

Automatic system for the administration of antiparasitic capsules in troughs

Ayrton Tomás Valdés ¹ and Juan Toloza ² and Lucas Leiva ² and Marcelo Tosini ² and Martín Vázquez ²

¹ Departamento de Computación y Sistemas, UNICEN, Tandil, 7000, Argentina

² LabSET - INTIA, UNICEN, Tandil, 7000, Argentina
lleiva@labset.exa.unicen.edu.ar

Abstract. The development of an automatic system for administering antiparasitic capsules in troughs represents an innovative solution for the biological control of gastrointestinal nematodes in sheep through the use of the fungus *Duddingtonia flagrans*. This technique complements or replaces traditional chemical treatments, which present limitations such as anthelmintic resistance and the presence of residues in animal-derived products. The main objective is the application of the fungus in extensive production systems, where frequent contact with animals is limited. To achieve this, alginate capsules are used to protect the fungal spores as they pass through the digestive system, allowing their subsequent release in the feces, where they capture parasitic larvae. The proposed system is based on an IoT architecture that integrates sensors, computer vision, and automatic dosing of these capsules. An ultrasonic sensor monitors the water level in the trough, while a camera captures images that are processed by an algorithm to estimate the coverage of capsules on the surface. Based on this analysis, an automatic dispenser releases the required number of capsules to reach the desired level. The entire system can be configured and monitored remotely through an API, which also enables the generation of alerts and data logs. This solution allows the biological control strategy to be scaled efficiently, reducing operational costs and improving production sustainability by decreasing dependence on chemical treatments.

Keywords: IoT, *Duddingtonia flagrans*, AgTech, Computer Vision.

Sistema automático de administración de cápsulas antiparasitarias en bebederos

Resumen. El desarrollo de un sistema automático para la administración de cápsulas antiparasitarias en bebederos constituye una solución innovadora para el control biológico de nematodos gastrointestinales en ovinos mediante el uso del hongo *Duddingtonia flagrans*. Esta técnica complementa o reemplaza los tratamientos químicos tradicionales, que presentan limitaciones como la resistencia antihelmíntica y la presencia de residuos en productos de origen animal. El objetivo principal es facilitar la aplicación del hongo en sistemas

extensivos, donde el contacto frecuente con los animales es limitado. Para ello, se utilizan cápsulas de alginato que resguardan las esporas del hongo durante su paso por el sistema digestivo, permitiendo su posterior liberación en la materia fecal, donde capturan las larvas parasitarias. El sistema propuesto se basa en una arquitectura IoT que integra sensores, visión computacional y dosificación automática de las cápsulas. Un sensor de ultrasonido monitorea el nivel de agua en el bebedero, mientras que una cámara captura imágenes que son procesadas por un algoritmo para estimar la cobertura de cápsulas en la superficie. A partir de este análisis, un dosificador automático libera la cantidad necesaria de cápsulas para alcanzar el nivel deseado. Todo el sistema es configurable y monitoreado de forma remota mediante una API, permitiendo además la generación de alertas y registros. La solución permite escalar la aplicación del control biológico de manera eficiente, reduciendo costos operativos y mejorando la sostenibilidad productiva al disminuir la dependencia de tratamientos químicos.

Palabras clave: IoT, *Duddingtonia flagrans*, AgTech, Visión Computacional.

1 Introducción

La adopción de tecnologías de automatización y monitoreo en el sector agropecuario ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia productiva, optimizar el uso de los recursos y reducir los costos operativos. En este contexto, la incorporación de sensores, sistemas embebidos, plataformas de monitoreo remoto y herramientas de análisis de datos permite obtener información en tiempo real sobre distintos aspectos de las cadenas productivas. Estas tecnologías facilitan el seguimiento de variables ambientales, el control de procesos y la supervisión del estado sanitario de los animales, contribuyendo a una gestión más precisa y eficiente de las explotaciones agropecuarias. Además, su implementación resulta especialmente relevante en sistemas extensivos, donde el monitoreo directo y permanente por parte del productor suele ser limitado.

