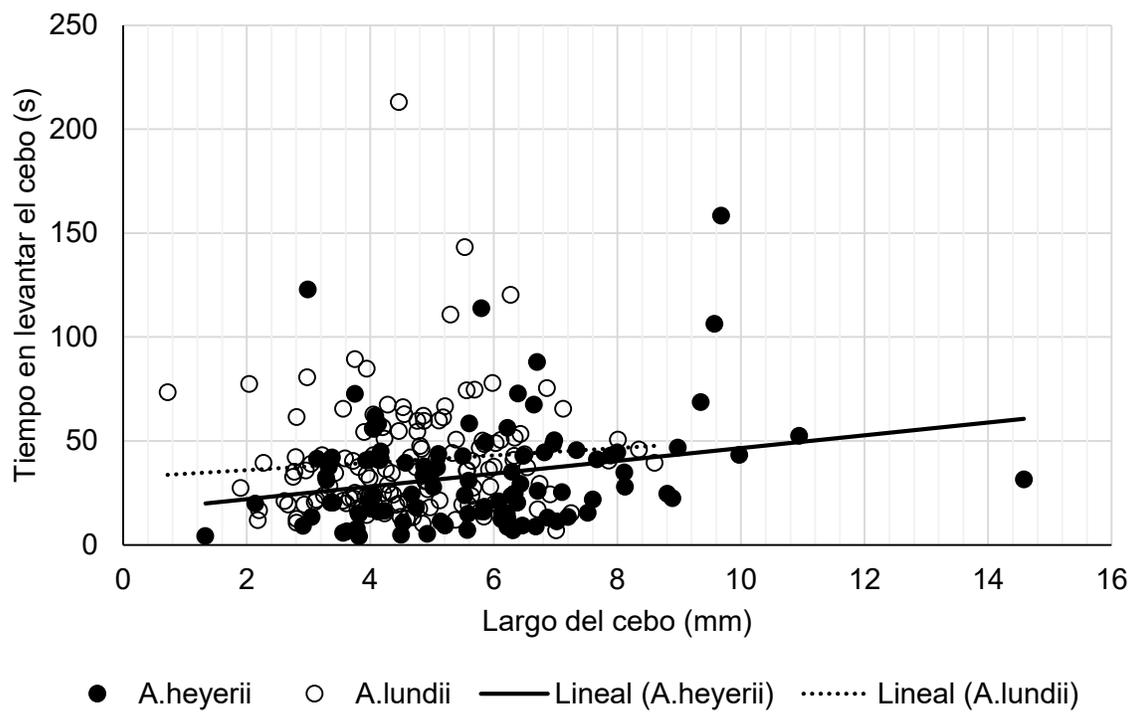


Figura 17

Tiempo en levantar el cebo (s) vs. peso de la hormiga (mg)

**Figura 18**

Tiempo en levantar el cebo (s) vs. largo del cebo (mm)



Al momento de muestrear, una vez localizado el camino y puesto el cebo, las primeras obreras que se acercaron interactuaron con él, lo manipularon bastante y se vio una continuidad en el levantado después de unos minutos. Al principio, se establece un contacto con el cebo, lo levantan, lo dejan e incluso se van y vuelve otra obrera a intentar levantarlo. Aquí lo que sucede es un reconocimiento para establecer una comunicación entre ellas y definir así, si era un alimento apto para ser llevado a la colonia. Esta experiencia concuerda con la hipótesis de transferencia de información, en donde se define una primera fase de búsqueda de alimento, donde están impulsadas por transferir información de la fuente de alimento encontrada para reclutar más obreras. Luego ocurre la denominada fase establecida, donde sí la tarea principal es forrajear el alimento a la colonia (Bollazzi & Roces, 2011).

Del proceso de forrajeo, las etapas que están implicadas son: 1- tomar el cebo/cortar el material y 2- levantarlo. Es pertinente explicar que en esta instancia mayores aperturas mandibulares (como mostró *A. lundii*) podrían estar favoreciendo la acción de tomar el cebo, ya que mayores aperturas mejorarían la manipulación del mismo. Pero esta condición no tendría ningún impacto en la acción de levantar el pellet, ya que en este momento la hormiga deberá vencer otras fuerzas que no están relacionadas con mayores capacidades de aperturas mandibulares, ya que se trata de llevar el cebo desde el suelo hacia la posición vertical de carga (Bollazzi & Roces, 2011).

Al tener en cuenta las variables: especie, peso de la hormiga y largo del cebo; versus el tiempo en que las obreras demoran en levantar el cebo, el modelo que mejor se ajustó a esta relación fue el modelo lineal generalizado ($F_{8,224}=6.76$, $p<0.001$). Además, se observan diferencias significativas entre las especies ($F_{8,224}=5.06$, $p<0.001$). Sin embargo, el valor de R^2 del modelo resultó ser de 17%, por lo que el 83% de la variación no estaría explicada por las variables explicativas consideradas. Se cree que parte de ese 83% que no está explicado por las variables que se tuvieron en cuenta en el desarrollo de esta investigación, puede estar involucrado la motivación que tuvieron las hormigas para forrajear el cebo ofrecido. Según Roces y Núñez (1993) el estado motivacional para forrajear está relacionado con la calidad del alimento, es decir, cuánto más rico es el alimento que forrajean mayor motivación se transmiten entre ellas.

