

Estudio ecológico de los ritmos de forrajero de hormigas cortadoras en ambientes naturales y antrópicos de la mesopotamia argentina

Julián Sabattini¹; Juan I. Cerrudo¹; Albano Peñalva¹, Rafael A. Sabattini¹, Mariana B. Toffoli¹; Martín Bollazzi²

Autoras/es: ¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta Pcial. N° 11 Km 10,5 Oro Verde - Entre Ríos (3100), Argentina. ²Entomología, Facultad de Ciencias - Universidad de la República, Uruguay
Contacto: julian.sabattini@uner.edu.ar

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/3wssf53ka>

RESUMEN

Las hormigas cortadoras de hojas son insectos plagas en toda la región neotropical. Los sectores productivos adoptan sistemas de monitoreo para aumentar la eficiencia, disminuir los costos de control, y reducir el impacto ambiental de las sucesivas aplicaciones de insecticidas. Sin embargo, aún se desconoce cuál es el momento óptimo de control como consecuencia de una actividad forrajera heterogénea durante el año, aun poco conocida. Por ello, el objetivo general del proyecto consistió en evaluar los ritmos de forrajero que realizan las hormigas cortadoras de hojas sobre las especies vegetales presentes en ambientes naturales y antrópicos de la Mesopotamia Argentina. Se evaluó y determinaron los cambios en la comunidad de las hormigas cortadoras en diferentes ambientes de la región. Además, se estableció, y validó a campo una metodología para registrar y guardar la actividad locomotora de las hormigas en forma continua, elaborando, posteriormente, los algoritmos que permitieron caracterizar cualitativamente y cuantitativamente la actividad forrajera de hormigas cortadoras a través del procesamiento de imágenes. Los resultados fueron prometedores, y en este sentido, a futuro, se podría determinar cuál es el impacto productivo que provocan en diferentes agroecosistemas y ajustar la estrategia de control.

PALABRAS CLAVE: Comportamiento, etología, sistemas embebidos, OpenCV

OBJETIVOS PROPUESTOS Y CUMPLIDOS

El objetivo general del proyecto consistió en evaluar los ritmos de forrajero de las hormigas cortadoras en ambientes naturales y antrópicos de la Mesopotamia Argentina. Para ello se evaluó parcialmente los cambios en la comunidad de las hormigas cortadoras en diferentes ambientes de la región: naturales y antrópicos. Una vez realizado, se diseñó una metodología para registrar y guardar los ritmos de la actividad locomotora y forrajera de las hormigas en forma continua, utilizando herramientas tecnológicas de bajo costo. Una vez guardado se buscó elaborar y validar algoritmos que permitan caracterizar cualitativamente y cuantitativamente la actividad forrajera de hormigas cortadoras a través del procesamiento de imágenes.

Uno de los objetivos particulares fue asociar esos ritmos de forrajeo de las hormigas cortadoras de hojas con variables meteorológicas. Todos estos parámetros fueron analizados en marco de una red de monitoreo, evaluando los ritmos de forrajeo anual en diferentes agroecosistemas. Conocer los ritmos de forrajeo estacionales de las hormigas cortadoras de hojas en ambientes naturales y agroecosistemas, permitirá desarrollar tecnologías y herramientas para el manejo de las colonias teniendo en cuenta los principios básicos de la sustentabilidad ecológico-ambiental. Desde el conocimiento, los estudios inherentes a hormigas cortadoras en la provincia de Entre Ríos darán continuidad y desarrollo a estudios bioecológicos ligados a sistemas nativos productivos forestales. Desde el punto de vista socioeconómico busca aumentar la productividad de los agroecosistemas (forestales, cultivos, pastizales naturales) que presentan un alto grado de invasión de nidos de HCH.

Fue necesario reajustar el proyecto en relación a los sitios para instalar los AntVRecords dado que el presupuesto planteado inicialmente ha quedado completamente desactualizado por cuestiones económicas ajenas al proyecto. Durante los meses de noviembre 2022 a abril 2023 los muestreos de campo fueron interrumpidos debido a las condiciones climáticas desfavorables de altísimas temperaturas con ausencia de precipitaciones. Esto afectó severamente al funcionamiento de las colonias de hormigas porque los individuos modificaron completamente su actividad normal de locomoción. Sumado a ello, los equipos fueron dañados en el sistema de almacenaje y procesamiento, lo cual implicó su reparación. Posteriormente, los equipos remanentes, se volvieron a instalar en mayo 2023. No fue posible armar la totalidad de estos porque la brecha inflacionaria impidió el armado de otros equipos limitando el estudio en los nidos que están en la FCA-UNER.

MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍAS

La importancia y el rol de los insectos sociales a nivel mundial son relevantes en los diversos ecosistemas (Lévieux 1982, Raignier y van Boven 1955, Higashi y Yamuachi 1979, Room 1971, Talbot 1975, van Pelt 1956). Estudios realizados en la selva amazónica indican que el 80% de su biomasa total está constituida por insectos sociales, y sólo hormigas y termitas representan el 30% de la biomasa animal del total (Fittkau y Klinge 1973), cuadruplicando la biomasa de los mamíferos, las aves, los reptiles y los anfibios. Las hormigas son los principales depredadores de otros insectos y pequeños invertebrados (Wilson 1971, Jeanne 1979, Lévieux 1982, Sörensen y Schmidt 1987). Sin embargo, las hormigas cortadoras de hojas (HCH) son conocidas por la actividad de cortar diversos fragmentos vegetales siendo plagas destructivas en la región neotropi-

cal (Mariconi 1970, Weber 1972, Cherrett y Peregrine 1976, Cherret 1982, Jaffé 1993), la capacidad de cultivar hongos logrando una relación de mutualismo muy fuerte (Hölldobler y Wilson 1990), y por cumplir un rol importante denominándolas 'ingenieras de los ecosistemas' dado que modifican la estructura y función de los mismos (Jones et al. 1994, Meyer et al. 2013, Leal et al. 2014). Este comportamiento como ingenieros de ecosistema ha provocado la colonización en un amplio rango de nichos de alimentación en diferentes tipos de suelo y vegetación (Fowler et al., 1986a, Fowler 1986b, Wirth et al. 2003, Meyer 2008, Corrêa et al. 2010, Hölldobler y Wilson 1990) estando presentes en casi todos los ambientes terrestres desde el ecuador hasta latitudes de 50° (Bolton 1994, Cuzzo 1998). Su alta diversidad local y amplia distribución reflejan su tendencia evolutiva a ocupar una gran variedad de hábitats, definiendo la estructura de las comunidades vegetales en numerosos ecosistemas (Rios-Casanova et al. 2004). En este sentido, la biología, ecología y etología de estos insectos se viene estudiando desde el siglo pasado a la fecha (Eidmann 1936, Stahel y Geijskes 1939, Gonçalves 1945, Autuori 1941, Weber 1966, 1969; Jonkman, 1977, Hölldobler y Wilson 1990) pero en la actualidad se encuentran grandes vacíos de información sobre estas especies (Wirth et al. 2003, Corrêa et al. 2010) que obstaculiza encontrar estrategias de manejo adecuados (Della-Lucia, 2003).

El forrajeo es la actividad principal que realizan las HCH para cultivar el hongo, utilizado posteriormente como alimento principal de las larvas (Webber, 1966). *Atta* y *Acromyrmex* obtienen su alimento desde distancias pequeñas hasta grandes debido al tamaño de las obreras y en consecuencia al tamaño del nido, cuanto más grande, mayor distancia abarcan (Leal y Olivera, 2000). Durante el proceso de forrajeo puede existir una división de tareas para maximizar la eficiencia y disminuir el desgaste de las hormigas. Debido a que el proceso de corte es más desgastante, es común que este sea llevado a cabo por las hormigas de mayor tamaño, siendo las de menor tamaño las encargadas de transportar el fragmento (Fowler y Robinson, 1979; Roces y Lighton, 1995; Röschard y Roces, 2003). En este sentido se requiere de una secuencia ordenada de pasos para realizar el corte del vegetal, comenzando por la identificación de la fuente de alimento, el corte del material y su posterior transporte al nido. Las HCH son consideradas herbívoros polípagos capaces de utilizar entre el 50% y el 80% de las especies de plantas disponibles provenientes de diversas comunidades vegetales (Wirth et al., 2003). Sin embargo, presentan una selectividad al corte muy marcada basada en características físicas y químicas de las plantas, mostrando una marcada preferencia por ciertas especies de plantas, o en plantas dentro de una especie, hasta incluso hojas dentro de una misma planta (Meyer et al., 2006). Posteriormente realizan el corte del material vegetal en pequeños fragmentos para luego ser transportado al nido, finalizando allí con la transferencia de información y el consecuente reclutamiento de obreras que continúan con la actividad. Existen numerosos factores bióticos y abióticos que pueden afectar el comportamiento forrajero. Dentro de los bióticos se pueden observar la abundancia de obreras y el tamaño de la colonia (Hölldobler y Wilson, 1990), así como el estado reproductivo y los requerimientos nutricionales (Lewis et al., 1974a). En tanto los abióticos se relacionan fundamentalmente con la temperatura del aire y suelo (Pilati y Quirán, 1996; Claver, 2000), acompañada por la humedad relativa del ambiente, la intensidad de la luz y la presión atmosférica (Lewis et al., 1974b), entre otros.

En los ecosistemas forestales nativos e implantados, se conoce con detalle la diversidad de especies arbóreas y del resto de los componentes que conforman la comunidad vegetal, pero todavía queda mucho por descubrir sobre las especies animales y microbianas, sus identidades, variación genética, interacciones y usos para el hombre. Frecuentemente se concentra la atención sobre especies visualmente atractivas frente a las menos visibles, y sin embargo pueden ser potencialmente importantes en el conjunto del ecosistema dado que se expresan más rápidamente frente a un cambio ambiental. En este sentido, las poblaciones de HCH se encuentran favorecidas en las situaciones de disturbio, como es el caso de la deforestación y fragmentación de hábitat en Latinoamérica (Wirth et al. 2007). Es por ello que estos insectos han sido utilizados como indicadores de perturbaciones naturales o antrópicas, en la rehabilitación de ecosistemas acelerando etapas sucesionales, y de la riqueza vegetal en sistemas agroforestales.

