

23. Tecnologías de la Información y Comunicación

Plataforma robótica a campo autodirigida mediante visión artificial

Martín Faroppa¹; Lucas Benjamin Cicerchia^{2,3}; Sandra Serafino³

{martin.faroppa, lucas.cicerchia, sandra.serafino}@itt.unnoba.edu.ar

Instituto de Investigación y Transferencia en Tecnología (ITT), Centro Asociado a la
Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (CIC)

¹ Becario del Proyecto de Mejoramiento a las carreras de Informática (PROMINF) de
UNNOBA

² Becario Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)

³ Docente Investigador del Instituto de Investigación y Transferencia en Tecnología (ITT)

Resumen

La recopilación de datos sobre cultivos a campo comprende tareas como el monitoreo sistemático, el análisis y la evaluación de los datos relevados (RMAE). Dichas tareas requieren de una amplia planificación metodológica, tiempo de observación y de una gran capacidad para el manejo de enormes volúmenes de datos. Los avances tecnológicos en áreas como la robótica, visión artificial, sensores, comunicación y conectividad han reducido efectivamente los desafíos asociados con la recopilación remota de datos y los sistemas de RMAE.

La presente línea busca desarrollar una plataforma robótica móvil terrestre que sea capaz de recorrer un campo mediante navegación por visión artificial, lo cual a futuro podrá facilitar no sólo la recolección de datos de un cultivo a lo largo de la evolución del mismo, sino también el monitoreo y evaluación posterior de los mismos. Para determinar el diseño de la plataforma se realizó un análisis de las diferentes de plataformas a campo existentes buscando que solucionen este tipo de problemáticas u otras similares. También se realizó el análisis y el diseño de la estructura de la plataforma y la tecnología que esta llevaría en base a los requerimientos específicos del proyecto. Esto derivó en el desarrollo de un prototipo sobre el cual se hicieron diferentes tipos de pruebas satisfactorias para la solución de la problemática planteada, que han permitido iniciar la implementación de la misma.

Palabras clave: Plataforma de Fenotipado, sensores, procesamiento digital, imágenes, robótica.

Introducción

La UNNOBA desde hace años viene incursionando en el área de trabajo de la presente línea de investigación. Por un lado, en robótica aplicando diversas tecnologías como pueden ser la implantación de microcontroladores en sistemas automatizados, la utilización de diferentes sensores y dotando de conectividad a sus desarrollos. Y por el otro, en tecnologías aplicadas a la agricultura, en la recopilación de datos fenotípicos de cultivo a campo a través de utilización de diferentes tipos de tareas como el relevamiento y monitoreo sistemático, el análisis y la evaluación de los datos relevados (RMAE).

En la actualidad se están ejecutando dos proyectos relacionados con la temática, el proyecto “Informática y Tecnologías Emergentes” y el PRITT sobre “Plataforma Robótica Multipropósito Para Navegación Terrestre Con Soporte Aéreo Aplicada A Ensayos A Campo Utilizando Técnicas De Visión Artificial” realizado conjuntamente con el INTA, donde se trabaja en las TICS relacionados al agro. A partir de éste último, se desprende la presente línea de investigación. Allí se trabaja en diferentes desarrollos tecnológicos y Agricultura de Precisión, áreas de estudio que constituyen una herramienta fundamental para lograr un manejo adecuado y preciso del suelo y sus cultivos en base a su variabilidad dentro de un lote, permitiendo

adaptarse a las exigencias de la agricultura moderna.

Está claro que el desarrollo tecnológico debe seguir incorporándose al campo. No sólo en el área de la generación de nuevas maquinarias agrícolas mediante innovación tecnológica, o en el área de nuevos desarrollos genéticos en laboratorio, sino también en la recopilación de datos a campo para la Agricultura de Precisión (AP), el monitoreo, el análisis y evaluación de los mismos (Sistemas RMAE), integrando el uso de nuevas herramienta. Estas tareas requieren de una planificación metodológica, de observación y de capacidad para el manejo de grandes volúmenes de datos. Algunas soluciones plantean la recolección de datos en forma manual mediante tablets o teléfonos celulares, y el uso de sistemas de geoposicionamiento para su registro durante el recorrido de los cultivos en sus diferentes estados evolutivos. Otras soluciones que tienden a la automatización de la recolección de datos se basan en el uso de vehículos aéreos no tripulados, y otros en el uso de plataformas automatizadas o no de sensado a campo. La principal diferencia entre ellos radica en las necesidades surgidas del tipo de dato que se desea recolectar, el período de recolección, la zona de recolección, y el análisis posterior

de esos datos integrados o no a un conjunto histórico relevado.