Entre los diversos desafíos que enfrenta la producción ganadera, las parasitosis gastrointestinales constituyen un problema sanitario que afecta la productividad, particularmente en animales jóvenes. Estas infecciones pueden provocar pérdidas significativas asociadas a la disminución de la ganancia de peso y reducción en la eficiencia alimenticia. Tradicionalmente, el control de estos parásitos se basa en el uso de fármacos antihelmínticos, pero el uso frecuente e intensivo de estos tratamientos genera problemas crecientes de resistencia parasitaria, además de la posibilidad de dejar residuos químicos en productos de origen animal. La resistencia antihelmíntica en animales de producción es un serio problema del mundo (Anziani y Fiel., 2014, Toro et al., 2014). En ovinos lecheros se detectó resistencia múltiple a ivermectina, febendazole y closantel (Muchiut et al., 2013) y al monepantel (Illanes et al., 2018). La presencia de resistencia antihelmíntica en ovinos resulta en una reducción en el valor de la res de un 14% (Sutherland et al., 2010).

Ante estas limitaciones, en los últimos años se han desarrollado estrategias alternativas orientadas al control biológico de los parásitos. En este marco, el hongo nematófago *Duddingtonia flagrans* ha demostrado ser una herramienta eficaz para el

control de nematodos gastrointestinales (Zegbi, 2019). Este microorganismo posee la capacidad de desarrollarse en las heces de los animales y capturar las larvas de los parásitos presentes en el ambiente, interrumpiendo así su ciclo biológico. Debido a estas características, su utilización se considera una tecnología sustentable o “limpia”, ya que no produce residuos en los animales ni en el ambiente, lo que representa una ventaja significativa frente a los métodos químicos tradicionales (Saumell, 2016).

En el mercado internacional existen algunos productos comerciales que incorporan *D. flagrans*, generalmente formulados como suplementos nutricionales destinados a ser suministrados junto con la alimentación del ganado (Healey, 2019; Braga, 2020). No obstante, este tipo de estrategia presenta ciertas limitaciones en sistemas productivos extensivos, como los predominantes en muchas regiones ganaderas, donde la suplementación controlada no siempre resulta viable o práctica. En este contexto, la administración del hongo a través del agua de bebida surge como una alternativa innovadora que permite una distribución más simple y continua del agente biológico entre los animales (Guerrero, 2017).

Para implementar este enfoque, las clamidosporas de *D. flagrans* son encapsuladas en alginato de sodio, formando cápsulas que protegen al microorganismo durante su tránsito por el tracto gastrointestinal del animal. Este proceso de encapsulamiento garantiza que las esporas puedan ser liberadas en las heces, donde el hongo puede desarrollarse y ejercer su acción de control sobre las larvas parasitarias presentes en el ambiente (Vilela, 2012). De esta manera, el uso de cápsulas permite mejorar la efectividad de la estrategia de control biológico y facilitar su administración en condiciones productivas reales. Sin embargo, la administración de las cápsulas es uno de los principales parámetros limitantes al momento del desarrollo de esta tecnología para su aplicación masiva en los establecimientos ganaderos, ya que son sistemas extensivos de producción y su aplicación requiere administración y monitoreo constante por parte de operarios.

A fin de presentar una solución a este problema, este trabajo presenta el desarrollo de un sistema embebido que permite monitorear el nivel del agua en bebederos para ovinos mediante sensores, capturar y analizar imágenes para estimar la cobertura de cápsulas y realizar, en caso de ser necesario, la dosificación automática de la cantidad requerida de producto para asegurar el tratamiento de control biológico (CB) de nematodos gastrointestinales a partir de la ingestión de dichas cápsulas. El sistema se basa en una solución automatizada para la supervisión del nivel de agua y la administración de cápsulas de alginato en los bebederos de ovinos. La propuesta es una primera aproximación al sistema final y está diseñada para operar de forma autónoma, con escasa intervención humana después de su configuración, y para funcionar de manera continua en una microcomputadora Raspberry Pi 3, que utiliza un sistema operativo Linux.