En pastizales neotropicales, los géneros *Atta* y *Acromyrmex* tienen el potencial de forrajear una cantidad considerable de gramíneas, reduciendo considerablemente la capacidad de carga (Robinson y Fowler 1982). Estudios realizados en Colombia indican que las instalaciones de pasturas artificiales se ven perjudicadas gravemente. Sumado a esto, las cámaras huecas de los nidos abandonados presentan un peligro físico a los animales o maquinarias que transitan. Fowler y Saes (1986) indican que la presencia de estos nidos no solo compite con el pastoreo bovino de Paraguay y Brasil en estos ambientes, sino que además reduce el valor de la tierra.

Investigaciones en Sudamérica afirman que las HCH forrajea el 15% anual de la vegetación de un bosque tropical (Wirth et al. 2003) y alrededor del 50% de ellas son especies herbáceas (Vasconcelos y Fowler 1990). Esta herbivoría reduce la capacidad reproductiva de las especies, generando espacios sin vegetación en los bosques, promoviendo la entrada de luz, y modificando la estructura y adaptación de las especies presentes (Meyer 2008, Correa et al. 2010). Por otro lado, el incremento del stock de nutrientes disponibles en las áreas cosechadas (Moutinho et al. 2003, Sousa-Souto et al. 2008) debido a una acumulación de material utilizado por los hongos (Sternberg et al. 2007), y sumado al aumento de la permeabilidad de suelo (Moutinho et al. 2003), provoca una alteración de la composición, estructura y dinámica de las especies de la comunidad vegetal en las adyacencias del nido (Garrettson et al. 1998, Correa et al. 2010, Meyer et al. 2011). Además, la actividad forrajera de las HCH cambia la estructura de la comunidad arbórea durante el proceso de regeneración natural. Otros estudios demuestran este efecto de la herbivoría. En líneas generales, un nido puede cortar, cargar y procesar entre 22 y 940 kg de material vegetal anual en forma de millones de pedacitos de hojas y flores (Stahel&Geijskes 1939, Herzet et al. 2007). Esta cantidad puede representar el 2,5% de la vegetación a nivel de paisaje, 12,5 a 15% teniendo en cuenta el área de forrajeo de un nido (Wirth et al. 2003, Urbaset al. 2007), o una reducción de 18% en la cobertura del dosel arbóreo. Todas las estimaciones mencionadas surgen de evaluaciones discretas a lo largo del tiempo y registrado en breves tiempos durante el día, raramente las 24 hs. Esto se debe al esfuerzo humano necesario y a la inexistencia de un soporte electrónico que registre los ritmos de forrajeo durante un período de tiempo considerable en cada estación del año de forma continua.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, las HCH no solo cortan grandes cantidades de vegetación en ecosistemas naturales, sino también concentran su actividad en los antrópicos, causando daños económicos importantes en los cultivos fo-

restales (ejm. *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp.), agrícolas (ejm. *Citrus* spp., *Theobroma cacao*, *Manihot esculenta*, *Coffea arabica*, *Zea mays*, *Gossypium hirsutum*) y en los pastizales naturales o pasturas implantadas donde se desarrolla la ganadería extensiva (Della-Lucia 2003, Zanetti 2007, Meyer 2008). En particular, las plantaciones forestales son afectadas por numerosos insectos ocasionando severos daños en su crecimiento, pero las HCH de los géneros *Atta* y *Acromyrmex* provocan daños irreversibles sobre los árboles (Della Lucia et al. 2014, Zanetti et al. 2014). En este sentido se han realizado numerosas investigaciones donde se demuestra los daños sobre el establecimiento y el desarrollo de los árboles en plantaciones de pinos y de eucaliptos de Sudamérica (Cantarelli et al. 2006, Zanetti et al. 2006, Poderoso et al. 2009, Villacide & Corley 2009, Reis et al. 2010; 2015, Braga et al. 2010, Lasmar et al. 2012, Zanetti et al. 2014, Zanuncio et al. 2016). Las especies de del género *Atta* que cortan hojas de *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae) en Brasil incluyen *A. laevigata*, *A. sexdens* -incluyendo tres subespecies- y *A. cephalotes*. Una sola colonia de hormigas cortadoras de hojas por hectárea de bosque puede reducir el crecimiento anual de árboles en un 5% en *Eucalyptus* y en un 10% en *Pinus* (Amante 1967a), representando una pérdida del 2,1% en la producción anual de madera (Moraes 1983). Estudios realizados en Brasil han demostrado que los árboles atacados por HCH reducen su altura un 32% y un 25% en el diámetro, provocando severas pérdidas en la producción de madera (Della Lucia y Oliveira 1993). Es importante mencionar que, sumado a las pérdidas de producción en términos de biomasa, se adiciona el incremento en los costos asociados al monitoreo permanente y control. En este sentido, la importancia que tienen las tareas de monitoreo dentro de la empresa forestal es elemental, en vísperas de implementar un Manejo Integrado de Plagas, en particular de HCH.

Algunas empresas del sector forestal adoptan sistemas de monitoreo de HCH, con el objetivo de aumentar la eficiencia, disminuir los costos de control, y reducir el impacto ambiental de las sucesivas aplicaciones de insecticidas (Caldeira et al. 2005). El monitoreo permite estimar el número y el tamaño de los nidos por hectárea, así como las especies de HCH presentes. Estos parámetros mencionados anteriormente ayudan a tomar decisiones, como por ejemplo aspectos económicos de la plantación en relación al costo-beneficio del control de esta plaga determinado por el nivel de daño económico (Anjos et al. 1993, Zanetti et al. 2003). Es importante tener en cuenta que las empresas forestales deben convivir con un determinado nivel de daño de hormigas, dado que el manejo de plagas consiste en disminuir la población de insectos sin buscar erradicarla.

Actualmente el monitoreo se basa en: conocer cómo se distribuyen los nidos en una plantación, estimar cuál es la abundancia y el tamaño de las colonias, y determinar cuáles son las especies de HCH presentes. Esta información resulta útil en comparación con las prácticas tradicionales de recorrida esporádicas por la forestación, y como resultado de ello, no sólo dan respuesta inmediata para el control, sino que proporcionan información sobre cuáles son los efectos en especies cultivadas y nativas (Zanetti et al. 1999, 2000a), permitiendo conocer la dinámica poblacional (Zanetti et al. 2000b).

Sin embargo, aún se desconoce cuál es el momento óptimo de implementar un sistema de control, debido a que la actividad forrajera se encuentra correlacionada con las condiciones medias de las estaciones durante el año, entre otros factores que hoy en día son motivo de investigaciones. La complejidad de su estimación se asocia a numerosos factores ecológicos y etológicos que se interrelacionan que resulta en comportamientos particulares.

Las evaluaciones actuales consisten en contabilizar visualmente a campo el número de hormigas que ingresan y egresan de la colonia durante un tiempo determinado -normalmente 5 minutos- a intervalos de dos horas durante el día y la noche según la estación del año (Silva et al., 2012; Kooijetal, 2014). Sin duda que esta metodología permite obtener una estimación parcial de la actividad locomotora dado que durante ese intervalo es posible que las condiciones micro-ambientales se modifiquen, y al ser censada por las hormigas cambien su patrón de actividad. Por otro lado, el esfuerzo humano comienza a debilitarse durante el paso del tiempo, sumando errores inevitables propios del cansancio. Otros estudios más modernos se realizan utilizando filmadoras convencionales y con postproceso en laboratorio, analizando lo grabado en cámara lenta y contabilizando visualmente la actividad, o bien utilizando softwares de libre acceso (Bustamante y Amarillo-Suárez, 2016). Sin embargo, estos sistemas presentan el mismo inconveniente, en cuanto a que captan la actividad en forma discontinua dado que la duración de las baterías es limitado.

La etapa de muestreo supone un gran esfuerzo del personal que debe capturar los insectos durante varias horas del día para determinar la biomasa de material vegetal que transportan. Automatizar el proceso de adquisición de datos para caracterización de la actividad de la colonia, otorgará practicidad, economizará el proceso y se obtendrán mejores estimaciones respecto de los métodos tradicionales. En tal sentido, durante el año 2018, la Cátedra de Ecología de los Sistemas Agropecuarios (FCA-UNER), el Laboratorio de Electrónica y Prototipado 3D (FI-UNER) y el Departamento de Entomología (FCA-UDELAR) han diseñado un prototipo de sistema autónomo que permite capturar en forma continua la actividad locomotora y forrajera a campo y en condiciones de laboratorio. Este desarrollo se encuentra en un proceso de mejora continua, donde las pruebas de campo indican hasta el momento, que el sistema electrónico permite filmar la actividad locomotora de hormigas con una autonomía mínima de 36 hs utilizando baterías de gel y panel solar para su recarga. Los videos se graban en un formato particular que posteriormente pueden ser analizados y procesados con algoritmos específicos a través de la identificación de patrones de movimiento.

Recientemente, ha habido avances significativos en el seguimiento automatizado de los insectos sociales. Por ejemplo, en la clasificación de insectos recolectados en el campo (Atmar et al. 1973), la detección de insectos en muestras de trigo a granel (Zayas y Flinn 1998), la identificación de moscas blancas, pulgones y trips en invernaderos (Cho et al. 2007). Robinson et al. (2009) monitorearon a las hormigas obreras utilizando tecnología pasiva de identificación por radiofrecuencia. Todas las obreras de una colonia fueron marcadas con transmisores de radio, y la actividad de un gran número de residentes fue monitoreada durante varios días. Razin et al. (2013) rastrearon hormigas en una arena iluminada con luz infrarroja, registrando sus trayectorias e interacciones con una cámara web, mientras que otros estudios utilizaron un sistema de rastreo para monitorear continuamente a los trabajadores etiquetados individualmente en seis colonias de *Camponotusfella* durante 41 días (Mersch et al., 2013). Las hormigas se marcaron individualmente con un código de matriz único y se rastrearon con luz infrarroja y una cámara de video por medio de un sistema informático (Shen et al., 2015).