En este tipo de relevamiento, no sirve la utilización de imagen satelital, excepto en el caso de resultados donde no se requiera obtener detalles acerca del cultivo. En el caso de propuestas que utilizan drones, se resuelve la dificultad de la calidad de la imagen obtenida porque puede administrarse la altura y el uso de diferentes sensores apropiados para el tipo de escena que quiere registrarse. Sin embargo, uno de los problemas detectados es el error asociado a la ubicación y navegación del dispositivo basada en sistemas GPS cuyo error es relevante para determinados datos. Esto imposibilita resolver las problemáticas donde se necesita saber con exactitud cuál es el sector del campo sobre el que se está trabajando (sensando). Para las soluciones que se basan en la utilización de plataformas existen varias experiencias en equipo para laboratorios o invernaderos. A campo en cambio, los desarrollos son menos. Respecto de la navegación algunas opciones utilizan plataformas de recorrido tripuladas y/o sensores montados sobre vehículos de uso agropecuario específico. Otras plataformas se caracterizan por no ser tripuladas pero tampoco de navegación autónoma sino dirigidas.

En el marco del trabajo donde se desempeña el proyecto de investigación

se trabajó la problemática del relevamiento de datos fenológicos a campo de forma automatizada y de bajo costo incorporando el uso de una plataforma con un sistema integrado de navegación y sensado a campo.

La presente línea busca desarrollar una plataforma robótica terrestre que sea capaz de transitar el campo y la incorporación del sistema de navegación autónoma mediante procesamiento de imágenes.

Para determinar el diseño de la plataforma se realizó un análisis de las diferentes de plataformas a campo que existen al respecto y que solucionen este tipo de problemáticas u otras similares. Allí se encontraron diferentes trabajos, algunos desarrollos realizados por empresas privadas, otros por universidades y otros por una combinación de ambos. A continuación se mencionan algunos ejemplos que se consideran mas relevantes.

1. Bosch BONIROB V2 (Paper, Biber, & Bosch, 2013)

Permite obtener datos agronómicos y también es capaz de identificar a la planta y así aplicar pesticidas y fertilizantes de un modo más eficiente. Esta plataforma funciona con un usuario remoto y posee un sistema LIDAR (Light Detection and Ranging, un sistema que mide distintos puntos para armar un modelo 3D simple y

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina
usarlo como guía para el robot) para su navegación autónoma.



Fig. 1 - Operario controlando la BONIROB V2 de Bosch

2. Lemnatec Field-Scanalyzer ("Lemnatec Field-Scanalyzer", 2018)

Esta es una plataforma fija. Es decir, el campo a ser analizado debe ser sembrado justo debajo de esta, dentro de los parámetros y medidas establecidos. Luego, la plataforma es capaz de obtener diferentes datos agronómicos del cultivo gracias a la variedad de cámaras y sensores que posee.



Fig. 2 - La plataforma Field-Scanalyzer analizando un campo de ensayo

3. Agco/Fendt Mars (Fendt, 2018)

Este es uno de los más relevantes que hemos visto. Permite planificar, supervisar y documentar con exactitud la siembra

precisa de maíz con pequeños robots que trabajan en conjunto y comparten los datos recolectados en un medio remoto a través de internet. La navegación por satélite y la gestión de datos mediante internet permiten trabajar las 24 horas del día pudiendo acceder constantemente a todos los datos.



Fig. 3 - Conjunto de robots Mars operando en campo

4. INTA TRAKÜR ("Argentine greenhouse robot", 2012)

Desarrollada por el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), esta es una plataforma autónoma autoguiada para la aplicación de agroquímicos en invernáculos. El Trakür posee un sistema de pulverización hidráulico de fácil calibración que permite aplicar las dosis de producto en forma precisa. El sistema de guiado basa su funcionamiento en la detección electromagnética de una guía que limita su recorrido al circuito predeterminado según la arquitectura del cultivo, evitando la implementación de sistemas sofisticados y muy costosos como GPS, cámaras o radares.