El sistema principal está desarrollado en Python y está compuesto por varios módulos que interactúan entre sí. Estos módulos no solo facilitan la captura de datos a través de distintos sensores, sino que también permiten realizar el análisis de imágenes del bebedero, ejecutar acciones físicas como la dosificación del producto, y exponer una API para la gestión y supervisión remota.

2 Desarrollo

El desarrollo del sistema propuesto para la administración automática de cápsulas antiparasitarias se basa en una arquitectura IoT compuesta por tres niveles principales: monitoreo remoto, sistema embebido y dispositivos de campo (Figura 1). En el nivel de dispositivo de campo se encuentran los sensores y actuadores encargados de interactuar con el entorno físico, incluyendo el sensor ultrasónico para medir el nivel de agua, la cámara para la captura de imágenes del bebedero y el dosificador automático de cápsulas. Estos dispositivos son controlados por un sistema embebido responsable del procesamiento de imágenes, el análisis de cobertura de cápsulas y la lógica de dosificación. Finalmente, el sistema expone una API REST que permite su monitoreo y configuración remota, facilitando el acceso a registros, imágenes y alertas generadas durante su funcionamiento.

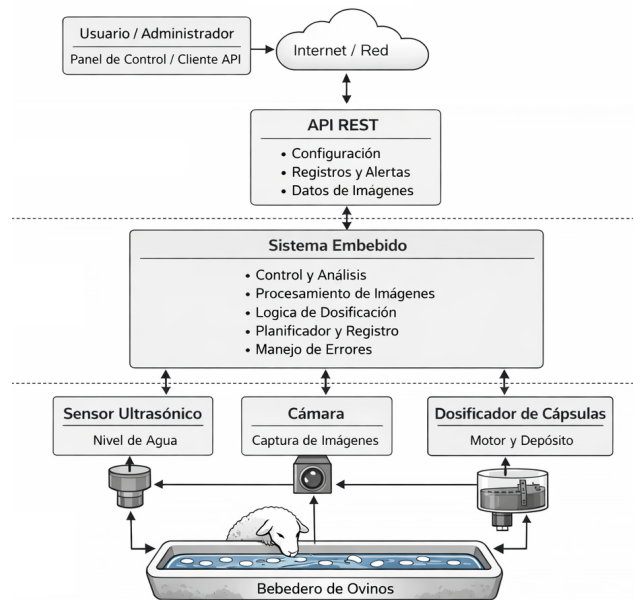


Fig. 1. Arquitectura general del sistema de dosificación de cápsulas de alginato en bebederos.

Los componentes hardware del sistema son: una Raspberry Pi 3 modelo B, que actúa como la unidad de control principal, ejecutando tanto el sistema operativo como el software encargado del funcionamiento, un sensor de ultrasonido HC-SR04 que permite medir la distancia entre el dispositivo y el agua para estimar el nivel de llenado del bebedero, y una cámara OV5647 con un lente de 3,6mm IR de 1080p para capturar imágenes del bebedero cuando sea necesario, con el fin de realizar análisis de cobertura o supervisión.

2.1 Arquitectura Software del Sistema Embebido

El sistema se desarrolló en Python 3 debido a su facilidad de uso, amplia comunidad y compatibilidad con Raspberry Pi. Se utilizó FastAPI como framework para la API REST, ya que permite una comunicación rápida, validación de datos con pydantic y generación automática de documentación. Para el análisis de imágenes se empleó OpenCV, que brinda un conjunto de algoritmos optimizados para la visión por computadora. El control de hardware se realizó mediante RPi.GPIO, que permite la manipulación directa de pines GPIO del dispositivo. Además, se usaron módulos estándar de Python como logging, json, y os para manejo de archivos, registro de eventos y acceso al sistema operativo.

El sistema embebido propuesto fue desarrollado en Python siguiendo una arquitectura modular, con el objetivo de mejorar la mantenibilidad, escalabilidad y robustez del sistema. Esta organización permite desacoplar las distintas funcionalidades, facilitando la extensión del sistema y la integración de nuevos componentes. La arquitectura se estructura en cinco módulos principales: *main*, *core*, *utilities*, *error handling* y *send info*, cada uno con responsabilidades específicas dentro del flujo de ejecución, tal como se presenta en la Fig. 2.

