



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Administración del Proyecto: Agricultura de Precisión para mejorar el cultivo de aguacate usando Vehículos Aéreos No Tripulados

Isahi Sánchez Suárez¹, Jesús Fernando Padilla Magaña², Isaura Victoria Fernández Orozco³ y América Vega Huerta⁴

Resumen—Los VANTs pueden emplearse en la 'Agricultura de Precisión', para optimizar la gestión de una plantación. También pueden detectar estrés nutricional, así como enfermedades y plagas. Diversos especialistas han señalado que la más grande ventaja de la agricultura de precisión es que mediante cámaras especiales, es posible monitorear grandes zonas de un solo vistazo. Gracias a que los cultivos sanos emiten una radiación peculiar, pero cambia cuando está plagada o enferma. El objetivo del proyecto es desarrollar un sistema para la recopilación de información del cultivo mediante un VANT de bajo costo. Una de las tareas es administrar todas las actividades del proyecto mediante diagramas de actividades que son herramientas útiles para la coordinación de actividades y de los participantes del proyecto para llevarlo al éxito.

Palabras clave—Agricultura de precisión, aguacate, VANT, controlador, multiespectral.

Introducción

¹ El Dr. Isahi Sánchez Suárez es profesor de Asignatura de la Universidad Politécnica de Uruapan, Michoacán. isanchez@upoluruapan.edu.mx (autor corresponsal)

² El M.S.M. Jesús Fernando Padilla Magaña es PTC en la carrera Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Uruapan, Michoacán. fpadillaifernandez@upoluruapan.edu.mx

³ La M.C. Isaura Victoria Fernández Orozco es PTC en la carrera Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Politécnica de Uruapan, Michoacán. ifernandez@upoluruapan.edu.mx

⁴ La M.E. América Vega Huerta es PTC en la carrera Administración y Gestión de PyMEs en la Universidad Politécnica de Uruapan, Michoacán. avega@upoluruapan.edu.mx.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

La Gestión de Proyectos es una de las habilidades más esenciales que se requieren actualmente en los negocios. La realidad de las empresas es que tanto el entorno, los requisitos y las necesidades y demandas de los clientes están cambiando constantemente, pero las estructuras de negocio, los procesos y el diseño de la organización no fueron pensadas para el cambio sino para la estabilidad.

El foco se ubica en la repetitividad y previsibilidad, en hacer la misma cosa una y otra vez, en cumplir con los acuerdos de nivel de servicio y de gestión de riesgos. Esto funciona bien cuando se trata de las operaciones del día a día, pero no tan bien para cuando se trata de aplicar una nueva tecnología, cumplir con los requisitos de una nueva legislación o desarrollar un nuevo producto. Aquí es donde cobra importancia la gestión de proyectos, mientras que la estructura de la organización normal se desarrolló para la estabilidad, los proyectos están diseñadas para el cambio. Mientras que los procesos normales de la empresa se repiten religiosamente, los proyectos son esfuerzos individuales que comienzan y terminan.

El crecimiento en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), y el desarrollo de los Sistemas Aéreos No Tripulados (SANT), ha despertado gran interés a nivel mundial en aplicaciones de carácter militar y científico, como hicieron notar los autores (Béjar, M., Ollero, A., 2008 y Giraldo, M et al. 2010).

Los VANT pueden emplearse en la vigilancia de cultivos dentro de lo que se llama “agricultura de precisión”, que trabaja para optimizar la gestión de una plantación y evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, además de tomar decisiones al respecto del uso de fertilizantes, frecuencia de riego y otras posibilidades. Los VANT pueden realizar vuelos programados para realizar controles en cultivos (un uso indicado, por ejemplo, para el control de subvenciones agrarias), o detectar el estrés hídrico (falta de riego) en las plantaciones para el uso eficiente del agua. Además, los VANT también son capaces de detectar estrés nutricional en los cultivos (uso óptimo de fertilizantes sólo en las zonas en las que es necesaria su aplicación) y de realizar una detección temprana de enfermedades y plagas en los mismos. Los



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

VANT son también capaces de realizar de una sola pasada chequeos vegetales que determinen los principales índices de calidad de un cultivo, así como de generar inventarios y supervisar áreas fumigadas, entre otras aplicaciones.

El desarrollo de nuevas aplicaciones en el ámbito de la agricultura de precisión y monitorización de los campos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados, pueden suponer grandes beneficios para el cuidado de los cultivos y cosechas. La agricultura de precisión, en síntesis, consiste en el empleo de nuevas tecnologías para un estudio detallado de la parcela, de manera que pueda aplicarse cada tratamiento de manera localizada.