Fig. 4 - Robot de desarrollo nacional en funcionamiento

5. Robotanist (Mueller-Sim, Jenkins, Abel & Kantor, 2017)

Desarrollado por el Instituto de Robótica de Carnegie Mellon University ("The Robotics Institute Carnegie Mellon University : Robotics Education and Research Leader", 2018), es la plataforma que se ha tomado como modelo para el proyecto, ya que permite navegar autónomamente por las hileras de sorgo pudiendo viajar a velocidades de hasta 2 m/s durante más de 8 horas, lo que lo hace ideal para un análisis preciso del campo en cuestión, e ideal para el enfoque de nuestro proyecto. El robot está equipado con LiDAR, RTK GPS (Real Time Kinematic, o navegación cinética satelital en tiempo real), cámaras RGB, unidades de medida inerciales y la potencia informática necesaria para ejecutar algoritmos de percepción y localización en tiempo real. El sistema

cuenta con un brazo capaz de tomar medidas de los tallos de sorgo y es capaz de desplegar una amplia gama de sensores de fenotipado incluyendo una cámara estéreo personalizada sincronizada con lámparas de destello de xenón de alta potencia y una cámara de campo de visión de 180° hacia arriba.



Fig 5 - Robotanist en campo

6. Universidad de Sidney

Debe hacerse una mención especial a la Universidad de Sidney, la cual ha realizado múltiples proyectos de este tipo, utilizando energía solar y una variada gama de sensores. Ejemplos de algunos de sus proyectos son el Ladybird (Sukkarieh, 2014) y RIPPA ("Rippa robot takes farms forward to the future", 2015)



Fig. 6 - Ladybird

La plataforma Ladybird fue diseñada con el propósito de analizar y hacer un modelo 3D de las plantas, almacenando esos datos para después procesarlos con software específico.



Fig. 7 - RIPPA

RIPPA es una versión derivada del Ladybird, haciéndolo más ligero, robusto y sencillo de manejar. También es capaz de atacar directamente a la maleza, detectándola en tiempo real y haciendo la aplicación necesaria, sin afectar al resto de la plantación.

Objetivos

El objetivo del trabajo de investigación es analizar, diseñar y desarrollar una plataforma robótica móvil terrestre que sea capaz de recorrer un campo, que pueda controlado de manera remota y que esté preparado para la incorporación, a futuro, de un sistema de navegación autónoma.

Teniendo como objetivos específicos:

- Relevar información acerca de los diferentes tipos de plataformas móviles terrestres desarrolladas, sean estas tripuladas o no tripuladas.

- Análisis y estudio de tecnologías desarrolladas y aplicadas a plataformas móviles terrestres.
- Estudio de diferentes tipos de sensores que pueden aplicarse a la plataforma a fin de determinar una interfaz de comunicación con el futuro módulo de navegación autónoma que se espera incorporar.
- Analizar y diseñar una plataforma robótica móvil terrestre que se adecue a las necesidades de la superficie que transita.

Materiales y Métodos

1. Primera etapa

En las primeras etapas del proyecto fue necesaria la construcción de un prototipo robótico móvil a menor escala manejado mediante radiocontrol con el fin de generarle una plataforma de prueba a la parte del equipo de trabajo que se encarga del desarrollo del sistema de visión artificial que requerirá el proyecto final. A partir de esto se comenzó a realizar diferentes pruebas donde en una primera etapa se utilizó una plataforma Arduino ("Arduino - Home", 2018), la cual es una placa de desarrollo basada en un microcontrolador, con un entorno de desarrollo (IDE) amigable y sencillo pero con un gran potencial, ya que le permite a los desarrolladores hacer pruebas o diseñar dispositivos de todo tipo. Esta placa se colocó sobre una madera, donde a cada lado se le agregó un motor de corriente continua (DC) de 5v con un

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina

17, 18 y 19 de octubre de 2018

pequeño reductor, y una rueda de giro libre en la parte de atrás. Luego de varias pruebas este diseño fue modificado debido a que la rueda libre oponía demasiada resistencia al avance del robot evitando que este se desplazara correctamente. Luego se incorporaron dos motores más de igual característica en la parte de trasera, además de los dos motores que previamente habían sido instalados, quedando como se puede observar en la Figura 8.