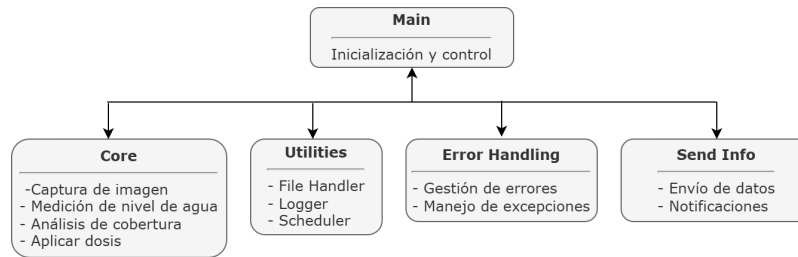


Fig. 2. Arquitectura general del software del sistema embebido.

El módulo *main* actúa como punto de entrada del sistema y es responsable de la inicialización, carga de configuración y coordinación general de los distintos componentes. Este módulo implementa la lógica de orquestación, definiendo la secuencia de ejecución del sistema, desde la adquisición de datos hasta la toma de decisiones y el registro de resultados.

El módulo *core* concentra la lógica funcional principal e interactúa directamente con el entorno físico. Está compuesto por cuatro subcomponentes: (i) el módulo de captura de imágenes, que utiliza una cámara para obtener información visual del bebedero; (ii) el módulo de medición de nivel de agua, basado en un sensor ultrasónico para estimar la cantidad de agua presente en el bebedero; (iii) el módulo de análisis de cobertura, que aplica técnicas de visión computacional para calcular la cobertura de cápsulas en la superficie; y (iv) el módulo de dosificación, encargado de determinar el volumen de cápsulas a liberar a través de un actuador que se encuentra presente en el dosificador.

Las funcionalidades necesarias auxiliares son agrupadas en el módulo *utilities* para el correcto funcionamiento del sistema. Entre ellas se incluyen la gestión de archivos de configuración (*file handler*), el registro de eventos (*logger*) y la planificación de tareas (*scheduler*). Este último permite automatizar la ejecución periódica del sistema y gestionar reintentos en caso de fallos.

El módulo *error handling* implementa un mecanismo centralizado de gestión de errores. A través de un manejador de excepciones, el sistema captura fallos en tiempo de ejecución, registra la información correspondiente, notifica al usuario y programa la reejecución del sistema. Este enfoque mejora la tolerancia a fallos y evita interrupciones abruptas del funcionamiento.

Por último, el módulo *send_info* se encarga de la comunicación externa del sistema. Este componente recopila información relevante, como registros e imágenes generadas, y la envía al usuario mediante distintos mecanismos (por ejemplo, correo electrónico o servicios web), permitiendo el monitoreo remoto del sistema.

2.2 Flujo de Operación del Sistema Propuesto

El flujo de ejecución del sistema comienza con la carga de la configuración, seguida de la medición del nivel de agua y la captura de imágenes. Posteriormente, se realiza el análisis de cobertura y, en caso de ser necesario, se ejecuta la dosificación.

La configuración del sistema define un conjunto de parámetros que regulan su funcionamiento. Entre ellos se incluyen el número de imágenes capturadas que serán analizadas para calcular un valor promedio y estimar la cobertura, el valor objetivo de cobertura a alcanzar, y la programación temporal que determina el intervalo de ejecución del sistema tanto en condiciones normales como ante la ocurrencia de errores, por ejemplo, cuando la presencia de animales interfiere en la captura de imágenes. Asimismo, se establecen los valores límite del sensor asociados a los estados de bebedero vacío y lleno, así como las dimensiones físicas del mismo, lo que permite realizar cálculos volumétricos para estimar la cantidad de agua, expresada en litros, disponible en un momento determinado.

