

# Informe final publicable de proyecto

## Sistema autonomo de monitoreo de plagas forestales: determinación de la actividad de las hormigas cortadoras de hojas del genero *Acromyrmex*

Código de proyecto ANII: FMV\_1\_2019\_1\_156057

14/02/2023

**BOLLAZZI SOSA, Leonardo Martín** (Responsable Técnico - Científico)

**KATZENSTEIN ALONSO, Guillermo** (Investigador)

**PECHI MIDÓN, Evelin Idalicia** (Investigador)

---

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE AGRONOMÍA (Institución Proponente) \\  
FACULTAD DE AGRONOMÍA. FUNDACIÓN DR. EDUARDO ACEVEDO

## Resumen del proyecto

Las plantaciones forestales totalizan más de 1.200.000 hectáreas. Todas las especies forestales son atacadas por las hormigas cortadoras del género *Acromyrmex*, siendo la plaga agrícola más importante de la zona neotropical. Las hormigas cortadoras también pueden causar perjuicios en la fase de comercialización por pérdida de la certificación FSC (FSC 2019). Así, las hormigas cortadoras son la plaga forestal de mayor importancia para los procesos de certificación forestal, ya que hay que reducir el uso del cebo para mantener la certificación FSC. Así, un aumento de la eficacia del control, necesario para evitar las pérdidas de árboles al momento de la plantación, pero reduciendo la cantidad de cebo aplicado por hectárea en cada turno plantación-cosecha, se lograría determinando las épocas del ciclo anual en la cual la mayoría de las colonias forrajean y aplicando en esos meses. En este proyecto se pretendió determinar si el nivel de actividad de forrajeo en hormigas cortadoras, en un periodo predictor se correlaciona con el período objetivo que ocurre a continuación.

## Ciencias Agrícolas / Agricultura, Silvicultura y Pesca / Silvicultura / Protección Forestal

**Palabras clave:** *Acromyrmex* / plaga / forestal /

### Introducción

Durante el forrajeo, las obreras de las hormigas cortadoras del género *Atta* y *Acromyrmex* cortan vegetales para cultivar un hongo simbiote del que se alimenta toda la colonia (Weber 1972). Por lo tanto, las hormigas cortadoras causan serios perjuicios al sector agrícola y forestal, y son consideradas la plaga agrícola más importante de la zona neotropical (Cherrett 1986). Las pérdidas para cualquier tipo de cultivo recién implantado pueden ascender hasta el 100% (Fowler et al. 1990). Como todos los organismos, los insectos muestran patrones diarios de actividad (ritmos circadianos) regulados por los factores endógenos controlados por marcadores moleculares internos, pero sincronizados por cambios en las condiciones ambientales, como la temperatura y el fotoperiodo (Saunders 2002). Estos cambios actuarían como moduladores de los patrones diarios de actividad regulando el inicio, la terminación y su intensidad, y son conocidos como marcadores de actividad o "Zeitgebers". Estos ritmos circadianos se conocen tanto para los insectos solitarios como los insectos sociales (Bloch et al. 2013). Durante el forrajeo, los insectos sociales abandonan el nido coordinadamente para coleccionar y transportar alimento hacia el nido. Ya que su disponibilidad fluctúa de acuerdo a la variación de las condiciones ambientales diarias, y los rangos de actividad están limitados por factores climáticos, los insectos sociales muestran patrones de forrajeo regulados por factores endógenos individuales y exógenos de tipo climáticos, para así maximizar la eficiencia del forrajeo (Robinson et al. 2012). Así, una de las principales adaptaciones al forrajeo que presentan los insectos sociales, es la existencia de ciclos diarios de actividad, lo que les permite sincronizar los momentos del día que ofrecen los mejores rangos de actividad, y no forrajear indiscriminadamente durante todo el día (Roces and Bollazzi 2009; Tschinkel 2006). Estos ciclos diarios se han observado ampliamente para insectos sociales que forrajean néctar, como las abejas y las hormigas predadoras/nectarívoras, ya que la producción de néctar y la actividad de las presas varían circadianamente. Sin embargo, en el caso de las hormigas cortadoras, y al ser herbívoros extremadamente polífagos en el que su fuente de alimento esta presente todo el día (Roces and Bollazzi 2009), no se esperaría una influencia de la fluctuación diaria de la disponibilidad del alimento. No obstante es conocido que las hormigas cortadoras muestran variaciones en los niveles diarios de actividad durante el forrajeo, los cuales se han correlacionado con variaciones en la temperatura y humedad (Lopes et al. 2016). Al día de hoy se desconoce el efecto del ciclo diario de luz y su variación anual, el fotoperiodo, en la regulación de los ritmos de actividad relacionados al forrajeo en las hormigas cortadoras.