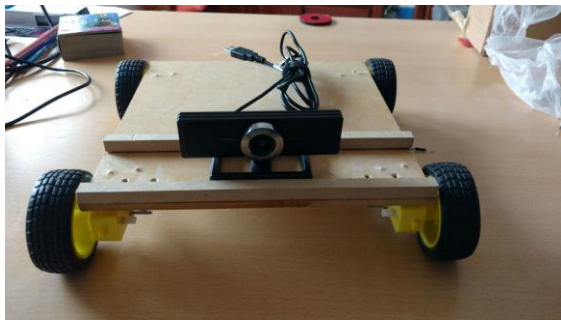


Fig. 8 - Primer prototipo para testeo de visión binocular y control de motores con Arduino

Para el control del prototipo se utilizó un transmisor/receptor radiocontrol (RC) de un pequeño coche RC de juguete. Se utilizó el transmisor tal cuál estaba armado, pero se tuvo que adaptar el receptor porque el mecanismo del coche era totalmente distinto a lo que se necesitaba. Llevó un tiempo estudiar el circuito para saber cual era la lógica de este, luego se conectó a la placa Arduino

y se programó para transformar las señales del receptor en movimiento de los motores. También se le incorporó dos cámaras Genius Widecam F100 ("Genius WideCam F100", 2018) de gran angular para las pruebas de visión como puede verse en la Figura 9.



Fig. 9 - Primer prototipo ya finalizado

2. Segunda etapa

Paralelamente se fue diseñando la estructura de la plataforma móvil, realizando distintos cálculos para saber cuáles motores y baterías debíamos utilizar para la plataforma definitiva que trabajaría en el campo. La estructura que se ideó consistió en caños de PVC, debido al peso, precio, resistencia, y la posibilidad de armar y desarmar la estructura fácilmente. Antes de realizar el armado de la estructura, la misma se diseñó en 3D con el software libre Blender ("Blender - Free and Open 3D Creation Software", 1995) tanto la estructura como el sistema de la rueda con el fin de asegurarnos de que ésta fuera la correcta.

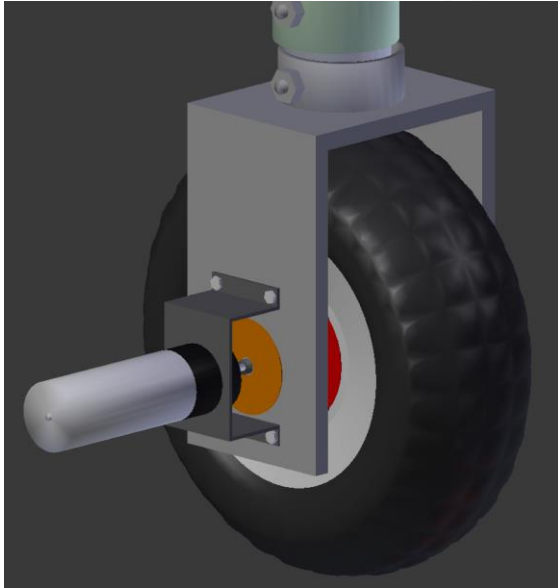


Fig. 10 - Diseño del acople del motor a las ruedas



Fig. 11 - Primeros diseños para la plataforma

A la hora de realizar el cálculo de los motores y la reducción que se necesitarían se recurrió a bibliografía de física (Young, Freedman, Flores Flores, & Sears, 2009) □. Luego se encontró una herramienta online llamada Drive Motor Sizing Tool ("Drive Motor Sizing Tool", 2013) del sitio web RobotShop que

realizaba todos estos cálculos mediante el llenado de un formulario. Por último se constataron los cálculos con alumnos avanzados de la carrera de Ingeniería Mecánica de la universidad.