El desarrollo de sistemas de observación automatizados proporciona ventajas significativas sobre el conteo tradicional de HCH porque un algoritmo informático siempre funciona de la misma manera (Noldus et al. 2001). Las observaciones automatizadas que utilizan el rastreo de video permiten contar cientos o miles de objetos en una sola

imagen simultáneamente (Ho et al. 2006). Además, el conteo automatizado de objetos permite al mismo tiempo la medición de varias variables que un observador humano no podría estimar con precisión, como la distancia entre los objetos en movimiento y el radio de giro (Noldus et al. 2001). Hasta la fecha, ningún sistema de rastreo tiene diseñado para contar el número de movimientos de hormigas en dos direcciones opuestas en un sendero en forma precisa, como tampoco contabilizan la velocidad promedio y el tamaño de las obreras de paso. Tal desarrollo es importante porque permite el registro de diferentes actividades complementarias relacionadas con la búsqueda de alimentos por las colonias. Por otra parte, estos desarrollos permitirían diseñar y elaborar cuáles son los umbrales de daño de las diferentes especies de HCH en cada uno de los cultivos, y posteriormente sea utilizado por las empresas agropecuarias como sistema de monitoreo y alerta para tomar decisiones de manejo y control de plagas, entre una de las aplicaciones.

Los ritmos de forrajero de las hormigas cortadoras de hojas aún no se conocen con precisión por la inexistencia de un soporte electrónico adecuado, y se presume que su variabilidad puede estar afectada por factores ambientales y bióticos, o bien de la combinación de ellos. Los cambios en la oferta de vegetales disponibles en sistemas naturales y antrópicos modificarían los ritmos en la actividad de corte de las hormigas, particularmente en agroecosistemas donde dominan comunidades vegetales mono-específicas asociados a un sistema productivo determinado. En este sentido, los estudios que determinan la actividad forrajera hasta el momento implican un trabajo manual de campo con mediciones discretas a intervalos definidos de tiempo. Estas estimaciones presentan limitaciones importantes, por un lado, la presencia inevitable de error humano durante la extracción del material vegetal cargado por las hormigas y, por otro lado, a la extrema variabilidad temporal diaria de la actividad de hormigas asociado a factores desconocidos. Por tal motivo, se contempla realizar estimaciones de los ritmos de forrajeo con una metodología continua de medición utilizando el procesamiento de imágenes fotográficas derivadas de la filmación a campo por medio de instrumentos disponibles. La información generada permitiría determinar cuali y cuantitativamente los ritmos y el comportamiento forrajero de las HCH en diferentes ambientes, que potencialmente podría estimarse su daño potencial en agroecosistemas relevantes de la región, como, por ejemplo, la forestación o el cultivo de cereales u oleaginosas.

Registrar la actividad locomotora/forrajera de hormigas y variables meteorológicas.

Para registrar los ritmos de forrajeo la actividad locomotora de las hormigas, se utilizará como base, el sistema de captura de imágenes continuo desarrollado por la UNER, denominado AntvRecord. El mismo cuenta con una cámara convencional cuya autonomía mínima es de 24 hs utilizando baterías de gel, que puede extenderse a un mayor tiempo con el uso de paneles solares. Con este equipo se capturan las hormigas que se mueven por camino de entrada y deja almacenados archivos en un formato de video para su análisis posterior. Actualmente, el patrón de cosecha de las hormigas cortadoras se obtiene en base al número de hormigas que ingresan al nido cargadas con fragmentos vegetales (Farji-Brener, 1993) que luego se extrae el material cortado para su evaluación. En cada nido se seleccionan al menos cuatro caminos opuestos, y se recolecta el material vegetal con pinzas durante 5 minutos registrados cada 2 ho-

ras en horas del día. Los muestreos se repiten por duplicado en cada estación del año seleccionando nidos con mediana actividad. En este caso, el punto de muestreo debe ser alejado de la boca del nido para evitar disturbios en la locomoción. Posteriormente en laboratorio se identifican los fragmentos del material vegetal, se secan a estufa y luego se pesan en balanzas de alta precisión. La cantidad total de material cosechado por día por nido se obtiene de calcular el área debajo de la poligonal que surgiera de los muestreos del día en promedio. Esta última metodología será utilizada en diferentes momentos del día, para realizar la validación del sistema automático de conteo y esbozar estimaciones sobre los patrones de consumo.

Sin duda que esta metodología permite obtener una estimación parcial de la actividad locomotora dado que durante ese intervalo es posible que las condiciones micro-ambientales se modifiquen, y al ser censada por las hormigas cambien su patrón de actividad. Por otro lado, el esfuerzo humano comienza a debilitarse durante el paso del tiempo, sumando errores inevitables propios del cansancio. Otros estudios más modernos se realizan utilizando filmadoras convencionales y con postproceso en laboratorio, analizando lo grabado en cámara lenta y contabilizando visualmente la actividad, o bien utilizando softwares de libre acceso. Sin embargo, estos sistemas presentan el mismo inconveniente, captan la actividad en forma discontinua dado que la duración de las baterías es limitada.

La instalación de los equipos diseñado se realizará a campo y en laboratorio. Estos serán distribuidos a campo en función de la comunidad de hormigas de cada ambiente, y se dispondrán teniendo en cuenta la accesibilidad y distancias respecto a rutas asfaltadas. Por otro lado, en forma paralela, se colocarán AntVRecords en laboratorio donde se criarán colonias artificiales que serán alimentadas en forma semanal para garantizar la supervivencia de la colonia, su mantenimiento y cuidado. Sobre estas colonias se realizará la primera validación de los algoritmos diseñados que luego serán testeados a campo.

Además, se realizarán mejoras en el diseño del equipo actual, como también incorporarán al mismo, nuevos sensores de medición asociados fundamentalmente al registro de variables meteorológicas (temperatura, humedad, radiación). Además, se harán nuevas pruebas de filmación con otras cámaras de bajo costo, adaptando al sistema de grabación diseñado actualmente con el objetivo de mejorar los algoritmos para su interpretación. De esta manera se buscaría facilitar el post-procesamiento de las imágenes registradas y almacenadas durante un período de tiempo.

En relación a las variables meteorológicas, existen evidencias que las mismas afectan significativa el comportamiento de numerosos insectos, entre ellos las hormigas. Sin embargo, otra línea de investigación, han encontrado evidencias en la cual su etología depende fundamentalmente de su reloj biológico, siendo las variables climáticas un factor de poca relevancia (Denlinger et al. 2001). Por tal motivo, se registrarán las variables como temperatura, humedad y radiación solar a nivel de suelo, y posteriormente se analizarán estadísticamente los resultados.

Elaboración de algoritmos para el procesamiento de imágenes y validación

Recientemente se han registrado avances significativos en el seguimiento automático de insectos sociales. En este sentido, para el estudio de los insectos han desarrollado sistemas de identificación automática de moscas blancas, pulgones y arañuelas sobre

fondos artificiales (Zayas y Flinn 1998, Cho et al. 2007). En particular de hormigas, se analizaron automáticamente los movimientos de hormigas (*tracking*) sobre un circuito artificial con registros de video no optimizados para reconocimiento automático (Cartas et al 2016). Otras investigaciones demuestran buenos resultados en la detección de hormigas recolectando alimento en una arena artificial utilizando tracking (Balch et al. 2001), mientras que Razin et al (2013) y Egerstedt et al (2005) analizaron una situación similar exponiendo distintas teorías sobre el modelado de su comportamiento social. Sin embargo, a campo se combinan un gran número de factores ambientales que dificultan su procesamiento, como la sombra, el movimiento de restos vegetales, la identificación de hormigas cargadas y descargadas, entre otros aspectos. En este sentido Halevy y Weinshall (1999) utilizaron técnicas avanzadas para lograr segmentación y tracking en ambientes reales; mientras que otros grupos de investigación han implementan un algoritmo de detección de fondo adaptativo con detección de sombras (Kaew y Bowden 2002, Shen et al. 2015) para analizar el movimiento de partes del cuerpo de insectos.

Actualmente existen algunos algoritmos que permiten estimar en forma limitada el número de hormigas que se mueven en un sentido y otro, tomando como punto de referencia las bocas de ingreso al nido. Basándonos en un código fuente libre publicado hace 3 años (Bustamante y Amarillo-Suárez 2016) se realizará el diseño de un algoritmo capaz de procesar los videos filmados con AntvRecord en postprocesamiento para obtener: i) la tasa de hormigas que transitan en un camino de forrajeo en ambos sentidos en un momento dado (número de hormigas/segundo), ii) la contabilización total diaria, iii) la velocidad promedio instantánea y iv) el tamaño promedio de las obreras. Para ello se utilizarán algoritmos de flujo óptico, reconocimiento y entrenamiento de patrones por morfometría geométrica. El software presentará interfaz en Linux y Windows sin la necesidad de amplia documentación técnica ni la instalación de otros sistemas o librerías para usuarios de bajo entrenamiento.

En virtud de ello, y a los efectos de dar respuestas a los objetivos, se pretenden analizar las filmaciones realizadas por los AntVRecords en las diferentes condiciones (naturales y antrópicas) y en las especies de hormigas cortadoras de mayor incidencia económica, con los algoritmos disponibles y desarrollados. Posteriormente se validarán con sistemas de conteo manual.

SÍNTESIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Caracterización y relevamiento de las comunidades de hormigas en la región

Entre finales de agosto e inicios de Setiembre 2021 se realizó un relevamiento sobre diferentes ambientes del PN El Palmar, en el cual se detallan los puntos de muestreo en la Figura 1. El objetivo de esta visita fue netamente exploratoria, para conocer cuáles eran las especies presentes en cada ambiente. Para ello se estableció y planificó un recorrido en vehículo realizando paradas en diferentes ambientes. En cada parada se caminos sobre una transecta de 150 metros y se registraba con GPS los nidos encontrados. En total se encontraron 87 nidos que, en su mayoría, estaban presentes al norte del Arroyo El Palmar. En el sector sur se realizó una recorrida sobre uno de los caminos utilizados por la guarda de prevención contra incendios, dado que el resto del área estaba con operativos de quema prescriptos. Las especies encontradas de hormigas cortadoras fueron esperadas para la región, destacándose *Acromyrmex heyeri*, *Ac. lun-*

di, *Ac. crassispinus*, *Ac. balzani*, *Ac. ambiguus* y *Ac. striatus*. Luego se estableció contacto con los propietarios de los campos linderos para obtener la autorización y evaluar en otra visita posibles cambios o no en la diversidad de hormigas cortadoras. Con los guardaparques se analizó la posibilidad de instalar los AntVRecord en dos o tres sectores del PN El Palmar y zonas adyacentes, encontrando dos debilidades importantes: posibilidad de hurto o robo del equipo y costo del sistema de alimentación eléctrica (batería con paneles solares). Además, implica disponer de una o dos personas que realicen periódicamente controles (uno por semana) del estado de grabación de los mismo, y eventualmente el remplazo del sistema de almacenamiento (recambio de pendrive). En principio, los equipos deberían ser suministrados por la FCA-UNER y el mantenimiento a cargo del personal del PN El Palmar. Hasta el momento no fue posible construir el equipamiento necesario, pero, se iniciaron las consultas con la Administración de Parques Nacionales y también con empresas privadas del Sector Forestal para cubrir los costos de los mismos, motiva de futuras investigaciones.

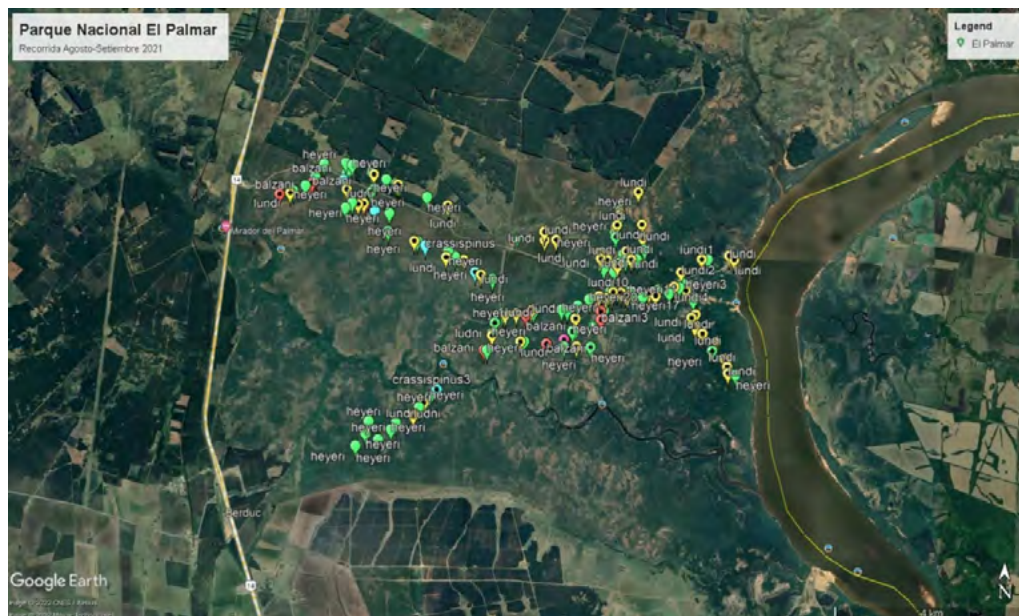


Figura 1. Ubicación de los nidos de hormigas cortadoras del género *Acromyrmex* en el PN El Palmar (Colon, Entre Ríos)

En relación con el efecto de sombreado y la comunidad de cortadoras, se obtuvieron resultados interesantes que son claves para el manejo posterior como plagas (Bollazzi et al 2023). El sombreado de los rodales adultos de *Eucalyptus* tiene un importante efecto sobre las densidades y la distribución de las colonias de *Acromyrmex*. Aunque la mayoría de los montes (70 %) alojan colonias de tres especies de *Acromyrmex*, estas están ausentes de un porcentaje considerable de rodales (30 %). Cuando están presentes, el efecto del sombreado provoca que solo algunas especies sobrevivan, y es *A. crassispinus* la especie más frecuente. Es de destacar la ausencia de especies muy comunes en todo el país como *A. lundii* y *A. lobicornis*, así como la baja presencia de *A. heyeri*.

Al considerarse el potencial de daño por la presencia de *Acromyrmex* en los rodales, se puede decir que sobrepasan ampliamente los niveles críticos con una densidad cercana a los 8 nidos/ha, cuando la densidad crítica es de 0,3 nidos/ha. De esta forma se puede concluir que, aunque el sombreado tiene un efecto supresor de las poblaciones

de algunas especies de *Acromyrmex*, este no se evidencia para *Acromyrmex crassispinus*, que parece ser la más tolerante al sombreado. Por lo tanto, la eliminación de los controles, o incluso la implementación de un control solo en el borde de los rodales al finalizar el turno, no puede ser recomendada como regla general. Sin embargo, restar conocer cuáles son las variables que determinan que un 30 % de los rodales no tengan presencia de ninguna especie de *Acromyrmex*. Al considerarse la recuperación de las poblaciones de *Acromyrmex* luego de un control, se evidencia que se llega a una densidad crítica luego de nueve a doce meses, aún en condiciones de sombreado. Además, se evidencia que los niveles poblacionales se recuperan a partir de los tres años, un plazo menor a la duración total del turno, de alrededor de once años, lo que evidencia que, aunque los controles provocan una erradicación local de la comunidad de especies de *Acromyrmex*, este impacto se disipa con el tiempo y las poblaciones estarían completamente recuperadas al final del turno.

Conocimiento sobre el impacto de hormigas en la región sur de la Mesopotamia: impacto de la herbivoría en ecosistemas nativos

La hormiga cortadora de pasto *Atta vollenweideri* es muy adecuada para estudios que examinan el efecto negativo que tienen las hormigas cortadoras de hojas en la producción ganadera en los pastizales de América del Sur porque se alimentan de las mismas plantas que el ganado. Se realizó un estudio en donde se investiga el impacto de *A. vollenweideri* en la producción ganadera junto con los pastizales argentinos. Primero, se evaluó la tasa de herbivoría de *A. vollenweideri* y su nivel de daño económico (NDE). En segundo lugar, utilizando imágenes satelitales en una región de 15.000 ha, estimamos el porcentaje de esta área que superó el NDE calculado. Los resultados mostraron que *A. vollenweideri* consumió aproximadamente 276 kg de vegetales seco/ha/año, alimentándose principalmente de pastos (70%).

Además, las hormigas cortan el 25% de las hierbas y el 5% de los árboles. En verano y otoño, las hormigas consumieron más pasto, mientras que en invierno y primavera, también se cortaron significativamente hierbas y árboles. Las hormigas consumieron el 7% de la demanda de forraje necesaria para criar una cría según el régimen de manejo aplicado por los agricultores. Nuestro NDE calculado (5,85 nidos/ha) se encuentra en el rango de estudios previos. Las colonias estuvieron ausentes en el 93,6% del área encuestada, mientras que su densidad estuvo por debajo del NDE en el 6,2% del área. Las poblaciones de *A. vollenweideri* superaron el NDE en sólo el 0,2% del área, lo que corresponde al 2,6% de los lugares que albergan colonias.

Estos resultados obtenidos cuestionan la percepción de que las hormigas cortadoras de hojas *Atta* son una plaga de la producción ganadera. Aunque las hormigas consumen un pequeño porcentaje de la demanda de forraje del ganado, la evidencia de que las hormigas y el ganado compiten en los pocos casos en los que la densidad supera el NDE es discutible. En primer lugar, las hormigas cortadoras de pasto son capaces de consumir hierbas y árboles además de los pastos de los que se alimenta principalmente el ganado. En segundo lugar, no hay evidencia que indique que ambos estén cortando las mismas porciones de planta cuando las preferencias se superponen. En tercer lugar, la evidencia sugiere que las hormigas no son desplazadas por el ganado bajo regímenes de pastoreo de alta presión. En los países donde está presente *A. vollenweideri*, los responsables de la toma de decisiones han promulgado varias leyes que hacen obligatorio su control. Es hora de revisar el estado de la plaga de *A. vollenweideri* e incluir el uso de NDE como criterio de control.

Hardware (AntVRecord) y Software (AntTracker)

El uso de sistemas de seguimiento automático se ha generalizado en los últimos 20 años en varios campos. Recientemente se han producido avances significativos en el seguimiento automatizado de insectos sociales. Los estudios modernos de conteo de hormigas utilizan métodos convencionales. Las cámaras de vídeo y los vídeos se analizan manualmente en cámara lenta o, eventualmente, utilizando los pocos programas disponibles gratuitamente. Hasta el momento solo estaba disponible 'AntCounter' de acceso gratuito que cuenta el número de hormigas que entran y salen del nido utilizando un algoritmo de procesamiento de imágenes. Sin embargo, estas soluciones utilizan grabadoras de vídeo comerciales, que no se pueden utilizar continuamente en el tiempo debido a limitaciones de batería y almacenamiento. Las nuevas tecnologías electrónicas han permitido numerosos avances con creación rápida de prototipos. La disponibilidad de la Raspberry Pi, una computadora económica, pequeña y relativamente potente, proporciona un gran componente básico para facilitar la investigación y diversos desarrollos de aplicaciones. AntVideoRecord (AntVRecord), es innovador, preciso, sencillo de fabricar y utilizar. El propósito de este dispositivo es monitorear la locomoción y el ritmo de forrajeo de las HCH en forma continua y autónoma, en diferentes condiciones de campo. Esto ayudará a obtener una mejor imagen del comportamiento de las hormigas en el campo y en el laboratorio. También se puede utilizar como tecnología de aplicación agronómica aplicada, como decisión utilizando un Manejo Integrado de Plagas.