No obstante, al analizar el efecto de las variables explicativas, se observan efectos diferentes entre ellas. No puede concluirse una relación entre el tiempo que demoran en levantar los cebos y el ancho de la cabeza (como medida de la apertura mandibular) debido a la dispersión de los datos y el bajo ajuste de la pendiente (ver Figura 16).

El análisis estadístico mediante un modelo lineal generalizado arrojó que no existe un efecto del peso de la obrera en el tiempo que las obreras demoran en recoger el cebo ($F_{8,224}=0.25$, ns) (ver Figura 17). A priori se cree que hormigas con tamaños más grandes y por lo tanto aperturas mandibulares mayores, podrían manipular mejor el cebo y levantarlo en menos tiempo, es decir, una superioridad de *A. lundii*. Igualmente, esta tendencia no es tan marcada y con un modelo lineal generalizado vemos que las diferencias no son significativas entre ambas especies ($F_{8,224}=3.21$, ns).

Cuando se mide el largo del cebo vs. el tiempo que demora en levantarlo (Figura 18) las diferencias no son significativas como para inferir una superioridad de una especie sobre la otra. Pero sí vemos diferencias significativas para ambas especies para las variables medidas, en las que cuanto más largo es el cebo, más tiempo demoran en manipularlo y levantarlo ($F_{8,224}=13.52$, $p < 0,001$).

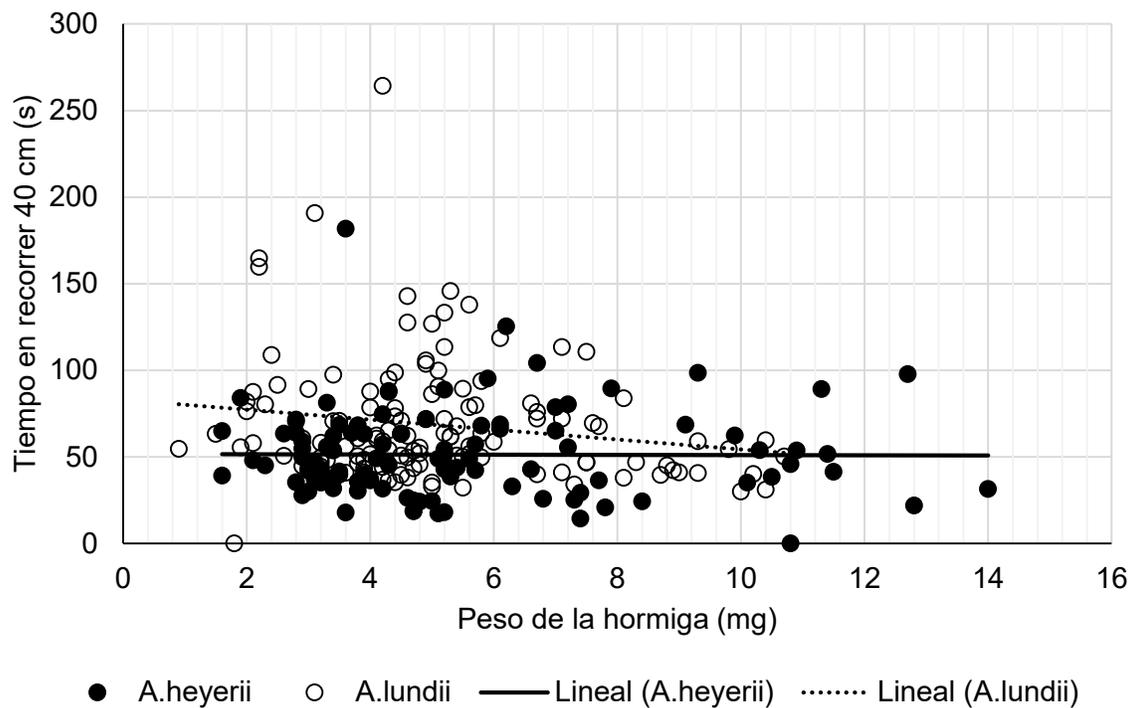
En la práctica realizada se observó que sea cual sea las dimensiones del pellet, siempre lo levantaron tomándolo desde el diámetro del cilindro y nunca desde el largo del mismo. Es decir que, el largo del pellet no influye en la forma en que lo levantan, si no en el tiempo que les insume hacerlo, ya que cuanto más largo el pellet más palanca le hace para posicionarlo en vertical desde el suelo (fuerza de torque). No es una limitación práctica para el acarreo, pero sí podría significar una mayor eficiencia en la entrada del insecticida a la colonia cuanto más grande sea el tamaño del cebo que acarrear.

Las gráficas de las figuras 19 y 20 lo que están demostrando es que ambas variables, peso de la hormiga y largo del cebo son significativas y determinantes del tiempo que les insume a las obreras recorrer 40 cm cargadas con el cebo hacia la colonia, al menos para *A. lundii*. El ajuste a un modelo lineal generalizado muestra valores altamente significativos ($F_{8,224}= 28.9$, $p < 0,001$) y un ajuste alto de $R^2 = 0.52$. A su vez se observa que las obreras de *A. lundii* le insume más tiempo recorrer los 40 cm que a las de *A. heyeri*.