Input

Total mass:	<input type="text" value="15"/>	Kg
Number of drive motors:	<input type="text" value="4"/>	[#]
Radius of drive wheel:	<input type="text" value="0.13"/>	m
Robot Velocity:	<input type="text" value="0.6"/>	m/s
Maximum incline:	<input type="text" value="20"/>	[deg]
Supply voltage:	<input type="text" value="24"/>	[V]
Desired acceleration:	<input type="text" value="1"/>	m/s ²
Desired operating time:	<input type="text" value="2"/>	hs
Total efficiency:	<input type="text" value="65"/>	[%]

Output (for each drive motor)

Angular Velocity:	<input type="text" value="44.096"/>	rev/min
Torque:	<input type="text" value="33.297"/>	kgf-cm

Fig. 12 - Herramienta que nos sirvió de guía para elegir los motores adecuados

Los parámetros establecidos en el formulario fueron los siguientes:

- El peso total de la plataforma, el cual se calculó en 15 kg sumando el peso de las baterías, los motores, la estructura de PVC y la posible utilización a futuro de un panel solar.
- Se utilizan 4 motores, uno para cada rueda, con el fin de realizar fácilmente el giro sobre su propio eje.
- Se propuso una velocidad de 0.6 m/s (60 cm/s) porque se consideró un buen balance entre gasto energético, torque necesario para mover la plataforma y una buena velocidad para la captura de

imágenes, sin sacrificar tiempo de ejecución (tiempo que tarda en hacer el recorrido y tomar todas las imágenes necesarias)

- Se tomó como referencia una inclinación de 20° y una aceleración inicial (desde parado hasta máxima velocidad) de 1 m/s^2 para estar preparados para la peor situación posible en campo.

A partir de estos parámetros se obtiene que cada motor debe tener un torque aproximado de 33.3 kgf-cm y rotar a 44 RPM . En el mercado encontramos motores con reducción de 44 RPM y un torque de 38 kgf-cm , modelo MR08D-024022 de la empresa IGNIS ("IGNIS MOTOR", 2018), por lo que elegimos esos motores y consideramos estar cubiertos para las situaciones más adversas en



terrenos de tierra.

Fig. 13 - Primera plataforma en proceso de armado y prueba

3. Tercera etapa

Es evidente que toda la plataforma dependerá de una fuente de alimentación

de corriente continua. Para esto se decidió optar por dos baterías de 12v conectadas en serie para poder abastecer a los motores de 24v .

Un factor a decidir es cuanta autonomía requerirá la plataforma para realizar un análisis a campo completo. Para poder obtener un equilibrio entre autonomía y peso del pack de baterías (ya que el peso influye en la fuerza que hacen los motores y por ende en el consumo) se ha tomado como referencia una autonomía de funcionamiento de 2hs a máxima potencia, lo que quiere decir que se necesitarán unas baterías que puedan generar $12\text{v } 5\text{Ah}$. Esto es en uno de los peores casos, donde los motores necesitarán del máximo torque todo el tiempo. En pruebas reales se espera tener una mayor autonomía.

Por el momento, y para las pruebas en interior que se realizaron, se optó por dos baterías de GEL, las cuales si bien tienen muy poca densidad energética y agregan mucho peso a la estructura resultan muy económicas y para su uso hasta el momento cumplen con su función. Para la plataforma final se espera usar baterías de litio, las cuales son más livianas, pueden generar mucha más potencia aunque también son mucho más caras que las anteriores.

Se está estudiando la posibilidad de incorporar un panel solar ya que con este la autonomía podría verse incrementada

sensiblemente, pudiendo incluso hacer pausas para recargar las baterías y luego reanudar el análisis a campo con la carga completa, todo de forma autónoma.

En esta última etapa también se diseñaron y se fabricaron circuitos electrónicos con el fin de hacer un mejor control de los motores a partir del Arduino, organizando mejor todas las conexiones y optimizando el uso de puertos de la placa de desarrollo, y su posterior programación.

Resultados y Discusión

Con el prototipo final armado, las dos baterías conectadas, y la placa Arduino programada se hicieron pruebas en interior.

Luego de varias pruebas se llegó a la conclusión de que la estructura de PVC era demasiado débil e inestable, lo que producía que toda la plataforma se moviera demasiado y corriera riesgo de romperse. Esto no es aceptable, ya que para la obtención de imágenes de buena calidad para hacer un procesado y que la plataforma navegue mediante visión artificial se necesita buena estabilidad, por lo que se decidió a modificar toda la estructura en su totalidad y reemplazarla por una plataforma de hierro.