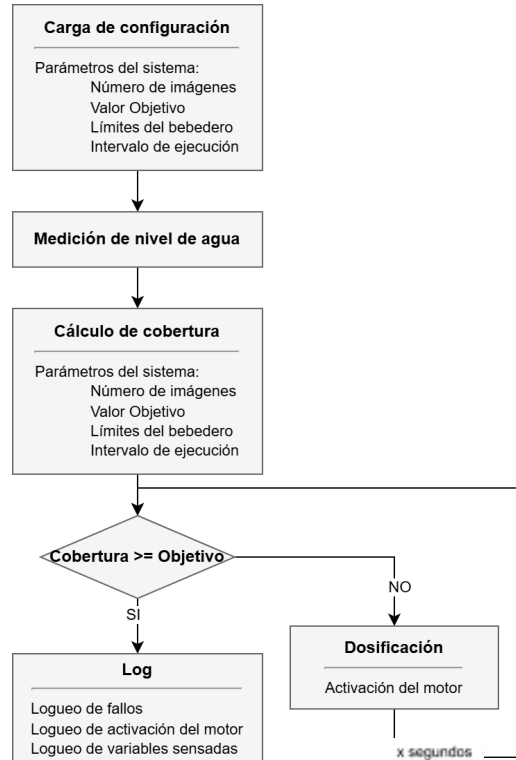


Fig. 3. Flujo de ejecución del sistema propuesto.

El cálculo de valor de cobertura de cápsulas en el bebedero se realiza acorde al método de procesamiento de imágenes presentado en (Carbajo, 2024). El algoritmo comienza con una etapa de preprocesamiento, en la que realiza una expansión de contraste y corrige la distorsión producida por la lente de la cámara mediante la función *Undistort* de OpenCV. En esta etapa además, se reduce el ruido aplicando un filtro *Gaussian Blur*. La siguiente etapa se encarga de realizar la detección del bebedero, utilizando el detector de bordes Canny y la transformada de Hough para identificar las líneas rectas que delimitan su contorno. Esto habilita al sistema a continuar operando incluso ante desplazamientos propios de la cámara en el entorno (viento, golpes, etc). Esta información es utilizada para realizar la extracción de la región de interés (bebedero), reduciendo así el área de análisis y mejorando la eficiencia del algoritmo. Posteriormente, la detección de cápsulas se lleva a cabo mediante segmentación basada en un filtro de textura de Gabor, y una binarización mediante el método de Otsu para segmentar las cápsulas presentes en la imagen. Finalmente, la etapa de estimación de cobertura calcula el porcentaje de píxeles blancos respecto del total en la imagen binaria, siendo este valor el nivel de cobertura de cápsulas en el bebedero y que puede utilizarse tanto para informar a los operadores como para alimentar al sistema automático de dosificación. El tiempo máximo de ejecución del algoritmo de cobertura sobre la plataforma propuesta es de 13.2 segundos.

La dosificación automática se activa mediante un motor controlado por los pines GPIO de la Raspberry Pi cuando la cobertura de cápsulas es inferior al objetivo configurado. El procedimiento inicia con una activación de prueba de 10 segundos seguida de un ciclo de espera de 120 segundos para permitir que las cápsulas alcancen un estado de equilibrio en el agua y evitar lecturas erróneas por turbulencia. Posteriormente, el sistema calcula una Tasa de Incremento (T_i) comparando la cobertura nueva con la anterior para estimar el tiempo de motor adicional necesario, empleando una estrategia dinámica de ciclos iterativos con un margen de error del 0.1% para evitar la sobredosificación. Para garantizar la seguridad, se limita la activación a 20 segundos por ciclo y se implementa la excepción *DosifyNotWorking* si no se detecta un aumento en la cobertura (indicando posibles bloqueos o falta de suministro), registrando cada paso en el log para su supervisión remota vía API. Todas las acciones realizadas durante el proceso de dosificación son registradas en el sistema de logs, incluyendo el porcentaje de cobertura inicial, los tiempos de activación del motor y los resultados obtenidos en cada iteración.

2.3 Interfaz software

El sistema incorpora una API que permite la interacción remota con el dispositivo embebido, facilitando tanto la supervisión como la configuración del sistema. Esta interfaz ofrece un conjunto de servicios accesibles mediante *endpoints* para consultar información del estado del sistema, gestionar su configuración y acceder a los datos generados durante su funcionamiento. De esta manera, actúa como una capa de comunicación posibilitando su integración con plataformas de monitoreo remoto o sistemas de gestión.