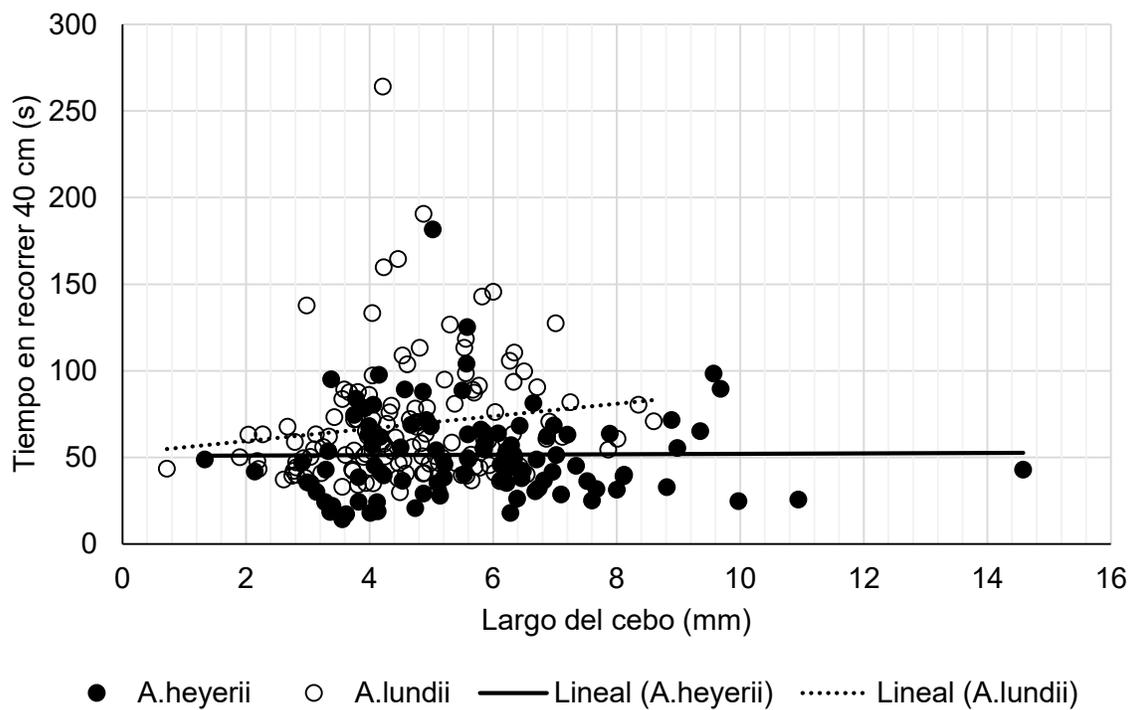
Entre ambas variables explicativas, la que tuvo mayor significancia y que explica con mayor porcentaje la variación en el tiempo en recorrer 40 cm fue el peso de la hormiga ($F_{8,224}= 55.02$, $p < 0,001$), aunque el largo del cebo también muestra un efecto significativo ($F_{8,224}= 22.94$, $p < 0.001$).

Figura 19

Tiempo en recorrer 40 cm (s) vs. Peso de la hormiga (mg)

**Figura 20**

Tiempo en recorrer 40 cm (s) vs. Largo del cebo (mm)



Como se mencionó anteriormente, uno de los factores que afectan la velocidad de transporte de la hormiga con carga, además de las condiciones ambientales y del camino, es el tamaño corporal de la obrera (Bollazzi & Roces, 2011; Burd, 2000). Entonces, que el peso de la hormiga tenga mayor significancia en la variación del tiempo en recorrer 40 cm cargadas tiene lógica, ya que, como describen Bollazzi y Roces (2011) para *A. heyeri* existiría una relación positiva entre la tasa de transporte bruto y la masa corporal de la hormiga. Que se verifica para ambas especies en la Figura 19. Cuanto mayor es el tamaño de la hormiga, menos tiempo les insume recorrer 40 cm, este efecto es mayor para *A. lundii*.

En cuanto al largo del cebo, la afectación puede deberse a que el centro de gravedad al tener un tamaño de pellet más largo sobre ella, cambia y dificulta más el traslado por el camino (Bollazzi & Roces, 2009). Moll et al. (2013) afirman que, al variar la carga, la dinámica de transporte cambia para lograr equilibrarse y es así que la obrera debe apoyar más patas de las que apoyaría normalmente para trasladarse, provocando que se vuelva más lenta. Este efecto se evidencia en la Figura 20, donde para *A. lundii* la pendiente de la gráfica es positiva, quiere decir que cuanto más largo es el cebo tarda más tiempo en recorrer 40 cm, es decir, se hace más lenta. Efecto que no se ve para *A. heyeri* que parece no afectarle el largo del pellet que transporta.