En un plan de manejo de hormigas cortadoras, el componente crucial no viene dado por determinar sus variaciones diarias de forrajeo, sino de comprender la variación anual en los niveles de actividad (ritmo circanual), para poder predecirlos y aplicar el control en los momentos del año que exhiben mayor actividad. Las hormigas cortadoras se controlan mediante la aplicación de cebos tóxicos, el cual se distribuye en el área donde forrajean, y las obreras deben de acarrearlo al interior del hormiguero, donde la intoxicación ocurre cuando el cebo es procesado para cultivar el hongo. De esta forma, la mayor probabilidad de que una aplicación de cebo sea exitosa en el control es en los momentos del año en los cuales las colonias de *Acromyrmex* muestran sus mayores niveles de forrajeo. Una diferencia respecto a la regulación del ciclo anual de actividad cuando se compara los insectos solitarios con los insectos sociales plaga, es el efecto sobre la incidencia de la duración del daño. La inducción del ciclo anual en insectos solitarios implica que el estado de desarrollo

que causa el daño este presente solo unas semanas/meses, al inducirse fines de ciclos biológicos, cambios de estado de desarrollo o entradas en diapausa, mientras que en los insectos sociales no se induciría la presencia/ ausencia del estado de desarrollo que provoca el daño. Esto se debe a que la obreras estériles están presentes todo el año. Sin embargo es de esperar que exista un ciclo anual expresado en los niveles de actividad como el forrajeo (Mildner and Roces 2017; Roces and Núñez 1995). En insectos sociales se han estudiado exhaustivamente los ritmos diarios circadianos de actividad de las obreras (Bloch et al. 2013; Bollazzi and Roces 2011; Mildner and Roces 2017; Saunders 2002), pero, la descripción de la variación de los ritmos anuales de actividad, así como los factores que están implicados en su regulación, permaneció sin ser investigada hasta tiempos recientes. Desde fines de 2016 nuestro grupo de investigación en colaboración con la Universidad de Würzburg (Alemania) y la Universidad Nacional de Entre Ríos (Argentina) comenzó un estudio de largo plazo para determinar cuáles son los factores reguladores de los ciclos anuales de actividad en insectos sociales utilizando a las hormigas cortadoras como modelo de estudio.

### **Metodología/diseño del estudio**

La estrategia inicial de este proyecto fue determinar en hormigas cortadoras si el nivel de actividad en un periodo predictor (estimado de 7 días: d-7 a d-1) se correlacionaría con el período objetivo siguiente (estimado de 7 días: d+1 a d+7), aun bajo condiciones cambiantes de ciclo térmico.

En términos absolutos no se puede hablar de que un descenso o ascenso de T°C pueda ser considerado perjudicial o beneficioso, sino que todo cambio de que tienda a la T°C preferida para el cultivo del hongo simbiote, mantenimiento de la cría, y actividad de forrajeo, ca. 23 °C, es considerado benévolo y afectaría positivamente la tasa de forrajeo (Bollazzi et al. 2008; Bollazzi and Roces 2002; Bollazzi and Roces 2010; Bollazzi and Roces 2011). O sea, un corrimiento de la temperatura media del ciclo térmico diario entre el periodo predictor y el período objetivo hacia 23 °C es beneficioso y un alejamiento de 23°C debe de ser considerado perjudicial. Así, la comparación de los niveles de actividad periodo predictor/objetivo, tiene lugar en función de cuanto se aleja o acerca el cambio de temperatura del ciclo térmico diario respecto a 23°C al pasar del periodo predictor al objetivo.