Una de las funcionalidades principales de la API es la gestión de la configuración del sistema. A través de *endpoints* específicos es posible consultar los parámetros actuales de operación y modificar aquellos valores asociados al funcionamiento del dispositivo. Entre estos parámetros se incluyen los intervalos de ejecución del sistema, los umbrales de cobertura de cápsulas que determinan cuándo se debe activar el proceso de dosificación, y parámetros de configuración específicos del algoritmo de procesamiento de imágenes. Esta capacidad de configuración remota brinda la capacidad de adaptar el comportamiento del sistema a diferentes condiciones de operación sin necesidad de intervenir físicamente sobre el dispositivo.

Además de la gestión de configuración, la API proporciona mecanismos para acceder al estado actual del sistema. Esto incluye información relevante proveniente de los sensores y de los módulos de procesamiento, como el nivel de agua estimado en el bebedero, los resultados del análisis de cobertura de cápsulas obtenido a partir de las imágenes capturadas y el estado de ejecución de los distintos módulos que componen el sistema embebido. El acceso a esta información aporta capacidad de monitoreo continuo del estado del sistema, así como detectar posibles anomalías o condiciones de operación no deseadas.

Por medio de esta interfaz también es posible el acceso a los registros de operación (logs). Estos registros contienen información detallada sobre los eventos ocurridos, incluyendo el inicio y finalización de procesos, resultados de análisis, acciones de dosificación realizadas y errores detectados. La disponibilidad de estos datos resulta

fundamental para tareas de diagnóstico, mantenimiento y evaluación del desempeño del sistema a lo largo del tiempo.

Asimismo, la API permite acceder a las imágenes capturadas por el sistema de visión. Estas imágenes pueden ser utilizadas para verificar visualmente el estado del bebedero, validar los resultados obtenidos por los algoritmos de análisis de cobertura o realizar análisis posteriores. Esta funcionalidad resulta particularmente útil para la supervisión remota del sistema en entornos productivos donde el acceso físico al dispositivo puede ser limitado.

Finalmente, incorpora mecanismos para la generación y envío de alertas hacia el usuario o administrador del sistema. Estas alertas pueden generarse ante diferentes eventos, como niveles de cobertura de cápsulas inferiores a los valores establecidos, fallos en sensores, errores durante la ejecución del sistema o problemas en la comunicación. De esta manera, permite notificar situaciones que requieren atención, contribuyendo a mejorar la confiabilidad y la capacidad de respuesta ante posibles fallos.

3 . Conclusiones

En este trabajo se presentó el diseño y desarrollo de un sistema embebido orientado al monitoreo y gestión de la administración de cápsulas de *D. flagrans* en bebederos destinados a la producción ovina. La propuesta integra técnicas de visión por computadora, sensado mediante dispositivos electrónicos y mecanismos de comunicación remota, con el objetivo de facilitar la implementación de estrategias de control biológico de nematodos gastrointestinales en sistemas productivos.

El sistema fue diseñado siguiendo una arquitectura modular basada en un sistema embebido programado en Python, lo que facilita su mantenimiento, extensión e integración con nuevos componentes. La organización en distintos módulos funcionales permite separar las tareas de adquisición de datos, procesamiento de imágenes, gestión de errores, registro de eventos y comunicación externa, logrando una estructura escalable. Esta arquitectura también posibilita la incorporación futura de nuevos sensores, algoritmos de análisis o mecanismos de control sin modificar significativamente la estructura general del sistema.

Otro aspecto relevante del trabajo es la incorporación de una interfaz de programación de aplicaciones que permite acceder de forma remota a la información generada por el sistema, incluyendo parámetros de configuración, registros de operación e imágenes capturadas. Esta funcionalidad habilita el monitoreo remoto del dispositivo y facilita su integración con plataformas externas de supervisión y gestión, contribuyendo a mejorar la trazabilidad y el seguimiento del funcionamiento del sistema en entornos productivos.