En la tesis de maestría de Listre Barreto (2018) se probaron diferentes pesos de cebo y cómo éste afectaba la tasa de transporte, concluyendo que, hasta 4 veces el peso de los cebos comerciales actuales, no había diferencias significativas que indiquen una reducción en la velocidad de transporte. Esto permitiría plantear la idea de reformular los cebos que hoy se aplican y con esto mejorar la eficiencia de control, con un mayor ingreso de insecticida a la colonia. En dicho trabajo realizado por Listre Barreto (2018), se concluye que *A. heyeri* no se siente atraída por la pulpa cítrica debido a un factor químico que provoca que la rechacen y que no levanten el cebo.

Una de las hipótesis alternativas a partir de estos resultados es plantearse que el factor en discusión sea el IA. El mismo está fallando en el control (Sabattini et al., 2022), y el fallo puede deberse a que las obreras estén rechazando por algún motivo el cebo o porque el cebo no esté alcanzando el nivel de toxicidad para matarlas, y se genere una información negativa asociada a los cebos como una amenaza.

5. CONCLUSIONES

Expuestos los resultados de este trabajo, se concluye que, *A. lundii* a pesar de tener tamaños de cabeza más chicos, logra mayores aperturas mandibulares que *A. heyeri*. Teniendo en cuenta que los cebos comerciales que existen para el control de hormigas cortadoras, son de hasta 2 mm, tanto *A. heyeri* como *A. lundii*, no se verían exigidas para levantar el cebo por la capacidad de apertura mandibular, por lo que los fallos en el control no estarían explicados por este factor físico. También se concluye que a *A. heyeri* parece no afectarle el largo del cebo ni el tamaño corporal de la hormiga en el transporte, logrando ser más veloz.

Entonces, si no existe una limitante física, podría plantearse la posibilidad de aumentar el tamaño de los cebos y así acarrear más principio activo en menos pellets ingresados a la colonia, aumentando así las probabilidades de control. Ya que se tendría que acarrear menos cantidad de pellets hacia el interior de la honguera, evitando la exposición de estos a factores ambientales que aceleran el proceso de degradación en el campo y con ello la pérdida de producto.

Otra opción que se discutió fue la de aumentar la concentración de principio activo del cebo, pero aquí surge la controversia de que al aumentar la cantidad de principio activo disminuye el tiempo en que demora en actuar el mismo, efecto no deseado, ya que cuanto más se comuniquen las obreras infectadas y transmiten el veneno entre ellas, mayor control.

Se propone aumentar la eficiencia de acarreo con un nuevo atrayente químico que sustituya o trabaje en conjunto con la pulpa cítrica usada actualmente. Se podría haber planteado también aumentar la atractividad de las hormigas por el cebo incorporando feromonas que las motivara a levantarlo, pero visto que éstas son muy volátiles en el ambiente, las mismas no perdurarían en el tiempo, no siendo viable esta opción.

Concluyendo que una mejora en la eficiencia del control va de la mano de encontrar algún atrayente químico que sustituya o trabaje en conjunto con la pulpa cítrica, se propone continuar la investigación por estas líneas de trabajo, buscando aquellas mejoras, alternativas o suplementos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, A. F., Alves, J. E. M., Mendes Filho, J. M., & Laranjeiro, A. J. (1983). A avifauna e o subbosque como fatores auxiliares no controle biológico das saúvas em florestas implantadas. *Silvicultura*, 8(28), 145-150.
- Araújo, M. S., Della Lucia, T. M. C., & de Souza, D. J. (2003). Estratégias alternativas de controle de formigas cortadeiras. *Bahia Agrícola*, 6(1), 71-74.
<https://www.yumpu.com/pt/document/read/15522471/estrategias-alternativas-de-controle-de-formigas-cortadeiras-seagri>
- Bellucci Fratti, I. & Pintos Torres, M. (2014). *Eficiencia en el transporte de cebos tóxicos por hormigas cortadoras del género Acromyrmex* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8738/1/3933bel.pdf>
- Boaretto, M. A. C., & Forti, L. C. (1997). Perspectiva no controle de formigas cortadeiras. *Serie Técnica IPEF*, 11(30), 31-46.
<https://www.ipef.br/PUBLICACOES/stecnica/nr30/cap3.pdf>
- Bollazzi, M. (2014). *Reconocimiento a campo de plagas y enfermedades forestales: Hormigas cortadoras de hojas Acromyrmex sp.* INIA; Universidad de la República.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3370/1/inia-cartilla36-Acromyrmex.pdf>
- Bollazzi, M., Katzenstein, G., & Sabattini, J. A. (2022). Efecto del sombreado de los montes forestales sobre la comunidad de hormigas cortadoras del género *Acromyrmex*: Consecuencias para el manejo de una plaga. En A. Brazeiro (Ed.), *Biodiversidad en paisajes forestados de Uruguay* (pp. 177-193). Universidad de la República.
- Bollazzi, M., Kronenbitter, J. & Roces, F. (2008). Temperatura del suelo, comportamiento de excavación y el valor adaptativo de la profundidad del nido en especies sudamericanas de hormigas cortadoras de hojas *Acromyrmex*. *Oecologia*, 158, 165-175. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1113-z>
- Bollazzi, M., & Roces, F. (2009). Information transfer and the organization of foraging in grass-and leaf-cutting ants. En S. Jarau, & M. Hrncir (Eds.), *Food exploitation by social insects: Ecological, behavioral, and theoretical approaches* (pp. 261-275). CRC Press.
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781420075618-21/information-transfer-organization-foraging-grass-leaf-cutting-ants-stefan-jarau-michael-hrncir?context=ubx&refId=c398c073-7c61-4101-a744-f76ed5498789>