En definitiva, si la estabilidad del ciclo de luz entre el periodo predictor y el período objetivo gobierna el nivel de actividad, el nivel de actividad del período predictor se debería de mantener en el periodo objetivo aunque ocurra un empeoramiento de los rangos de temperatura del ciclo térmico para el forrajeo, siempre y cuando este empeoramiento no implique acercarse a los límites de actividad (Bollazzi et al. 2008, Bollazzi and Roces 2010, Bollazzi and Roces 2011).

Para determinar el rol del ciclo diario de luz, y el fotoperiodo, sobre los ciclos diarios y circanuales de actividad, así como su interacción con la temperatura, se instalaron dos zonas de monitoreo de actividad continua. Una esta localizada en el sur del Uruguay, y otra en la provincia de Entre Ríos (Argentina), ambas con la especie *Acromyrmex lundi*. Se escogieron estos dos sitios por poseer la misma especie de *Acromyrmex*, pero presentar marcadas diferencias en temperatura, con prácticamente el mismo ciclo diario de luz y fotoperiodo.

En estos sitios se realizaron conteos de actividad con equipos autónomos de monitoreo (AntRecorder) de forma continua en todo el año. Las grabaciones de video se analizaron con un software (AntCounter) el cual realiza los conteos de obreras entrantes al nido, obreras salientes con o sin carga, la velocidad a la que caminan, así como su tamaño. La determinación del tamaño del fragmento cortado por las obreras esta en fase de validación. Este registro permite obtener curvas de actividad diarias a intervalos de tiempo definidos, en función del tiempo y de parámetros climatológicos (T°C, RH, lluvia) y astronómicos (duración del ciclo día noche y su variación en el fotoperiodo anual).

Sin embargo, los patrones de forrajeo en colonias de hormigas cortadoras es de esperar estén correlacionados con el apetito a nivel colonia, el cual esta dado por la presencia de larvas en la honguera. El hongo es la única fuente de proteínas que la colonia posee para la alimentación de los estados inmaduros, por lo tanto, la presencia de larvas aumentaría el consumo de hongo y la necesidad de forrajear para cultivarlo. En definitiva, la presencia del hongo actuaría como regulador de la actividad de forrajeo circannual. Al día de hoy, no se conoce cual es el ciclo de postura de las reinas de hormigas cortadoras. Para ello se monitoreo la actividad de forrajeo poblaciones de *A. crassispinus* y se la correlacionó con e ciclo anual de postura de la reina (expresada en presencia de larvas y pupas). Se escogió *A. crassispinus* debido a que posee un nido epigeo, lo que permite acceder a la honguera y realizar inspecciones quincenales en busca de larvas sin poner en riesgo la sobrevivencia de la colonia, lo que permite trabajar todo el año sobre los mismos individuos.

### **Resultados, análisis y discusión**

Como se dijo anteriormente, la actividad de forrajeo de las hormigas cortadoras tiene dos componentes, el circadiano y el circannual. El primero, comprende las variaciones diarias en la actividad de forrajeo, clasificando la actividad si es predominantemente diurna o nocturna y determinando cuales son los factores ambientales que subyacen a la regulación

de dicho patrón. El componente circanual, el cual es escasamente estudiado en organismos, se lo relaciona usualmente con los ciclos reproductivos. En el caso de este proyecto, se pretendió ir mas allá del componente reproductivo y estudiar tanto el correlato entre estacionalidad y niveles de actividad, así como el mecanismo subyacente que regula la actividad locomotora que se expresa en el forrajeo.