Las condiciones ambientales a las que estará expuesto el equipo presentan riesgo de alta humedad y calor. Por este motivo se tuvo que fabricar un soporte estanco para evitar daños en los componentes electrónicos. Se desarrollaron y evaluaron tres modelos en condiciones de campo. Un primer modelo se basó en la fabricación e impresión de un soporte rectangular mediante impresión 3D utilizando ABS y PET-G como materiales de modelado. Tiene cuatro puntos de sujeción mediante varillas metálicas en cada extremo en la parte superior. En uno de sus laterales se encuentra la indicación para el usuario de las luces LED, así como el aporte de energía. En el otro extremo, se coloca una tapa retráctil para proteger el sistema de almacenamiento de vídeo. Este modelo presentó dificultades para soportar condiciones ambientales en campo como lluvia y condiciones de calor intenso durante el verano. Además, fue difícil obtener un plano de imagen perpendicular al rastro del forraje, ya que el número de puntos de apoyo no permite modificaciones.



Figura 2. Diseños de AntVRecord desarrollados oportunamente.

Se imprimió en 3D un segundo diseño de la estructura física. Tiene más libertad de movimiento y un punto de anclaje mediante una varilla metálica lisa de 10 mm de diámetro (Figura 2). Este diseño permite el cambio de la orientación de la cámara según el paisaje. En un extremo tiene un tapón roscado donde se inserta el almacenamiento. Presenta un mayor volumen interno que reduce el sobrecalentamiento electrónico cuando la temperatura ambiente es alta. Además, no presentó síntomas de daño por humedad. Sin embargo, se encontró que el fulcro se volvía menos rígido cuando había

alta humedad ambiental, generando movimientos no deseados por efecto del viento. Además, requería placas electrónicas más pequeñas, lo que implica el uso de herramientas que pueden no estar disponibles para muchos de los usuarios objetivos, lo que requiere un mayor costo de fabricación. Este diseño tardó aproximadamente seis días en imprimirse en una impresora 3D doméstica (consulte Archivos de diseño en Datos complementarios).

La versión final del modelo se basó en una adaptación de una caja de plástico ABS impermeable al polvo IP65. Es una forma muy sencilla que se puede adaptar a varios productos del mercado o se puede imprimir con facilidad. Para cambiar el dispositivo de almacenamiento, solo se deben quitar unos pocos tornillos de la cubierta. El dispositivo demostró ser resistente al agua en nuestras pruebas. Sin embargo, esta condición podría mejorarse con una estructura impresa en 3D con tapa hermética. Se colocaron en la caja dos pernos utilizados para asegurar el equipo y se pegaron con sellador. Se hizo un corte rectangular en la parte inferior de la caja para sostener el módulo de la cámara de captura de video. Además, para el sistema de iluminación se cortaron ocho círculos de cinco milímetros de diámetro. En los laterales se incorporaron los LED indicadores. La caja se fija con dos puntos de apoyo al suelo, añadiendo estabilidad durante la captura de video, mientras permitiendo la movilidad vertical para ajustar el área de grabación. El ancho de la caja (15 cm) coincide con el ancho máximo de los senderos de las HCH estudiadas. En resumen, la caja tiene un montaje sencillo y facilita la eventual sustitución de componentes.

El usuario configura sencillamente por medio de una interfaz gráfica (AntProject), el período de filmación a través de la duración y número de los videos. Puede hacerse utilizando su smartphone, tableta o notebook por vía Bluetooth, y eventualmente de forma remota si el sitio donde se coloca el AntvRecord tiene conexión de internet (Sabattini et al., 2022). El sistema de alimentación es autónomo, utilizando baterías de gel con recarga durante el día de paneles solares. Por lo tanto, la herramienta tiene que ser suficientemente económica en el uso de la energía. Económicamente es de bajo costo, con materiales disponibles en el mercado de fácil configuración y armado. El soporte físico consistió en adaptar sistemas embebidos de bajo costo, en particular utilizando placas de desarrollo Raspberry Pi, al problema en estudio. La cámara utilizada se adaptó perfectamente a este sistema presentando los requerimientos necesarios para su análisis posterior que utiliza principios de entrenamiento y/o aprendizaje de hormigas cargadas y descargadas.

ResEn forma acoplada, en gabinete se analizan los videos registrados por un software denominado AntTracker (Sabattini et al., 2023) que posibilita reconocer los ritmos de locomoción de una colonia por medio de algoritmos específicos. El procesamiento involucra técnicas de análisis digital de imágenes y video en la detección y localización de HCH cuadro a cuadro mediante la segmentación de imágenes. Este es un proceso de particionar una imagen digital en regiones u objetos constituyentes. Estas regiones serán píxeles agrupados, con una frontera definida, formando un conjunto conectado

al que se nombra o etiqueta de una determinada manera. Para ello se utilizaron diferentes técnicas que permiten diferenciar el fondo por donde transitan las hormigas de ellas mismas, y una vez hecho este proceso, extraer información (Figura 3). Todo este proceso es continuo en el tiempo, sorteando numerosas dificultades, principalmente el nivel de tránsito que tienen y generan regiones vacías aumentando el error de detección.

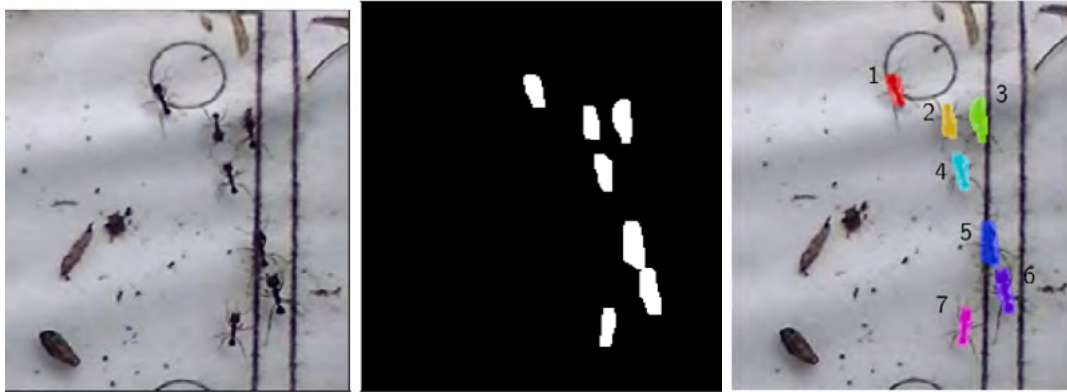


Figura 3. Proceso simplificado de extracción del fondo y segmentación de regiones para detectar objetos, en este caso, hormigas en movimiento

Detectar un objeto (o múltiples) en movimiento en un video digital, localizar su ubicación y realizar seguimiento sobre el mismo a lo largo del tiempo se conoce como seguimiento de objetos. Esto es algo complejo en presencia de ruido, como por ejemplo cuando los objetos se detienen temporalmente y luego vuelven a moverse, o cuando transitan espacialmente muy cerca uno de otros, entre otros. El seguimiento de objetos inicialmente debe comenzar con una buena segmentación en el cual es posible obtener una máscara que distingue la localización del objeto bajo análisis en cada cuadro. Si este esquema se aplica para todos los cuadros del video, el recorrido del objeto en el tiempo queda determinado perfectamente. En general, los métodos de reconocimiento de regiones no son ideales, y deben enfrentarse a información faltante, oclusiones o cambios en la escena, dando lugar a la necesidad de las técnicas de seguimiento de objetos. En este caso se utilizó el filtro de Kalman, una clase de algoritmos que proveen predicciones de estados futuros de un sistema, basándose en estimaciones pasadas y observaciones ruidosas. De esta manera se implementó un sistema de seguimiento -también llamado “tracking”- con alta precisión (Figura 4).

Una etapa posterior fue el empleo de redes neuronales convolucionales con aprendizaje múltiples para la detección de hojas. En este caso, y de manera sencilla consiste en enseñar al computador que atributos morfológicos responden a hormigas con hojas y cuáles no. Luego de miles de imágenes bajo condiciones diferentes de entrenamiento, el algoritmo cuenta con una base de datos de hormigas cargadas y sin carga, que utiliza para procesar en forma continua con nuevas condiciones de video. Para ello se utilizó la técnica de redes neuronales, en particular de capas convolucionales porque ofrecen una ventaja frente a las capas completamente conectadas: al disminuir la cantidad de pesos a entrenar, aumenta la eficiencia computacional de la red y aumenta su capacidad de generalización agilizando el proceso.

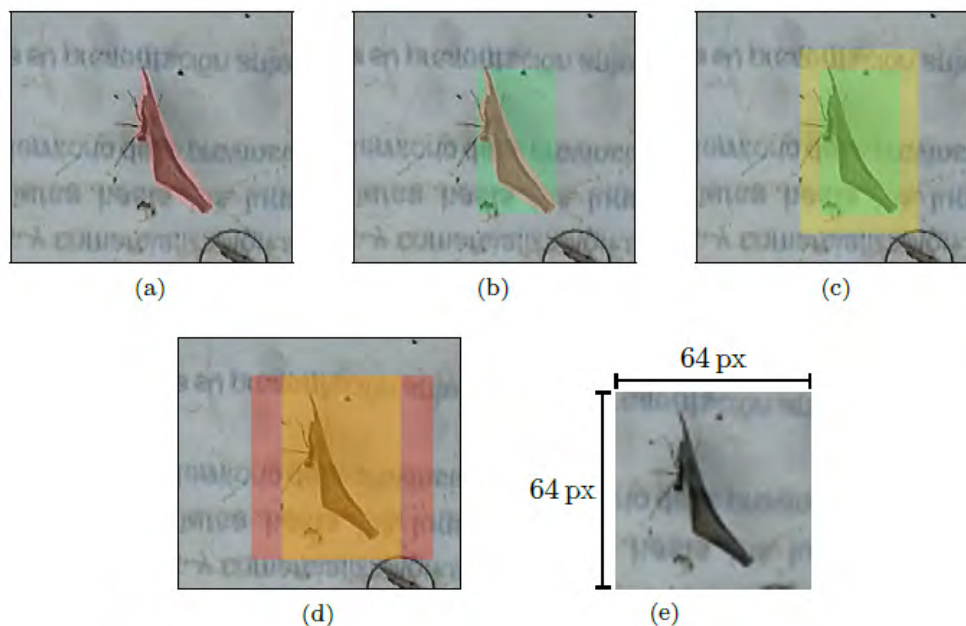


Figura 4. Ejemplo del proceso de conversión de una región a una observación. (a) Se comienza con una región en un cuadro en particular. (b) Se determina el rectángulo que contiene la región. (c) El rectángulo contenedor se expande ligeramente para capturar la totalidad de la hormiga y carga. (d) Un cuadrado que contenga completamente al rectángulo anterior define la sección del cuadro recortada. (e) Finalmente, la sección se escala a 64 x64 píxeles.