- Bollazzi, M., & Roces, F. (2011). Information needs at the beginning of foraging: Grass-cutting ants trade off size for a faster return to the nest. *PLoS ONE*, 6(3), Artículo e17667. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0017667&type=printable>
- Bollazzi, M., Sabattini, J., Armand Pilón, A., Vega, B., & Martínez, G. (2023). La problemática del manejo de hormigas cortadoras. *Revista INIA*, (74), 53-56. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-74-setiembre-2023.pdf>
- Bouvet, J. P. (2021). *Hormigas cortadoras de hojas en las quintas de cítricos*. INTA.
- Bragança, M. A. L. (2007). Perspectiva da contribuição de forídeos parasitóides no manejo de formigas cortadeiras. *O Biológico*, 69(Supl. 2), 177-181. http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/suplementos/v69_supl_2/p177-181.pdf
- Bragança, M. A. L. (2011). Parasitóides de formigas cortadeiras. En T. M. C. Della-Lucia (Ed.), *Formigas Cortadeiras: Da bioecologia ao manejo* (pp. 321–343). Editora da UFV.
- Britto, J. S., Forti, L. C., Oliveira, M. A., Zanetti, R., Wilcken, C. F., Zanuncio, J., Loeck, A. E., Caldato, N., Nagamoto, N. S., Lemes, P. G., & Camargo, R. S. (2016). Use of alternatives to PFOS, its salts and PFOSF for the control of leaf-cutting ants *Atta* and *Acromyrmex*. *International Journal of Research in Environmental Studies*, 3, 11-92. https://www.researchgate.net/publication/303364980_Use_of_alternatives_to_PFO_S_its_salts_and_PFOSF_for_the_control_of_leaf-cutting_ants_Atta_and_Acromyrmex
- Burd, M. (1996a). Foraging performance by *Atta colombica*, a Leaf-Cutting Ant. *The American Naturalist*, 148(4), 597-612. <https://doi.org/10.1086/285942>
- Burd, M. (1996b). Server System and Queuing Models of Leaf Harvesting by Leaf-Cutting Ants. *The American Naturalist*, 148(4), 613-629. <https://doi.org/10.1086/285943>
- Burd, M. (2000). Body size effects on locomotion and load carriage in the highly polymorphic leaf-cutting ants *Atta colombica* and *Atta cephalotes*. *Behavioral Ecology*, 11(2), 125-131.
- California Academy of Sciences. (2024a, 7 de octubre). Specimen: CASENT0173797 *Acromyrmex lundii*. AntWeb. <https://www.antweb.org/bigPicture.do?name=casent0173797&shot=p&number=1>

- California Academy of Sciences. (2024b, 7 de octubre). *Specimen: CASENT0173795 Acromyrmex heyeri*. AntWeb.
<https://www.antweb.org/bigPicture.do?name=casent0173795&shot=p&number=1>
- Cantarelli, E. B. (2005). *Silvicultura de precisão no monitoramento e controle de formigas cortadeiras em plantios de Pinus* [Disertación doctoral, Universidad Federal de Santa Maria]. Manancial. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3751>
- Cantarelli, E. B., Costa, E. C., Pezzutti, R., & Oliveira, L. da S. (2008). Quantificação das perdas no desenvolvimento de *Pinus taeda* após o ataque de formigas cortadeiras. *Ciência Florestal*, 18(1), 39-45.
<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/509/395>
- Cherrett, J. M. (1986). History of the leaf-cutting ant problem. En C. S. Lofgren (Ed.), *Fire ants and leaf-cutting ants biology and management* (pp. 10-17). Westview Press.
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429038266-2/history-leaf-cutting-ant-problem-cherrett?context=ubx&refId=2717dd55-0d51-4a25-b6e8-eb5af50eb731>
- Cristiano, M. P., Cardoso, D. C., Sandoval-Gómez, V. E., & Simões-Gomes, F. C. (2020). *Amoimyrme Cristiano, Cardoso & Sandoval*, gen. nov. (Hymenoptera: Formicidae): A new genus of leaf-cutting ants revealed by multilocus molecular phylogenetic and morphological analyses. *Austral Entomology*, 59(4), 643-676.
<https://doi.org/10.1111/aen.12493>
- Da Silva, M. E., & Diehl-Fleig, E. (1995). Comparação da eficiência da aplicação direta e de iscas de fungos entomopatogênicos para controle de formigas cortadeiras (*Acromyrmex*). En Universidade Federal de Lavras (Ed.), *Resumos e programa do 15 Congresso Brasileiro de Entomologia: 6 Encontro Nacional de fitossanitaristas: 2 Simpósio integrado de manejo de pragas* (pp. 332). ESAL.
- De Paula, A. R., Vieira, L. P., Dáttilo, W. F. C., Carneiro, C. N. B., Erthal, J. M., Brito, E. S., Silva, C. P., & Samuels, R. I. (2006). Patogenicidade e efeito comportamental de *Photorhabdus temperata* K122 nas formigas cortadeiras *Acromyrmex subterraneus subterraneus* e *Atta laevigata* (Hymenoptera: Formicidae). *O Biológico*, 68(Supl.), 687-690.
http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/suplementos/v68_supl/p687-690.pdf
- Detrain, C., Natan C. & Deneubourg, J. L. (2001). The influence of the physical environment on the self-organised foraging patterns of ants. *Naturwissenschaften*, 88, 171-174. <http://dx.doi.org/10.1007/s001140100217>