El desglose de resultados obtenidos, confirma ciertos correlatos ya publicados en la literatura, pero como componente innovador, establece por primera vez cuales son los mecanismos que potencialmente regulan los patrones observados.

- El componente circadiano de los ritmos de actividad en *Acromyrmex*

En general, se comprobó que la regulación del ritmo circadiano se encuentra bajo el influjo de ciclo diario de luz. Y además, que solo el ciclo diario de luz es condición suficiente para el entrenamiento del ritmo circadiano

Cuando se analiza el efecto del ciclo térmico diario, se comprueba que este no tiene un efecto regulador independiente del ciclo de luz. En otras palabras, se comprueba que el factor regulador preponderante es el ciclo diario de luz. Sin embargo, se confirma que el ciclo térmico si tiene un efecto aditivo. O sea que si la fase de luz del ciclo diario coincide con la fase del ciclo térmico en el cual las temperaturas caen dentro del rango de actividad, y la fase oscura coincide con la fase del ciclo térmico en la cual las temperaturas caen en el rango de inactividad, la actividad diaria se potencia. A su vez, cuando se da la inversión de fases entre el ciclo diario de luz y el ciclo térmico, coincidiendo la fase luz con la temperatura de inactividad y la fase oscura con la temperatura de actividad, se da un descenso en el nivel de actividad en la fase de luz, pero no inactividad.

Lo descrito indica que el ritmo diario de actividad esta regulado por el ciclo diario de luz, y el ciclo térmico diario tiene un efecto aditivo. Es la primera vez que se determina en condiciones de laboratorio y campo la interacción que hay entre estos dos factores en la regulación del ritmo circadiano en insectos.

- El componente circanual de los ritmos de actividad en *Acromyrmex*

Al considerar el efecto de la estacionalidad en los ritmos de actividad, o sea el componente circanual, se comprobó que el fotoperíodo, o sea la variación anual en el ciclo diario de luz, regula la actividad estacional, y que el ciclo térmico diario también tiene un efecto aditivo. Cabe mencionar, que los efectos vistos en el ritmo circadiano se manutienen como descritos anteriormente, pero la diferencia a tener en cuenta es interestacional

En este sentido se constato que la mas destacado es el descubrimiento del efecto supresor de la actividad provocado por el fotoperíodo durante el verano, y la disparidad que existe entre el ciclo circanual de postura de la reina, y este efecto del fotoperíodo.

Al analizar el nivel de actividad se observo que el elongamiento de la fase de luz al cambiar el fotoperíodo desde la primavera al verano se constata una reducción generalizada de los niveles de actividad, la cual es muy significativa al compararla con el otoño, la primavera y el invierno.

Al comparar este resultado, el efecto supresor de la actividad inducida por el fotoperíodo durante el verano, y compararlo con el componente de ovisposicion del ritmo circanual, se constata una marcada contraposición entre los ciclos de postura de la reina con destino a la producción de obreras y el nivel anual de actividad. Mientras que la pausa de postura de la reina ocurre entre mayo y julio, el nivel de actividad alcanza su minimo en verano gatillado por el fotoperíodo. En pocas palabras, el nivel de actividad de forrajeo decae cuando en la colonia existe la mayor población de larvas que requieren alimento.

Es la primera vez que se constata en insectos sociales el efecto regulador del fotoperíodo sobre el ritmo circanual de actividad, no existen antecedentes publicados al respecto. Mas interesante aun es la constatación del desacople entre el ritmo circanual de incremento poblacional (expresado en el ciclo de la postura) y los ritmos circanales de actividad expresado por las obreras. Este resultado enfatiza aun mas el efecto del fotoperíodo en la regulación de la actividad anual, algo que tradicionalmente se analizaba considerando la temperatura y la humedad como variables explicativas (las cuales siempre se mostraron insuficientes para dar cuenta de los correlatos observados a campo).

- El valor predictor de la temperatura para los niveles de actividad diarios en *Acromyrmex*

Teniendo en cuenta que el fotoperíodo se posicionó como el regulador por excelencia en la expresión del ritmo circadiano y circanual por sobre el ciclo térmico y el ciclo postural de la reina, es de esperar que el valor predictivo de la temperatura sea escaso.