Como resultado del procesamiento del software es posible determinar número de hormigas con y sin hojas que salen y entran del nido, como así también, la velocidad de locomoción y el tamaño de las mismas. Todo ello es ordenado en bases de datos, para posteriormente realizar el análisis que el investigador requiera.

Resultados preliminares: ritmos de locomoción de colonias del género *Acromyrmex*

En la localidad de Oro Verde (Argentina) y en Montevideo (ROU) durante el mes de abril 2021 y noviembre 2021, respectivamente se iniciaron las grabaciones en nidos de *Acromyrmex lundii* que serán utilizados como testigos tanto para validar y comprobar el funcionamiento del dispositivo (AntVRecord) y el procesamiento del AntTracker; como también para analizar datos preliminares de los patrones de movimiento. En Oro Verde se seleccionaron 3 nidos ubicados en el parque de la Facultad de Ciencias Agropecuarias donde es posible acceder a conexión de internet, posibilitando el control de forma remota. Del mismo modo se realizó en el campus de la Facultad de Agronomía (UdelaR) inicialmente con un nido, y luego con dos más. Los mismos ubicados en regiones en donde quede resguardado de vandalismos, robos o hurtos de los componentes, situaciones que son ajenas al proyecto pero que deben tenerse en cuenta.

Se registró 252 días de grabación en el Nido 1 (abril 2021 a Abril 2022), 85 días en el Nido 2 (Noviembre 2021 a Abril 2022), y 85 días en el Nido 3 (Enero 2022 a Abril 2022). Todos ellos se encuentran en Oro Verde. Se presentaron inconvenientes técnicos relacionados con el sistema de energía, normalizándose a partir de marzo 2022 y también con el sistema de almacenamiento en el cual se reemplazó con discos SSD siendo más estables y con mayor capacidad de grabación. En Montevideo la grabación comenzó

en diciembre 2022 luego de una capacitación inicial con el personal de apoyo disponible en el Departamento de Entomología (FA-UdelaR). En total se encuentra almacenado 8,9 TB de videos en las nubes de Google Drive provistos por la FCA-UNER, lo cual resulta muy útil dado que no debe ser almacenados en soportes físicos que pueden presentar errores de escritura o roturas físicas. A partir de mayo 2021 se iniciaron las pruebas de procesamientos con el AntTracker del Nido 1 (Oro Verde) utilizado como testigo de todo el proceso.

Si bien el tiempo de procesamiento es variable, en promedio se requirió de 3 días de procesamiento para analizar un día de grabación, siendo mayor durante los períodos de mayor actividad (Otoño-Primavera). Estos primeros resultados permitieron obtener las siguientes figuras sobre los ritmos de locomoción estacional del Nido 1 (Figura 5). Aún los resultados son preliminares, y se encuentra en proceso de análisis estadístico de todas las variables obtenidas. El tratamiento de la información demanda un costo informático importante por la cantidad de registros obtenidos, lo cual implica mayor tiempo de análisis. Luego de ello se realizarán interpretaciones biológicas a las salidas, dado que ahora con los escasos datos analizados se imposibilita una discusión acorde de la información.

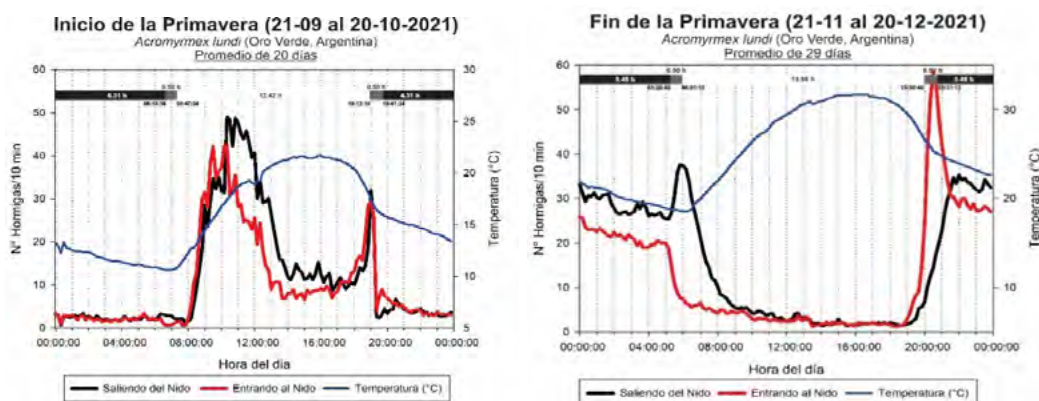


Figura 5. Valores promedios de la actividad diaria al inicio y final de la primavera 2021 para *Acromyrmexlundi* en la provincia de Entre Ríos.

Desde inicios del año 2024 se comenzaron a realizar nuevas filmaciones sobre nidos ubicados en Oro Verde. Los equipamientos habían sido dañados, y fue posible recuperar dos de los cinco fabricados al inicio del proyecto. Actualmente se encuentran todos los videos subidos a la nube, y se encuentran en procesamiento, con los escasos recursos computacionales que se disponen, dado que los requerimientos no fueron cumplimentados.

Indicadores de producción

PUBLICACIONES

SABATTINI J.A., RETA J.M., BUGNON L.A., CERRUDO J.I., SABATTINI R.A., PEÑALVA A., BOLLAZZI M., PAZ M.O., STURNIOLO F. (2022). AntVRecord: Autonomous system to capture the locomotor activity of leafcutter ants. *HarwareX*. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00270>

- SABATTINI, J.A., BOLLAZZI, M. (2023). Herbivory by *Atta vollenweideri*: Reviewing the significance of grass-cutting ants as a pest of livestock. *Frontiers in Insect Science*. <https://doi.org/10.3389/finsc.2023.1101445>
- SABATTINI, J.A., STURNIOLO, F., BOLLAZZI, M., BUGNON L. (2023). AntTracker: A low-cost and efficient computer vision approach to research leaf-cutter ants behavior. *Smart Agricultural Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100252>
- SOUSA, K.A., CAMARGO, R., CALDATO, N., FARIAS, A.P.; DE MATOS, C.A., ZANUNCIO, J.C., SABATTINI, J.A., FORTI, L.C. (2023). Soil micromorphology and CO₂ exchange in initial *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae) nests. *International Journal of Tropical Insect Science*. <https://doi.org/10.1007/s42690-023-01009-3>
- BOLLAZZI, M., KATZENSTEIN G., SABATTINI J.A. (2023). Capítulo 8. Efecto del sombreado de los montes forestales sobre la comunidad de hormigas cortadoras del género *Acromyrmex*: consecuencias para el manejo de plagas (177-193). Libro Biodiversidad y Forestación. Ed. BRAZEIRO, A. Ediciones Universitarias, Unidad de Comunicación de la Universidad de la República, Montevideo. 978-9974-0-1993-5.

CONGRESOS

- SABATTINI J.A., BOLLAZZI M. (2022) Sistema de monitoreo autónomo de la actividad locomotora y forrajera de hormigas cortadoras de hojas. Presentado en XI Congreso Argentino y XII Congreso Latinoamericano de Entomología 2022. La Plata, Argentina, 24/10 al 28/10/2022.
- SABATTINI, J.A. (2023). Ingeniería aplicada en la biología comportamental: AntVRecord y AntTracker. Presentado en XX Congreso Latino-iberoamericano de Gestión Tecnológica y de la Innovación ALTEC 2023. Paraná, Argentina, 20/09 al 22/09/2023.

BIBLIOGRAFÍA

- ANJOS, N., MOREIRA, D.D., DELLA LUCIA, T.M.C. (1993) Manejo integrado de formiga-semreflorestamentos. In: Della Lucia TMC (ed) *As FormigasCortadeiras*, Viçosa, pp 212–241.
- ATMAR, J., POOLER, J., WEBB, F., et al. (1973) Construction of a device to identify and count insects automatically. *Environ Entomol* 2:713–716.
- AUTUORI, M. (1941). Contribuição para o conhecimento da saúva (*Atta* spp. - Hymenoptera-Formicidae) I. Evolução do saúveiro (*Atta sexdensrubropilosa* Forel, 1908). *Arq. Inst. Biol.*, 12, 197-228, Estampa 45-48.
- BALCH, T., KHAN, Z., VELOSO, M. (2001). Automatically Tracking and Analyzing the Behavior of Live Insect Colonies. *Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents*.
- BOLTON, B. (1994). Identification guide to the ant genera of the world, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- BRAGA, D.L., LOUZADA, J.N., ZANETTI, R., DELABIE, J. (2010). Avaliação Rápida da Diversidade de Formigasem Sistemas de Uso do Solo no Sul da Bahia. *Neotropical Entomology* 39(4):464-469.
- BUSTAMANTE, S., AMARILLO, A. (2016). AntCounter Software: Counting Leaf-Cutting Ants Was never so Precise, fast and Easy. *Journal of Insect Behavior*, 29. <https://doi.org/10.1007/s10905-016-9558-0>