- Dirección General Forestal. (2022). *Superficie forestal del Uruguay (bosques plantados): Período 1975-2021*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2023-01/Superficie%20Plantado%20Informe%202022.pdf>
- Duarte Costa, C. & Grecco Moreno, C. (2016). *Efecto de la distancia de aplicación y peso del cebo en la efectividad del control de hormigas cortadoras* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/19671/1/TTS_DuarteCostaCristianDami%c3%a1n_GreccoMorenoChristianAdri%c3%a1n.pdf
- Forest Stewardship Council. (2024). *Listas FSC de pesticidas altamente peligrosos: FSC-POL-30-001aV1-1*. <https://connect.fsc.org/document-centre/documents/retrieve/2b9e1471-5459-4547-9013-9eb2de4c579e>
- Fowler, H. G., Forti, L. C., Pereira-da-Silva, V., & Saes, N. B. (1986). Economics of grass-cutting ants. En C. S. Lofgren (Ed.), *Fire ants and leaf-cutting ants: Biology and management* (pp. 18-35). Westview Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429038266-3/economics-grass-cutting-ants-fowler-forti-pereira-da-silva-saes?context=ubx&refId=0bd572ab-1140-4794-b352-1a654018ad3f>
- Gaona Mena, E. F., & Lajathe C., A. M. (2013). Constatación de la dosis más efectiva de cebos a base de fipronil, sulfluramida & clorpirifós para el control de *Acromyrmex rugosus* (F. Smith, 1858) (Hymenoptera, Formicidae). *Investigación Agraria*, 7(1), 69-76. <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/139/136>
- Gonçalves, C. R. (1961). O genero *Acromyrmex* no Brasil (Hymenoptera: Formicidae). *Studia Entomologia*, 4(1-4), 113-180. https://archive.org/details/ants_04888/4888/mode/2up
- Google Earth. (2024). [Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. Imagen satelital]. Recuperado el 7 de octubre de 2024, de <https://earth.google.com/web/@-34.83683539,-56.22318466,41.74315254a,676.24345277d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBMikKJwOlCiExREM3cEMycEFjMEqwTTNJd0IOYTVkbHJpVE9tUVFPS18gAToDCgEwSggl4uCa-QcQAQ>
- Hernández, J. V., & Jaffé, K. (1995). Dano econômico causado por populações de formigas *Atta laevigata* (F. Smith) em plantações de *Pinas caribaea* Mor. e elementos para o manejo da praga. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 24(2), 287-298. https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:ZVdesqieybkJ:scholar.google.com/+hern%C3%A1ndez+y+jaffe+1995&hl=es&as_sdt=0,5
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). *The ants*. Harvard University Press.

- Howard, J. J. (1987). Leafcutting Ant Diet Selection: The Role of Nutrients, Water, and Secondary Chemistry. *Ecology*, 68(3), 503-515. <https://doi.org/10.2307/1938455>
- Howard, R. W., Akre, R. D., & Garnett, W. B. (1990). Chemical mimicry in an obligate predator of carpenter ants (Hymenoptera: Formicidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 83(3), 607-616.
- Hubbell, S. P., Wiemer, D. F., & Adejare, A. (1983). An antifungal terpenoid defends a neotropical tree (Hymenaea) against attack by fungus-growing ants (*Atta*). *Oecologia*, 60, 321-327.
- Justi Junior, J., Imenes, S. de L., Bergmann, E. C., Campos-Farinha, A. E. de C., & Zorzenon, F. J. (1996). Formigas-cortadeiras. *Boletín Técnico - Instituto Biológico São Paulo*, 4, 5-31.
- Lima, C. A., Della-Lúcia, T. M. C., & Anjos, N. S. (2001). Formigas cortadeiras: Biología e controle. *Universidade Federal de Viçosa: Boletim de extensão*, 44, 1-28.
- Link, D. (1997, octubre). *Hormigas cortadoras, hábitos y su control* [Contribución]. En XII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia. https://kipdf.com/i-hormigas-cortadoras-habitos-y-su-control_5b0355e98ead0e42038b4591.html
- Listre Barreto, A. L. (2018). *Forrajeo de cebos tóxicos por hormigas cortadoras de hojas del género Acromyrmex Mayr, 1865 (Hymenoptera, Formicidae)* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29779/1/ListreBarretoAndreaLaura.pdf>
- Martins, G. L. M. (2021). Manejo integrado de formigas cortadeiras e cupins em agroecossistemas. *Ciências Multidisciplinares*, 1(1), 13-26. https://www.researchgate.net/publication/352767224_Manejo_integrado_de_formigas_cortadeiras_e_cupins_em_agroecossistemas
- Mehdiabadi, N. J., & Schultz, T. R. (2010). Natural history and phylogeny of the fungus-farming ants (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae: Attini). *Myrmecological News*, 13, 37-55. https://www.antwiki.org/wiki/images/e/eb/Mehdiabadi_&_Schultz_2009.pdf
- Meyer, S. T., Roces, F., & Wirth, R. (2006). Selecting the drought stressed: Effects of plant stress on intraspecific and within-plant herbivory patterns of the leaf-cutting ant *Atta colombica*. *Functional Ecology*, 20, 973-981. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2435.2006.01178.x>