El procesamiento de análisis, aunque aun parcial en el año, permite afirmar que la temperatura no es un indicador cualitativo ni cuantitativo, no solo del nivel de actividad en los días siguientes, sino que no lo es para el día en el cual se realiza la medición.

En una ejemplificación de caso, y para un día dado, el forrajeo ocurre en la fase oscura del ciclo diario de luz, a pesar de que las temperaturas adecuadas para el forrajeo (ca 23-24°C) se da en la fase opuesta diurna. Esto se repite en días sucesivos, sin cambios. En este caso, la expresión del factor regulador del ciclo diario de luz y el fotoperíodo descritas anteriormente es determinante: el forrajeo en una fase determinada del ciclo diario de luz se mantiene, a pesar de que las

temperaturas no se encuentren en el rango de actividad mas adecuado en la cual ocurre el forrajeo, sino en la opuesta. Esto se entiende como lógico en el escenario en el cual el fotoperiodo es determinante, pero el ciclo térmico es de efecto aditivo (ver arriba).

Cuando se finalice la colecta y análisis de datos anuales con un nivel de repeticiones adecuada, se determinara cual es la duración en días/semanas del sentido de la respuesta al fotoperiodo (ya sea forrajear en la fase oscura o forrajear en la fase diurna independientemente de la temperatura).

- El desarrollo de equipos en el marco del proyecto.

Otro componente importante del proyecto, fue la puesta a punto del primer sistema autónomo de monitoreo de actividad que permitiría estudiar los ritmos circadianos y circanuales de actividad a campo. El AntREcorder. No existe a nivel internacional antecedentes de desarrollo de un equipamiento similar. Es la primera vez que se podrán estudiar en el largo plazo ritmos circadiano y circanuales en insectos sociales en condiciones de campo. En resumen, se determino que i) es posible monitorear a campo la actividad de *Acromyrmex* con un sistema autónomo de registro, y ii) es posible desarrollar un software de análisis de video para realizar el conteo de actividad de forma automatizada. Este era uno de los riesgos potenciales del proyecto, al ser una metodología nueva con equipos que no existían en el mercado y programación de software de análisis basado en tracking individual de obreras.

### **Conclusiones y recomendaciones**

En función de los resultados obtenidos, se puede concluir que:

1.- la regulación del ritmo circadiano se encuentra bajo el influjo de ciclo diario de luz. Y además, que solo el ciclo diario de luz es condición suficiente para el entrenamiento del ritmo circadiano, teniendo el ciclo térmico diario un efecto aditivo pero no suficiente.

2.- la regulación del ritmo circanual se encuentra bajo la regulación del fotoperíodo, existiendo un efecto supresor de la actividad provocado por el fotoperiodo durante el verano, y además, se constato la existencia de una disparidad entre el ciclo circanual de postura de la reina, y este efecto del fotoperíodo.

3.- la temperatura diaria no es un indicador cualitativo ni cuantitativo, no solo del nivel de actividad en los días siguientes, sino que no lo es para el día en el cual se realiza la medición.

4.- se logro poner a punto el primer sistema autónomo de monitoreo de actividad que permitiría estudiar los ritmos circadianos y circanuales de actividad a campo.

Estas conclusiones permiten delinear una serie de recomendaciones para el control de hormigas cortadoras en plantaciones forestales, las cuales de hecho, pueden ser extrapoladas otros sistemas productivos en los cuales las hormigas del género *Acromyrmex* sean consideradas plaga de relevancia

En un plan de manejo de hormigas cortadoras, el componente crucial no viene dado por determinar sus variaciones diarias de forrajeo (a priori el cebo hormiguicida logra mantener un nivel de atractividad razonable por 24 hs), sino de comprender la variación anual en los niveles de actividad (ritmo circanual), para poder predecirlos y aplicar el control en las semanas adecuadas.