- CALDEIRA, M.A., ZANETTI, R., MORAES, J.C., ZANUNCIO, J.C. (2005) Distribuição espacial de saúveiros (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais. *Cerne* 11:34-39
- CANTARELLI, E.B., CORRÊA COSTA, E., ZANETTI, R., PEZZUTTI, R. (2006). Plano de amostragem de *Acromyrmex* spp. (Hymenoptera: Formicidae) em áreas de pré-plantio de *Pinus* spp. *Ciência Rural* 36(2):385-390.
- CHERRETT, J. M. (1982). The economic importance of leafcutting ants. (pp. 114-118). En: BREED, M. D., MICHENER, C. D. y EVANS, H. E. (Comp.) *The Biology of social insects: Proceedings, Ninth Congress, International Union for the Study of Social Insects*. Boulder, Colorado: Westview Press.
- CHERRETT, J. M. y PEREGRINE, D. J. (1976). A review of the status of leaf-cutting ants and their control. *Ann. Appl. Biol.*, 84, 124-128.
- CHO, J., CHOI, J., QIAO, M., et al. (2007) Automatic identification of whiteflies, aphids and thrips in greenhouse based on image analysis.
- CLAVER, S. (2000). *Ecología de Acromyrmex lobicornis (E.) (Hymenoptera: Formicidae) en la reserva de Biosfera de Ñacuñan, Provincia Biogeográfica del Monte. Preferencia de hábitat, abundancia de colonias, uso de los recursos y patrones de actividad*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, 160 p.
- CORRÊA, M. M., SILVA, P. S. D., WIRTH, R., TABARELLI, M. y LEAL, I. R. (2010). How leaf-cutting ants impact forests: drastic nest effects on light environment and plant assemblages. *Oecologia*, 162(1), 103-115.
- CUEZZO, F. (1998). Formicidae. (pp. 452-462). En: MORRONE, J. J. y COSCARÓN, S. (Comp.) *Biodiversidad de artrópodos argentinos*. La Plata, Argentina, vii + 599 p.: Ediciones SUR.
- DELLA LUCIA, T. M. C. (2003). Hormigas de importancia económica en la región Neotropical. (pp. 337-349). En: FERNÁNDEZ, F. (Comp.) *Introducción a las hormigas de la región neotropical*. Bogotá. 424 p.: Instituto Humboldt.
- DELLA LUCIA, T.M., GANDRA, L.C., GUEDES, R.N. (2014) Managing leafcutting ants: peculiarities, trends and challenges. *Pest Management Science* 70:14-23.
- DENLINGER, D.L., GIEBULTOWICZ, J.M., SAUNDERS, D.S. (2001). *Insect Timing: Circadian Rhythmicity to Seasonality*. Elsevier Science. 238 pp.
- EIDMANN, H. (1936). Das Atta-Problem. Untersuchungen über die Biologie und wirtschaftliche Bedeutung der Blattschneiderameise *Atta sexdens* L. *Naturwissenschaften*, 24(17), 257-266.
- FARJI BRENER, A. G. (1993). Influencia de la estacionalidad en el forrajeo diurno-nocturno de *Atta laevigata* (Hymenoptera, Formicidae) en una sabana tropical. *Rev. Biol. Trop.*, 41(3-B), 897-899.
- FITTKAU, E. J. y KLINGE, H. (1973). On biomass and trophic structure of the central Amazonian rain forest ecosystem. *Biotropica*, 5 (1), 2-14.
- FOWLER, H. G. y ROBINSON, S. W. (1979). Foraging by *Atta sexdens* (Formicidae: Attini): seasonal patterns, caste and efficiency. *Ecol. Entomol.*, 4, 239-247.
- FOWLER, H. G. y SAES, N. B. (1986). Dependence of the activity of grazing cattle on foraging grass-cutting ants (*Atta* spp.) in the southern Neotropics. *J. Appl. Entomol.*, 101, 154-158.
- FOWLER, H. G., FORTI, L. C., PEREIRA DA SILVA, V. y SAES, N. B. (1986). Economics of grass-cutting ants. (pp. 18-35). En: LOFGREN, C. S. y VANDER MEER, R. K. (Comp.) *Fire ants and leaf cutting ants: biology and management*. Boulder. xv + 435 p.: Westview Press.

- FOWLER, H. G., PEREIRA DA SILVA, V., FORTI, L. C. y SAES, N. B. (1986). Population dynamics of leaf-cutting ants: A brief review. (pp. 123-145). En: LOFGREN, C. S. y VANDER MEER, R. K. (Comp.) Fire ants and leaf cutting ants: biology and management. Boulder: Westview Press.
- GARRETTSON, M., STETZEL, J. F., HALPERN, B. S., HEARN, D. J., LUCEY, B. T. y MCKONE, M. J. (1998). Diversity and abundance of understory plants on active and abandoned nests of leaf-cutting ants (*Atta cephalotes*) in a Costa Rican rain forest. *J. Trop. Ecol.*, 14, 17-26.
- GONÇALVES, C. R. (1945). Formigas cuiabanas e correicoes e o combate as saúvas. *Bol. Fitossanit.*, 2, 3-8.
- HALEVY, G., WEINSHALL, D. (1999). Motion of disturbances: detection and tracking of multi-body nonrigid motion. *Machine Vision and Applications*, 11(3): 122-137.
- HERZ, H., BEYSCHLAG, W. y HÖLLDOBLER, B. (2007). Herbivory rate of leaf-cutting ants in a tropical moist forest in Panama at the population and ecosystem scales. *Biotropica*, 39(4), 482-488.
- HIGASHI, S. y YAMAUCHI, K. (1979). Influence of a supercolonial ant *Formica* (*Formica*) *yessensis* Forel on the distribution of other ants in Ishikari coast. *Jpn. J. Ecol.*, 29, 257-264.
- HO, T., BASU, M., LAW, M. (2006) Data complexity in pattern recognition. Springer Verlag London Limited 2006, Londres. 299 pp.
- HÖLLDOBLER, B. y WILSON, E. O. (1990). The ants, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- JAFFE, K. (1993). El mundo de las hormigas, Baruta, Venezuela, Equinoccio (Ediciones de la Universidad Simón Bolívar).
- JEANNE, R. L. (1979). A latitudinal gradient in rates of ant predation. *Ecology*, 60(6), 1211-1224.
- JONES, D. B., ADAMS, R. H. y THOMPSON, L. C. (1994). Assessment of baits for fire ant control in southern Arkansas. *Arkansas Farm Res.*, 43(2), 8-9.
- JONKMAN, J. C. M. (1977 (1976)). Ant [*Atta vollenweideri*] nests as accelerators of succession in Paraguayan pastures. (pp. 172-176). En: MATTSON, W. J. (Comp.) The Role of Arthropods in Forest Ecosystems. New York: Springer Verlag.
- KAEWTRAKULPONG, P., BOWDEN, R. (2002). An Improved Adaptive Background Mixture Model for Real-time Tracking with Shadow Detection. En P. Remagnino, G. A. Jones, N. Paragios, & C. S. Regazzoni (Eds.), *Video-Based Surveillance Systems: Computer Vision and Distributed Processing* (pp. 135-144).
- LASMAR, O., ZANETTI, R., DOS SANTOS, O., FERNANDES, B.V. (2012). Use of Geostatistics to Determine the Spatial Distribution and Infestation Rate of Leaf-Cutting Ant Nests (Hymenoptera: Formicidae) in Eucalyptus Plantations. *Neotropical Entomology* 41:324-331
- LEAL, I. R., WIRTH, R. y TABARELLI, M. (2014). The multiple impacts of leaf-cutting ants and their novel ecological role in human-modified neotropical forests. *Biotropica*, 46 (5), 516-528.
- LÉVIEUX, J. (1982). A comparison of the ground dwelling ant populations between a Guinea savanna and an evergreen rain forest of the Ivory Coast. (pp. 48-53). En: BREED, M. D., MICHENER, C. D. y EVANS, H. E. (Comp.) The biology of social insects. Proceedings of the Ninth Congress of the IUSSI, Boulder, Colorado, August 1982. Boulder, CO. xii + 420 p.: Westview Press.

- LEWIS, T., POLLARD, G. V. y DIBLEY, G. C. (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.
- LEWIS, T., POLLARD, G. V. y DIBLEY, G. C. (1974). Rhythmic foraging in the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (L.) (Formicidae: Attini). *J. Anim. Ecol.*, 43(1), 129-141.
- MARICONI, F. A. M. (1970). *As saúvas*, São Paulo, Agronômica Ceres.
- MERSCH, D.P., CRESPI, A., KELLER, L. (2013) Tracking individuals shows spatial fidelity is a key regulator of ant social organization. *Science* 340:1090-1093.
- MEYER, S. T. (2008). *Ecosystem engineering in fragmented forests. Edge-mediated hyper-abundance of leaf-cutting ants and resulting impacts on forest structure, micro-climate and regeneration*. Doktor der Naturwissenschaften" genehmigte Dissertation, Fachbereich Biologie der Universität Kaiserslautern, x + 159 p.
- MEYER, S. T., NEUBAUER, M., SAYER, E. J., LEAL, I. R., TABARELLI, M. y WIRTH, R. (2013). Leaf-cutting ants as ecosystem engineers: topsoil and litter perturbations around *Atta cephalotes* nests reduce nutrient availability. *Ecol. Entomol.*, 38(5), 497-504.
- MEYER, S. T., ROCES, F. y 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*. *Funct. Ecol.*, 20(6), 973-981.
- MORAES, J.S.A. (1983) Conhecimentos básicos para o combate às formigas cortadeiras. Boletim Técnico da CAF, pp 25
- MOUTINHO, P., NEPSTAD, D. C. y DAVIDSON, E. A. (2003). Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. *Ecology*, 84(5), 1265-1276.
- NOLDUS, L.P., SPINK, A.J., TEGELENBOSCH, R.A. (2001) EthoVision: a versatile video tracking system for automation of behavioral experiments. *Behav Res Methods Instrum Comput* 33:398-414
- PILATI, A. y QUIRAN, E. (1996). Patrones de cosecha de *Acromyrmex lobicornis* (Formicidae: Attini) en un pastizal del Parque Nacional LihuéCalel, La Pampa, Argentina. *Ecol. Austral*, 6, 123-126.
- PLAN-MAPA-DE-SUELOS (1986). Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Feliciano, Provincia de Entre Ríos, Convenio INTA Gobierno de Entre Ríos.
- PODEROSO, J.C.M., GENÉSIO, T.R., GONÇALVES, G.B., MENDONÇA, P.D., POLANCZYK, R.A., ZANETTI, R., SERRÃO, J.E., ZANUNCIO, J.C. (2009). Nest and Foraging Characteristics of *Acromyrmex landoltibalzani* (Hymenoptera: Formicidae) in Northeast Brazil. *Sociobiology* 54(2):361-371.
- RAIGNIER, A. y BOVEN VAN, J. (1955). Étude taxonomique, biologiques et biométrique des *Dorylus* du sous-genre *Anomma* (Hymenoptera Formicidae). . *Ann. Mus. R. Congo Belge Nouv. Ser. Quarto Sci. Zool.*, 2, 359.
- RAZIN, N., ECKMANN, J., FEINERMAN, O. (2013) Desert ants achieve reliable recruitment across noisy interactions. *J R Soc Interface*. 10(82):20130079.
- REIS, M.A., ARANTES RODRIGUES CUNHA, J.P., ZANETTI, R., VIQUE FERNANDES, B., RODRIGUES REIS, J.M. (2015). Aplicação sistemática mecanizada de iscaformicida granulada em eucaliptais em fase de manutenção. *Cerne*. 21(3):423-428.
- REIS, M.A., ZANETTI, R., SOARES SCOLFORO, J.R., FERREIRA, M.Z. (2010). Amostragem de formigas-cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais pelos métodos de transecto sem faixa e em linha. *Árvore* 34(6):1101-1108