- Moll, K., Roces, F., & Federle, W. (2013). How load-carrying ants avoid falling over: Mechanical stability during foraging in *Atta vollenweideri* grass-cutting ants. *PloS one*, 8(1), Artículo e52816. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052816>
- Montoya-Lerma, J., Giraldo-Echeverri, C., Armbrrecht, I., Farji-Brenert, A., & Calle, Z. (2012). Leaf-cutting ants revisited: Towards rational management and control. *International Journal of Pest Management*, 58(3), 225-247. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09670874.2012.663946>.
- Moressi, M., Moraes Neto, A., Crepaldi, R. A., Carbonari, V., Demétrio, M. F., & Silvestre, R. (2007). Eficacia del control mecánico de las hormigas cortadoras de hojas (*Atta laevigata*) en la reforestación con especies autóctonas. *O Biológico*, 69(2), 471-473.
- Murray, S. L. (1972). *Foraging of the leaf-cutter ant, Acromyrmex versicolor Perg., in relation to season, temperature, relative humidity and rainfall* [Tesis de maestría, University of Arizona]. UA Campus Repository. https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/318232/AZU_TD_BOX67_E9791_1972_249.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nichols-Orians, C. M., & Schultz, J. C. (1990). Interactions among leaf toughness, chemistry, and harvesting by attine ants. *Ecological Entomology*, 15(3), 311-320. <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2311.1990.tb00813.x>
- Nickele, M. A., & Reis Filho, W. (2021). *Acromyrmex spp.* En P. G. Lemes & J. C. Zanoncio (Eds.), *Novo Manual de Pragas Florestais Brasileiras* (pp. 264-280). Universidade Federal de Minas Gerais. https://www.ipef.br/publicacoes/novo-manual-de-pragas-florestais-brasileiras/Novo_Manual_de_Pragas_Florestais_Brasileiras.pdf
- Nickele, M. A., Reis Filho, W., Oliveira, E. B. D., Iede, E. T., Caldato, N., & Strapasson, P. (2012). Leaf-cutting ant attack in initial pine plantations and growth of defoliated plants. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(7), 892-899. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000700003>
- Oliveira, M. A., Araújo, M. S., Marinho, C. G. S., Ribeiro, M. M. R. R., & Della Lucia, T. M. C. (2011). Manejo de formigas-cortadeiras. En T. M. C. Della-Lucia (Ed.), *Formigas Cortadeiras: Da bioecologia ao manejo* (pp. 400-419). Editora da UFV.
- Pérez, S. P., Corley, J. C., & Farji-Brenert, G. (2011). Potential impact of the leaf-cutting ant *Acromyrmex lobicornis* on conifer plantations in northern Patagonia, Argentina. *Agricultural and Forest Entomology*, 13, 191-196. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2010.00515.x>

- Pinto, L. M. N., Azambuja, A. O., Diehl, E., & Fiuza, L. M. (2003). Pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* isolated from two species of *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). *Brazilian Journal of Biology*, 63, 301-306. <https://www.scielo.br/j/bjb/a/N5sY3q4yKHmZ7x4bDWxmgtq/?lang=en#>
- Pretto, D. R. (1996). *Arquitetura dos túneis de forrageamento e do ninho de Atta sexdens rubropilosa Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae), dispersão de substrato e dinâmica do inseticida na colônia* [Tesis de maestría, Universidade Estadual Paulista]. Athena. <https://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/13-12-2018/000026837.pdf>
- Rabeling, C., Schultz, T. R., Bacci, M., Jr., & Bollazzi, M. (2015). *Acromyrmex charruanus*: A new inquiline social parasite species of leaf-cutting ants. *Insectes Sociaux*, 62(3), 335-349. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00040-015-0406-6>
- Reis Filho, W., Nিকেle, M. A., Pentead, S. R. C., & Martins, M. F. O. (2015). Recomendações para o controle químico de formigas cortadeiras em plantios de Pinus e Eucalyptus. *Comunicado Técnico*, 354, 1-7. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128965/1/CT-354-WilsonReis.pdf>
- Roces, F. (1990). Leaf-cutting ants cut fragment sizes in relation to the distance from the nest. *Animal Behaviour*, 40(6), 1181-1183. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80185-X](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80185-X)
- Roces, F., & Hölldobler, B. (1994). Leaf density and a trade-off between load-size selection and recruitment behavior in the ant *Atta cephalotes*. *Oecologia*, 97(1), 1-8. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00317902>
- Roces, F., & Núñez, J. A. (1993). Information about food quality influences load-size selection in recruited leaf-cutting ants. *Animal Behaviour*, 45(1), 135-143. <https://doi.org/10.1006/anbe.1993.1012>
- Röschard, J. (2002). *Cutter, carriers and bucket brigades* [Disertación doctoral, Universität Würzburg]. Deutsche Nationalbibliothek. <https://d-nb.info/966017153/34>
- Rudolph, S. G., & Loudon, C. (1986). Load size selection by foraging leaf-cutter ants (*Atta cephalotes*). *Ecological Entomology*, 11(4), 401-410. <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2311.1986.tb00319.x>
- Sabattini, J. A., Zanuncio, J. C. & Lemes, P. G. (2022). Chemical control of *Acromyrmex lundii* (Hymenoptera: Formicidae) in anthropic ecosystems. *Pest Management Science*, 78(7), 3155-3163. <https://doi.org/10.1002/ps.6944>