Diversos especialistas, en particular (O. Meister et al. 2008 y C. Martinez et al. 2011) han señalado que una de las más grandes ventajas de la agricultura de precisión es que, mediante imágenes satelitales o de cámaras especiales, es posible apreciar y monitorear grandes zonas de un solo vistazo. Eso, gracias a que los cultivos sanos emiten un tipo de radiación peculiar, pero ésta cambia cuando se encuentra plagada o enferma porque sus propiedades físicas se alteran.

Los beneficios de la agricultura de precisión son triples, permite reducir costos, mejora la rentabilidad de los cultivos y disminuye el impacto ambiental, ya que la aplicación de las acciones para cubrir los requerimientos reales del cultivo es dirigida y focalizada.

Por todo lo anterior, la principal motivación es desarrollar un sistema que permita la recopilación de información sobre aspectos importantes del cultivo, la monitorización y la localización de falta de nutrientes en el suelo o el descubrimiento de enfermedades y plagas en las cosechas, además de proporcionar información sobre el estrés hídrico de la planta en cuestión, mediante un vehículo aéreo no tripulado de bajo costo. Así, mediante este sistema se permitirá una mejora de la utilización de los recursos agrícolas, lo cual es de primordial importancia para el agricultor (Achtelik et al. 2008 y Zhou et al. 2010).



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Debido a que los autores de este trabajo de investigación se encuentran ubicados dentro de una región cuya principal actividad económica es el cultivo de huertas de aguacate, representando un proyecto que están dentro de las líneas de acción prioritarias del estado.

Los VANTs llamados drones se han convertido en una alternativa viable de bajo costo para monitorear zonas agrícolas, estos se pueden equipar de acuerdo a las necesidades, parámetros y variables de la investigación, con sensores multifuncionales pequeños, sistemas de navegación o de sensores espectrales que ayudan al monitoreo de los cultivos, proporcionando información para la toma de decisiones.

Según el INEGI en 2011 en la zona de Michoacán existen tierras dedicadas a la producción de aguacate, se obtienen 1 092 344 toneladas de aguacate al año, representando el 86.4% de producción nacional de este producto, ubicándose en el primer lugar de 28 estados que lo producen.

Se lleva la investigación a buscar y a aumentar los beneficios económicos de los agricultores reduciendo el consumo de recursos nutricionales en los campos.

Objetivo General

Optimizar el control de una huerta de Aguacate a través de un monitoreo realizado por un vehículo aéreo no tripulado que permite la detección temprana del estrés hídrico y nutricional, para la mejora de la utilización de los recursos agrícolas.

Objetivos Específicos:

- Diseñar e implementar algoritmos de control robusto para vuelo de vehículos ligeros no tripulados mejorando su estabilidad bajo perturbaciones de viento.
- Adquirir y procesar imágenes espectrales para identificar zonas con árboles de aguacate con diferentes niveles de deshidratación y distintos estados nutricionales.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

- Diseñar un formato para el control de las cantidades adecuadas de agua y nutrientes necesarias para maximizar la producción del árbol de aguacate mediante un sistema de riego distribuido en un cultivo prototipo monitoreado a través de un VANT.
- Impulsar la agricultura de precisión en el Estado de Michoacán reduciendo el impacto ambiental a través del uso inteligente de los recursos no renovables.

Metas:

- Diseñar e implementar algoritmos de control robusto para vuelo de vehículos ligeros no tripulados.
- Maximizar la producción del árbol de aguacate en la región, mediante un sistema de riego distribuido, retroalimentado con información del monitoreo realizado a través de un VANT.
- Impulsar la agricultura de precisión en el Estado de Michoacán.
- Reducir el impacto ambiental a través del uso inteligente de los recursos no renovables.
- Contribuir a la formación integral de los estudiantes que se integran al proyecto, diversificando así el mercado laboral de los estudiantes

Metodología

La metodología se basa principalmente en un enfoque cuantitativo, ya que se va a realizar una revisión de fuentes bibliográficas primarias, publicaciones de aeronáutica, artículos en revistas indexadas nacionales e internacionales, libros, institutos y centros de investigaciones aeronáuticas, entre otros. Para realizar una recopilación y clasificación de la información obtenida, de tipos de diseños estructurales, plantas motrices, sistemas de navegación, *hardware* y *software* asociados a la operación y misión de los VANT, para obtener el estado del arte del tema de VANT, en particular en



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

el desarrollo de los *drones* comerciales *Parrot AR.Drone2.0*. Para cumplir el objetivo del monitoreo de cultivos a través de un sistema VANT.