El presente trabajo deja en claro que el monitoreo de actividad correlacionado con la temperatura diaria no sería necesario para predecir en base a valores numéricos de actividad en una ventana predictora, los niveles de actividad en los días subsiguientes. No se debe confundir que no se pueda realizar, ya que se observara un correlato entre el forrajeo en d-7 a d-1 con el observado en d+1 a d+7 en función de la temperatura. Esteo se debe a que entre días, las obreras forrajearan a la misma temperatura. Pero esto NO será debido a que la temperatura se encuentre dentro de un rango ideal de temperatura, sino al efecto del fotoperíodo. O sea, si el fotoperiodo regula que se forrajea en una fase determinada del ciclo diario, subsecuentemente la colonia lo hará en esa fase independientemente de que en ella se den o no temperaturas optimas para el forrajeo, y por lo tanto se observara un correlato entre la temperatura y la actividad (el promedio diario se conserva dentro de la fase y por lo tanto se correlacionara la actividad a una temperatura dada entre días). En resumen, es de esperar que una colonia de *Acromyrmex* repita el nivel de actividad y la fase del ciclo de luz en la que forrajea independientemente de la temperatura.

O sea, que el monitoreo de poblaciones de hormigas cortadoras para establecer un sistema de aviso sería implementable,

pero sin la necesidad de correlacionar la temperatura con un factor de probabilidad de que forrajeen. Esto se debe a que el fotoperiodo regula el nivel de actividad independientemente de la temperatura. Además, este trabajo, establece claramente cuáles son las tendencias estacionales en el nivel de actividad, destacándose que el verano sería una época muy poco adecuada para realizar el control (por el descenso de actividad inducido por el fotoperíodo), tanto como el invierno (debido a la pausa en la oviposición de la reina). De esa forma, las épocas adecuadas para el control se confirman en el otoño y la primavera. Estas épocas coinciden con las plantaciones forestales de primavera y otoño, momento en el cual se debe controlar a la hormigas cortadoras.