Esto tiene sus ventajas y desventajas. Por un lado, usar una estructura de hierro garantizará mucha estabilidad y robustez, sin que se generen demasiados movimientos no deseados para las cámaras. Pero por otro lado esto

aumentará el peso de la estructura considerablemente, afectando directamente a la autonomía de la plataforma móvil.

Aprovechando el cambio de estructura, se decidió a modificar las dimensiones de la plataforma, optando por un diseño más angosto. Esta decisión se basó en que se observó la necesidad de circular entre surcos para un análisis mucho más preciso de las hojas y los tallos de las plantas.

Conclusiones

En esta primera etapa se han hecho importantes avances en cuanto al análisis y diseño de la plataforma. Se definieron los requisitos básicos, las dimensiones necesarias de la plataforma para las tareas a realizar (para permitirle avanzar entre surcos, por ejemplo), el material con que debe ser contruida la estructura, y elementos básicos como los motores, ruedas y baterías.

En adelante se continuará con el desarrollo pero ya comenzando con el armado definitivo de esta plataforma, con pruebas a campo y, en no mucho tiempo, pruebas de conducción autónomas con asistencia de la visión binocular en las cuales se encuentra trabajando parte del equipo de trabajo.

Bibliografía

- *Lemnatec Field-Scanalyzer. (2018). Retrieved from*

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina

17, 18 y 19 de octubre de 2018

- <https://www.lemnatec.com/products/field-phenotyping/field-scanalyzer/>
- Fendt, A. (2018). Fendt MARS - AGCO. Retrieved from <https://www.fendt.com/int/fendt-mars.html>
 - Mueller-Sim, T., Jenkins, M., Abel, J., & Kantor, G. (2017). The Robotanist: A ground-based agricultural robot for high-throughput crop phenotyping. In 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 3634–3639). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989418>
 - The Robotics Institute Carnegie Mellon University : Robotics Education and Research Leader. (2018). Retrieved from <https://www.ri.cmu.edu/>
 - Sukkarieh, S. (2014). News | The University of Sydney. Retrieved from <http://sydney.edu.au/news/84.html?newsstoryid=13686>
 - Rippa robot takes farms forward to the future. (2015). Retrieved from <https://sydney.edu.au/news-opinion/news/2015/10/21/rippa-robot-takes-farms-forward-to-the-future-.html>
 - Genius WideCam F100. (2018). Retrieved from <http://us.geniusnet.com/product/wide-cam-f100>
 - Arduino - Home. (2018). Retrieved from <https://www.arduino.cc/>
 - Drive Motor Sizing Tool. (2013). Retrieved from <https://www.robotshop.com/blog/en/drive-motor-sizing-tool-9698>
 - Blender - Free and Open 3D Creation Software. (1995). Retrieved from <https://www.blender.org/>
 - IGNIS MOTOR. (2018). Retrieved from <http://ignismotor.com/>
 - Paper, C., Biber, P., & Bosch, R. (2013). Field-Robot-Based Agriculture: “RemoteFarming.1” and “BoniRob-Apps” (November).
 - Argentine greenhouse robot. (2012). Retrieved from <https://www.zdnet.com/article/argentine-greenhouse-robot-brings-automation-to-the-masses/>

Agradecimientos

Se realiza un especial agradecimiento a la UNNOBA quien beca al autor del trabajo y la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. (CIC B.A.) que de manera conjunta con la UNNOBA beca a

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina
uno de los orientadores para que puedan
desarrollar su doctorado.

17, 18 y 19 de octubre de 2018

Financiamiento

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos de investigación “Informática y Tecnologías Emergentes” aprobado en la convocatoria a proyectos SIB 2017 y del proyecto “Plataforma Robótica Multipropósito Para Navegación Terrestre Con Soporte Aéreo Aplicada A Ensayos A Campo Utilizando Técnicas De Visión Artificial” aprobado en la convocatoria a Proyectos de Investigación y Transferencia en Tecnología (PRITT 2017) ambos aprobados y financiados por la Secretaría de Investigación, Desarrollo y Transferencia de la UNNOBA .