Para cumplir el segundo objetivo que se persigue, se requiere la identificación de las variables necesarias a controlar en un cultivo con respecto al denominado estrés hídrico y el estado nutricional del árbol de aguacate, que permita un crecimiento óptimo de los frutos con el menor consumo de agua. Con estas variables se determinaran los parámetros tales como la superficie a fotografiar, el requerimiento de escala en las fotografías y la definición de los módulos a implementarse en la arquitectura del sistema del VANT.

En la etapa de procesado de imagen se diseñaran los algoritmos y criterios necesarios para la determinación del estrés hídrico y del estado nutricional de la planta de aguacate a partir de las imágenes proporcionadas por el sistema de visión, para de esta manera determinar las cantidades adecuadas de hidratación y elementos nutricionales.

Con el objetivo de que esta información permita realizar un control de la cantidad de agua y nutrientes a suministrar al cultivo. De esta manera se proporcionara información certera al productor para tomar medidas. Hoy la tecnología nos permite darle información valiosa al productor de qué tiene que hacer, cómo y dónde para optimizar sus recursos.

Finalmente, la etapa de análisis de resultados, permitirá realizar mejoras a los factores observados durante las etapas de experimentación tanto al sistema de control de vuelo, como al sistema de visión que permitan implementar en futuro un sistema de control automático para los cultivos de la región.

Recursos Disponibles

Recursos humanos:



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
 Multidisciplinario
 21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

La Universidad Politécnica de Uruapan, Michoacán, cuenta con un gran equipo de especialistas, cuenta con dos doctores con especialidad en matemáticas, dos doctores especializados en sistemas computacionales, un doctor y una maestra en ciencias en ingeniería agroindustrial, un maestro en sistemas de manufactura y una maestra en educación entre otras especialidades necesarias para realizar cada uno de los objetivos específicos y las metas. Donde cinco de ellos fueron aceptados en PRODEP 2015.

Infraestructura:

Actualmente, el Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, cuenta con dos *drones* modelo AR Drone 2.0, con los cuales es posible empezar la implementación de un prototipo para monitoreo de una huerta de aguacate mediante un VANT.

La Universidad Politécnica de Uruapan, Michoacán, cuenta con un laboratorio equipado con 10 computadoras de última tecnología en las cuales los integrantes del equipo podrán realizar sus trabajos de búsqueda de información, así como la de investigación y desarrollo de algoritmos para el procesamiento de imágenes obtenidas de las cámaras multiespectrales.

Apoyo financiero

Actualmente este proyecto fue aceptado en el sistema PRODEP en la convocatoria 2015 de Apoyo a la incorporación de nuevos PTCs, lográndose el apoyo completo de \$300,000.00 pesos para la realización del proyecto, además de la obtención de una beca para dos estudiantes por \$25,587.00. En el cuadro 1 se muestra el presupuesto aprobado, así como cada uno de los rubros en los cuales se pretende aplicar.

Becas			
Concepto	Cantidad	Precio unitario	Total
Becas estudiantes tesis	1	25,587	25,587
TOTAL			-25,587
Adquisición de materiales, consumibles y accesorios menores			
Concepto	Cantidad	Precio unitario	Total
Materiales y consumibles	1	3,200	3,200
Equipo	2	28,400	56,800



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
 Multidisciplinario
 21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Asistencia a Reuniones Académicas	4	1,250	5,000
Estancias Cortas	2	5,000	10,000
Equipo de experimentación (Drone comercial, cámara multiespectral)	1	180,000	180,000
Acervo bibliográfico	1	10,000	10,000
Cuotas de inscripción a congresos, viáticos, pasajes y hospedaje		7,000	35,000
Total			\$300,000

Cuadro 1. Presupuesto aprobado en el sistema PRODEP

Cronograma de actividades

En el cuadro 2 se presenta una breve descripción de las principales actividades del proyecto, así como de los costos estimados para realizar algunas de las actividades. El cronograma se muestra desglosado por meses, el mes de inicio es Septiembre del 2015 y el mes de conclusión es Agosto del 2016.

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
1. Revisión bibliográfica del tema.												
2. Evaluación y compra de los requerimientos técnicos												
3. Diseñar e implementar algoritmos de control robusto para el vuelo del VANT												
4. Presentación de los resultados obtenidos en un congreso nacional												
5. Pruebas de la cámara y calidad de las imágenes												
6. Adquirir imágenes espectrales												
7. Diseño e implementación de algoritmos para procesar imágenes espectrales												
8. Procesamiento de imágenes												
9. Análisis de los resultados												
10. Presentación de los resultados obtenidos en un congreso nacional												
11. Escritura de un artículo para su												



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
 Multidisciplinario
 21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

envío a revista arbitrada																			
12. Escritura del informe técnico																			

Cuadro 2. Cronograma de Actividades del proyecto 2015 - 2016

Resultados entregables.