## Referencias bibliográficas

- Bloch G, Herzog ED, Levine JD, Schwartz WJ (2013) Socially synchronized circadian oscillators. *Proc. Biol. Sci.* 280. doi: 10.1098/rspb.2013.0035
- Bollazzi M (2012) Manejo de *Acromyrmex* en plantaciones forestales en el sur de Sudamérica XXIV Congreso Brasileiro de Entomología, Curitiba, Brasil.
- Bollazzi M, Forti LC, Roces F (2012) Ventilation of the giant nests of *Atta* leaf-cutting ants: does underground circulating air enter the fungus chambers? *Insectes Soc* 59:487-498
- Bollazzi M, Kronenbitter J, Roces F (2008) Soil temperature, digging behaviour, and the adaptive value of nest depth in South American species of *Acromyrmex* leaf-cutting ants. *Oecologia* 158:165-175
- Bollazzi M, Moreira S, Forti LC, Roces F (2014) Efficiency and soil contamination during underground application of insecticides: control of leaf-cutting ants with thermal foggers. *Journal of Pest Science* 87:181-189. doi: DOI: 10.1007/s10340-013-0525-7
- Bollazzi M, Roces F (2002) Thermal preference for fungus culturing and brood location by workers of the thatching grass-cutting ant *Acromyrmex heyeri*. *Insectes Soc.* 49:153-157
- Bollazzi M, Roces F (2010) The thermoregulatory function of thatched nests in the South American grass-cutting ant *Acromyrmex heyeri*. *J. Ins. Sci.* 10:1-17
- Bollazzi M, Roces F (2011) Information Needs at the Beginning of Foraging: Grass-Cutting Ants Trade Off Load Size for a Faster Return to the Nest. *Plos ONE* 6:e17667
- Cherrett JM (1986) History of the leaf-cutting ant problem. In: Lofgren CS, Vander Meer RK (eds) *Fire Ants and Leaf-Cutting Ants - Biology and Management*. Westview Press, Boulder, pp 10-17
- De Britto JS et al. (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
- Della Lucia TM, Gandra LC, Guedes RN (2014) Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. *Pest management science* 70:14-23
- Forti LC, Boaretto MAC (1997) *Formigas Cortadeiras - Biología, Ecología, Danos e Controle*. UNESP, Botucatu, Brazil
- Fowler HG, Bernardi JVE, Delabie JC, Forti LC, Pereira-da-Silva V (1990) Major ant problems of South America. In: Vander Meer RK, Jaffé K (eds) *Applied Myrmecology - A World Perspective*. Westview Press, Boulder, pp 3-14
- FSC (2019) FSC Pesticides Policy FSC-POL-30-001 V3-0 ENG
- Lewis T, Pollard GV, Dibley GC (1974) Micro-environmental factors affecting diel patterns of foraging in the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (L.) (Formicidae: Attini). *J. Anim. Ecol.* 43:143-153
- Lopes JF, Brugger MS, Menezes RB, Camargo RS, Forti LC, Fourcassié V (2016) Spatio-temporal dynamics of foraging networks in the grass-cutting ant *Atta bisphaerica* Forel, 1908 (Formicidae, Attini). *Plos one* 11:e0146613
- Mildner S, Roces F (2017) Plasticity of Daily Behavioral Rhythms in Foragers and Nurses of the Ant *Camponotus rufipes*: Influence of Social Context and Feeding Times. *PlosONE* 12:e0169244. doi:0169210.0161371/journal.pone.0169244
- Montoya-Lerma J, Giraldo-Eceverri C, Armbrrecht I, Farji-Brener AG, Calle Z (2012) Leaf-cutting ants revisited: towards rational management and control. *Int J Pest Manage* 58:225-247
- Perez P, Corley J, Farji-Brener AG (2011) Potential impact of the leaf-cutting ant *Acromyrmex lobicornis* on conifer plantations in northern Patagonia, Argentina. *Agric For Entomol* 13:191-196
- Pilati A, Quirán EM, Estelrich HD (1997) Actividad forrajera de *Acromyrmex lobicornis* Emery (Hymenoptera: Formicidae) en un pastizal natural semiárido de la provincia de La Pampa (Argentina). *Ecol. Austral* 7:49-56
- Robinson EJM, Feinerman O, Franks NR (2012) Experience, corpulence and decision making in ant foraging. *The Journal of Experimental Biology* 215:2653-2659. doi: 10.1242/jeb.071076
- Roces F, Bollazzi M (2009) Information transfer and the organization of foraging in grass- and leaf-cutting ants. In: Jarau S, Hrnčíř M (eds) *Food exploitation by social insects, ecological behavioral and theoretical approaches*. CRC Press, pp 251-264
- Roces F, Núñez JA (1995) Thermal sensitivity during brood care in workers of two *Camponotus* ant species: circadian variation and its ecological correlates. *J. Insect Physiol.* 41:659-669
- Rockwood LL (1976) Plant selection and foraging patterns in two species of leaf-cutting ants (*Atta*). *Ecology* 57:48-61
- Römer D, Bollazzi M, Roces F (2017) Carbon dioxide sensing in an obligate insect-fungus symbiosis: CO<sub>2</sub> preferences of leaf-cutting ants to rear their mutualistic fungus. *PLoSOne* 12:e0174597. doi: 10.1371/journal.pone.0174597
- Römer D, Bollazzi M, Roces F (2019) Leaf-cutting ants use relative humidity and temperature but not CO<sub>2</sub> levels as cues for

the selection of an underground dumpsite. *Ecol. Entomol.* 44:502–511. doi: 10.1111/een.12727

Saunders DS (2002) *Insect Clocks*, Third Edition. Elsevier Science

Tschinkel WR (2006) *The fire ants*. Harvard University Press

Weber NA (1972) *Gardening Ants - The Attines*. The American Philosophical Society, Philadelphia

### **Licenciamiento**

Reconocimiento 4.0 Internacional. (CC BY)