Como líneas de trabajo futuro, se plantea la integración completa en ambientes productivos reales, de manera que el proceso de administración de cápsulas pueda realizarse de forma completamente autónoma. Asimismo, se prevé la incorporación de mejoras en los algoritmos de análisis de imágenes, la evaluación del sistema en condiciones de campo durante períodos prolongados y la integración con plataformas IoT que permitan centralizar la gestión de múltiples dispositivos distribuidos en diferentes establecimientos productivos.

Referencias

- Zegbi, S., Sagüés, M. F., Saumell, C. A., Iglesias, L. E., Guerrero, I., & Fernández, A. S. (2019). Efficacy of different concentrations of *Duddingtonia flagrans* chlamydospores against different levels of faecal Egg counts of cattle gastrointestinal nematodes.
- Saumell, C. A., Fernández, A. S., Echevarria, F., Gonçalves, I., Iglesias, L., Sagüés, M. F., & Rodríguez, E. M. (2016). Lack of negative effects of the biological control agent *Duddingtonia flagrans* on soil nematodes and other nematophagous fungi. *Journal of Helminthology*, 90(6), 706-711.
- Healey, K., Lawlor, C., Knox, M. R., Chambers, M., Lamb, J., & Groves, P. (2018). Field evaluation of *Duddingtonia flagrans* IAH 1297 for the reduction of worm burden in grazing animals: Pasture larval studies in horses, cattle and goats. *Veterinary parasitology*, 258, 124-132.
- Braga, F. R., Ferraz, C. M., da Silva, E. N., & de Araújo, J. V. (2020). Efficiency of the Bioverm®(*Duddingtonia flagrans*) fungal formulation to control in vivo and in vitro of *Haemonchus contortus* and *Strongyloides papillosus* in sheep. *3 Biotech*, 10(2), 62.
- Guerrero, I., García, M. C., Sagüés, M. F., Zegbi, S., Fernández, A. S., Iglesias, L. E., & Saumell, C. A. (2017). Desarrollo de una forma de administración de *Duddingtonia flagrans* mediante la técnica de bioencapsulación para su potencial utilización en control biológico.
- Vilela, V. L. R., Feitosa, T. F., Braga, F. R., de Araújo, J. V., de Oliveira Souto, D. V., da Silva Santos, H. E., ... & Athayde, A. C. R. (2012). Biological control of goat gastrointestinal helminthiasis by *Duddingtonia flagrans* in a semi-arid region of the northeastern Brazil. *Veterinary Parasitology*, 188(1-2), 127-133.
- Anziani, O. S., Fiel, C. A. (2014). Resistencia a los antihelmínticos en nematodos que parasitan a los rumiantes en la Argentina. *Revista RIA*, 41, 34-46.
- Toro, A., Rubilar, L., Palma, C., Pérez, R. (2014). Anthelmintic resistance of gastrointestinal nematode in sheep treated with ivermectin and fenbendazole. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 46(2), 247-252.
- Muchiut, S., Mildemberger, M., Pujato, A., Anziani, O. S. (2013). *Haemonchus contortus* con resistencia múltiple a los antihelmínticos de corta y larga acción y consideraciones sobre el impacto sanitario-productivo de este fenómeno en una majada de ovinos lecheros de la provincia de Santa Fe. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 12(1/2), 77-85.
- Illanes, F. A., Romero, J. R., Niño Uribe, A. I., Pruzzo, C. I. (2018). Primer informe de resistencia antihelmíntica a monepantel en ovinos de la provincia de Corrientes, Argentina. *Revista Veterinaria Argentina*, 35(N°368).
- Sutherland, I. A., Shaw, J., Shhaw, R. J. (2010). The production costs of anthelmintic resistance in sheep managed within a monthly preventive drench program. *Veterinary Parasitology*, 171(3- 4), 300-304.
- Carbajo, E., Leiva, L., Toloza, J., Vázquez, M., Fernández, S., Sagüés, F., ... & Saumell, C. (2024). Automated Parasite Control System Prototype Through Capsule Dosage Based on Image Processing. *IEEE Embedded Systems Letters*, 16(3), 303-306.