El presente proyecto pretende alcanzar a corto plazo como resultado de su desarrollo los siguientes productos:

- 2 Artículos en extenso en Memorias de congresos.
- 2 Tesis de licenciatura.
- 1 Artículos científicos en revista arbitrada.
- 1 Informe técnico

Conclusiones

El presente proyecto se desarrolla tomando en consideración las necesidades de los productores de aguacate de la región de Michoacán, donde se espera ver su factibilidad en la presentación de resultados y en la parte práctica en la toma de decisiones de los encargados de las huertas para realizar los cambios necesarios en la gestión de sus recursos.

Recomendaciones y trabajos futuros

Se pretende continuar el proyecto en una segunda etapa a mediano plazo en el cual se realice un control de otros parámetros de un cultivo tales como el conteo de frutos aprovechables en la cosecha, el descubrimiento de enfermedades y plagas en los frutos de aguacate, todo esto con el fin de alcanzar a largo plazo el impulsar una agricultura inteligente en el Estado de Michoacán reduciendo el impacto ambiental a través del uso inteligente de los recursos no renovables.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Referencias

Achtelik, M., Bachrach, A., He, R., Prentice, S., Roy, N., “Autonomous navigation and exploration of a quadrotor helicopter in gps-denied indoor environments”, *Robotics: Science and Systems Conference*, 2008.

A. E. R. Shabayek, C. Demonceaux, O. Morel, and D. Fofi, “Vision based uav attitude estimation: Progress and insights,” *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 65, no. 1-4, pp. 295–308, 2012.

Alexis, K., Nikolakopoulos, G., Tzes, A., “Model predictive quadrotor control: attitude, altitude and position experimental studies”, *Control Theory and Applications* vol. 6 (12), 1812–1827, 2012.

Béjar, M., Ollero, A., 2008. “Modelado y control de helicópteros autónomos. Revisión del estado de la técnica”. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 5 (4), 5–16.

C. Martinez, I. Mondragon, M. Olivares-Mendez, and P. Campoy, “Onboard and ground visual pose estimation techniques for uav control,” *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 61, pp. 301–320, 2011, 10.1007/s10846-010-9505-9.

Giraldo, M. V. P., Gonzales, E. C. V., Feliciano, C. I. R., “Modelamiento dinámico y control lqr de un quadrotor”, *Avances: Investigación e Ingeniería*. Vol. 13. pp. 71–86, 2010.

O. Meister, N. Frietsch, C. Ascher, and G. Trommer, “Adaptive path planning for a vtol-uav,” in *Position, Location and Navigation Symposium*, 2008 IEEE/ION, may 2008, pp. 1252 –1259.

Zhou, Q.-L., Zhang, Y., Rabbath, C.-A., Theilliol, D. “Design of feedback linearization control and reconfigurable control allocation with application to a quadrotor uav”, *Conference on Control and Fault-Tolerant Systems*, 2010.

Notas Biográficas

El **Dr. Isahi Sánchez Suárez** es profesor de Asignatura de la Universidad Politécnica de Uruapan, Michoacán. Terminó sus estudios de posgrado en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en el Instituto de Física y Matemáticas. Realizo una estancia de posdoctorado en el Centro de Matemáticas Unam en Morelia, Michoacán. Ha publicado artículos en diversas revistas nacionales e internacionales con arbitraje estricto, el Conacyt le ha otorgado la distinción de Investigador Nacional Nivel I desde Enero del 2013, el cual ha mantenido en la evaluación correspondiente, logrando la renovación de dicha distinción hasta Diciembre del 2019.

La **M.E. América Vega Huerta** es profesor de tiempo completo de la Universidad Politécnica de Uruapan, Michoacán. Terminó sus estudios de posgrado en la Universidad Interamericana para el Desarrollo.

El **M.S.M. Jesús Fernando Padilla Magaña**, es profesor de tiempo completo de la Universidad politécnica de Uruapan, Michoacán. Terminó sus estudios de posgrado en la Universidad Autónoma de Guadalajara.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

La **M.C. Isaura Victoria Fernández Orozco** es profesor de tiempo completo en la carrera Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Politécnica de Uruapan, Michoacán. Terminó sus estudios de posgrado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).