- Souza-Silva, A., Zanetti, R., Carvalho, G. A., Santos, A., & Mattos, J. O. S. (2005). Preferência de formigas cortadeiras por mudas de eucalipto pulverizadas ou imersas em soluções de extrato pirolenhoso em diferentes concentrações. *Scientia Forestalis*, 67, 9-13. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr67/cap01.pdf>
- Vilela, E. F. (1994). Feromônios no controle de formigas cortadeiras. En J. A. Françóia & V. J. Moretti de Oliveira (Eds.), *Anais do III Curso de Atualização no Controle de Formigas Cortadeiras* (pp. 11-13). IPEF. https://www.ipef.br/publicacoes/anais/anais_curso_formigas_cortadeiras.pdf
- Weber, N. A. (1966). Fungus-growing ants: A symbiotic relationship exists between an insect and a plant, involving an effective culturing technique. *Science*, 153(3736), 587-604. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.153.3736.587>
- Weber, N. A. (1972). *Gardening ants: The Attines*. The American Philosophical Society.
- Wetterer, J. K. (1991). Allometry and the geometry of leaf-cutting in *Atta cephalotes*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 29(5), 347-351. <https://doi.org/bg6q8f>
- Zanetti, R., Zanuncio, J. C., Santos, J. C., Da Silva, W. L. P., Ribeiro, G. T. & Lemes, P. G. (2014). An overview of integrated management of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian forest plantations. *Forests*, 5(3), 439-454. <https://www.mdpi.com/1999-4907/5/3/439>
- Zerbino, M. S. (2002). Las hormigas cortadoras. *Revista Plan Agropecuario*, (103), 46-49.

7. ANEXOS

Anexo A

Protocolo para trabajo de campo

MATERIALES:

Pinzas

Tubos con tapa, numerados consecutivamente.

Gradilla

Tubos con cebos

Cronómetro

Planillas de registro

Cinta métrica

1. Seleccionar pellets de cebo de distintos tamaños, aproximadamente 30-40 unidades.
2. Buscar un camino de forrajeo e identificar un flujo continuo de obreras forrajeando. Tratar de seleccionar un tramo del mismo el cual no esté interrumpido por vegetación u otros agentes externos a la colonia que interfieran en el lineal trayecto del flujo.
3. Sin hacerles sombra ni alterar el flujo, colocar junto al camino el cebo seleccionado anteriormente. Tener la precaución de que donde se coloque el cebo esté libre de vegetación y accesible desde el camino.
4. Dejar unos minutos a que se recomponga el tránsito de forrajeo.
5. Cronometrar el tiempo que insume la obrera en levantar el cebo. No se debe contar el tiempo que tarda en el reconocimiento y selección del cebo. Detener el cronómetro cuando la obrera comience a avanzar por el camino de forrajeo. Registrar el tiempo en planilla.
6. Colocar la cinta métrica al costado del camino y tomar el tiempo cuando haya recorrido 40 cm. Registrar el tiempo en planilla.
7. Levantar con pinza y colocar en el tubo a la hormiga que levantó el cebo y al pellet transportado.
8. Mantener la gradilla en la sombra para evitar la muerte de las muestras por calentamiento excesivo.
9. Una vez tomadas 25 muestras, repetir el procedimiento con la otra marca comercial de cebo tóxico.

Anexo B*Protocolo de laboratorio***MATERIALES:**

Balanza de precisión

Calibre

Morsa

Pinzas

Lupa

Tubos con tapa

Gradilla

Planillas de registro

1. Ajustar los materiales en la mesa para fácil acceso y orden del trabajo.
2. Tarar la balanza con un tubo vacío y tapado identificado como “pesar”.
3. Tomar la muestra en orden consecutivo, extraer el pellet de cebo con pinzas y medir su longitud en el calibre. Registrar el valor en planilla. Devolverlo al tubo de la muestra.
4. Extraer la obrera con pinzas y medir su apertura mandibular en el calibre previamente tarado. Registrar el valor en planilla.
5. Medir el ancho de la cabeza desde la parte más ancha. Registrar el valor en planilla.
6. Colocar a la hormiga en el tubo identificado como “pesar” y realizar la medición en la balanza. Registrar el valor en planilla.
7. Devolver la obrera al tubo original junto con el cebo levantado por la misma. Tapar y reservar en gradilla aparte para no confundir muestras.
8. Una vez terminada la toma de medidas, colocar la gradilla con muestras en heladera para posibles mediciones posteriores.