- ROBINSON, E.J.H., RICHARDSON, T.O., SENDOVA-FRANKS, A.B., et al. (2009) Radio tagging reveals the roles of corpulence, experience and social information in ant decision making. *BehavEcolSociobiol* 63: 627-636.
- ROBINSON, S.W.; FOWLER, H.G. (1982). Foraging and pest potential of Paraguayan grass-cutting ants (*Atta* and *Acromyrmex*) to the cattle industry. *J ApplEntomol* 93:42-54.
- ROCES, F. y LIGHTON, J. R. B. (1995). Larger bites of leaf-cutting ants. *Nature*, 373, 392-393.
- ROJAS, A. y SALUSO, J. H. (1987). Informe Climático de la Provincia de Entre Ríos. Publicación Técnica N° 14, INTA EEA Paraná. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- ROOM, P. M. (1971). The relative distributions of ant species in Ghana's cocoa farms. *J. Anim. Ecol.*, 40(3), 735-751.
- RÖSCHARD, J. y ROCES, F. (2003). Fragment-size determination and size-matching in the grass-cutting ant *Atta vollenweideri* depend on the distance from the nest. *J. Trop. Ecol.*, 19, 647-653.
- SHEN, M., SZYSZKA, P., DEUSSEN, O., et al. (2015) Automated tracking and analysis of behavior in restrained insects. *J Neurosci Methods* 239:194-205
- SÖRENSEN, U. y SCHMIDT, G. H. (1987). Vergleichende Untersuchungen zum Beuteeintrag der Waldameisen (Genus: *Formica*, Hymenoptera) in der Bredstedter Geest (Schleswig-Holstein). *Z. Angew. Entomol. = J. Appl. Entomol.*, 103, 153-177.
- SOUSA-SOUTO, L., SCHOEREDER, J. H., SCHAEFER, C. E. G. R. y SILVA, W. L. (2008). Ant nests and soil nutrient availability: the negative impact of fire. *J. Trop. Ecol.*, 24(6), 639-646.
- STERNBERG, L. D. S. L., PINZON, M. C., MOREIRA, M. Z., MOUTINHO, P., ROJAS, E. I. y HERRERE, E. A. (2007). Plants use macronutrients accumulated in leaf-cutting ant nests. *Proc. R. Soc. London B Biol. Sci.*, 274(1608), 315-321.
- TALBOT, M. (1976 (1975)). A list of the ants (Hymenoptera: Formicidae) of the Edwin S. George Reserve, Livingston County, Michigan. *Great Lakes Entomol.*, 8, 245-246.
- URBAS, P., ARAÚJO JR., M. V., LEAL, I. R. y WIRTH, R. (2007). Cutting more from cut forests: Edge effects on foraging and herbivory of leaf-cutting ants in Brazil. *Biotropica*, 39(4), 489-495.
- VAN PELT, A. F. (1956). The ecology of the ants of the Welaka Reserve, Florida (Hymenoptera: Formicidae). *Am. Midl. Nat.*, 56, 358-387.
- VASCONCELOS, H. L. y FOWLER, H. G. (1990). Foraging and fungal substrate selection by leaf-cutting ants. (pp. 410-419). En: VANDER MEER, R. K., JAFFE, K. y CEDENO, A. (Comp.) *Applied myrmecology, a world perspective*. Boulder, CO. 741 p.: Westview Press.
- VILLACIDE, J., CORLEY, J. (2009). Riesgo potencial de la hormiga cortadora de hojas *Acromyrmex lobicornis* para las plantaciones forestales de la Patagonia. Serie Técnica: Manejo Integrado de Plagas Forestales. Cuadernillo N°6. ISSN: 1851-4103. 15 pp.
- WEBER, N. A. (1966). Fungus-growing ants and soil nutrition. *Progressos en Biología del suelo*. Actas del 1st Coloquio Latinoamericano Biología del Suelo. (Bahia Blanca, Argentina) UNESCO, Montevideo, Monografía 1: 221-256.
- WEBER, N. A. (1969). A comparative study of the nests, gardens and fungi of the fungus-growing ants, Attini. (pp. 299-307). En: ERNST, E. y AL., E. (Comp.) *Proceedings of the VI Congress of the International Union for the Study of Social Insects*, Bern 15-20 September 1969. Bern. 309 p.: Organizing Committee of the VI Congress IUSSI.

- WEBER, N. A. (1972). Gardening ants, the attines, Philadelphia, Memoirs of the American Philosophical Society.
- WILSON, E. O. (1971). The insect societies, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- WIRTH, R., HERZ, H., RYEL, R. J., BEYSCHLAG, W. y HOLLOBLER, B. (2003). Herbivory of leaf-cutting ants. A case study on *Atta colombica* in the tropical rain forest of Panama, Berlin, Heidelberg, Springer.
- WIRTH, R., MEYER, S. T., ALMEIDA, W. R., ARAÚJO, M. V., JR., BARBOSA, V. S. y LEAL, I. R. (2007). Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic Forest. *J. Trop. Ecol.*, 23(4), 501-505.
- ZANETTI, R. (2007). Manejo integrado de . Notas de Aula de Entomologia, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 15 p.
- ZANETTI, R., JAFFÉ, K., VILELA, E.F., ZANUNCIO, J.C., LEITE, H.G. (2000a) Efeito da densidade e do tamanho de saúvas sobre a produção de madeira eucaliptais. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 29:105-117
- ZANETTI, R., VILELA, E.F., ZANUNCIO, J.C., LEITE, H.G., FREITAS, G.D. (2000b) Influência da espécie cultivada e da vegetação nativa circundante na densidade de saúvas eucaliptais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:1911-1918.
- ZANETTI, R., ZANUNCIO, J. C., SANTOS, J. C., SILVA, W. L. P. D., RIBEIRO, G. T. y LEMES, P. G. (2014). An overview of integrated management of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian forest plantations. *Forests*, 5(3), 439-454.
- ZANETTI, R., ZANUNCIO, J.C., MAYHÉ NUNES, A.J., MEDEIROS, A.G.B., SOUZA SILVA, A. (2003) Combate sistemático de formigas cortadeiras comiscas granuladas, eucaliptais com cultivo mínimo. *Revista Árvore*, 27:387-392
- ZANETTI, R., ZANUNCIO, J.C., SOUZA-SILVA, A., MENDONÇA, L.A., SOUSA MATTOS, J.O., RIZENTAL, MS. (2006). Eficiência de productos termonebulígenos no controle de *Atta laevigata* (Hymenoptera: Formicidae) em plantio de eucalipto. *Ciência e Agrotecnologia* 32(4)
- ZANETTI, R., ZANUNCIO, J.C., VILELA, E.F., LEITE, H.G., DELLA LUCIA, T.M.C., COUTO, L. (1999) Efeito da espécie de eucalipto e da vegetação nativa circundante sobre o custo de combate a saúvas eucaliptais. *Revista Árvore*, 23:321-325.
- ZANUNCIO J.C., LEMES P., ANTUNES L.R., MAIA J.L., MENDES J.E.P., TANGANELLI K.M., SALVADOR J.F., SERRÃO J.E. (2016). The impact of the Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy on the management of leaf-cutting ants and termites in certified forests in Brazil. *Annals of Forest Science* 73:205-215.
- ZAYAS, I., FLINN, P. (1998) Detection of insects in bulk wheat samples with machine vision. *Trans ASAE AmericanSocAgricEng* 41:883-888.
- AMANTE, E. (1967a) Prejuízos causados pela formigas aúva em plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* no Estado de São Paulo. *Silvicultura* 6:355-363

PID 2233

Denominación del Proyecto

Estudio ecológico de los ritmos de forrajero de hormigas cortadoras en ambientes naturales y antrópicos de la mesopotamia argentina.

Director

Julián Alberto SABATTINI

Codirector

Juan Manuel RETA

Unidad de Ejecución

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Dependencia

Departamento de Ciencias de la Tierra

Contacto

julian.sabattini@uner.edu.ar

Cátedra/s, área o disciplina científica

Ecología de los Sistemas Agropecuarios

Integrantes del proyecto

Integrantes docentes: Juan I. Cerrudo; Albano Peñalva, Rafael A. Sabattini, Mariana B. Toffoli. Integrante Externo: Martín Bollazzi (Entomología FA-UdelaR). Integrantes becarios de formación vinculados al PID: Matías Giménez; Agustina M. González; Estefanía Moreyra.

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

04-2021 al 04-2024.

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N°378/23 (01-11-2024)