

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas e Informática



“Procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando vehículos aéreos no tripulados aplicados a la agricultura”

**Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas e
Informática**

INVESTIGADORES:

Bach. Campos Amaya, Leo Yair

Bach. Velarde Zimic, Reinjar Andree

ASESOR:

Dr. Gil Albarrán, Guillermo Edward

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas e Informática

“Procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando vehículos aéreos
no tripulados aplicados a la agricultura”

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas E Informática

Revisado y Aprobado por el asesor:



Dr. Gil Albarrán Guillermo Edward

DNI: 32819296

Cód. ORCID: 0000-0003-3782-6765

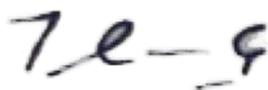
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas e Informática

“Procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando vehículos aéreos no tripulados aplicados a la agricultura”

**Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas e
Informática**

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



Dr. Caselli Gismondi Hugo Esteban

DNI: 32819296

Cód. ORCID: 0000-0002-2812-6727

PRESIDENTE



Dr. Gil Albarrán Guillermo Edward

DNI: 32819296

Cód. ORCID: 0000-0003-3782-6765

SECRETARIO



Ms. Mendoza Corpus Carlos Alfredo

DNI: 32952282

Cód. ORCID: 0000-0002-1921-0089

INTEGRANTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los dos días del mes de setiembre del año dos mil veinticinco, siendo las 11:00 am. En el aula S-2 del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Sistema e Informática-FI-UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución 258-2025-UNS-CFI, y de expedito según Resolución Decanal N°587 -2025-UNS-FI integrado por los docentes: Dr. Hugo Esteban Caselli Gismondi (**presidente**), Dr. Guillermo Edward Gil Albarrán (**secretario**) y el Ms Carlos Alfredo Mendoza Corpus (**Integrante**), para dar inicio a la sustentación de la Tesis intitulada "PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL ESPECTRO DE LUZ VISIBLE USANDO VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS APLICADOS A LA AGRICULTURA", perteneciente a los Bachilleres: CAMPOS AMAYA LEO YAIR, con código de matrícula N°0201414047 y VELARDE ZIMIC REINJAR ANDREE con código de matrícula N°0201414051, quienes fueron asesorado por el Dr. Guillermo Edward Gil Albarrán, según resolución Decanal N° 359-2023-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CAMPOS AMAYA LEO YAIR	15	Regular

Siendo las 12 p.m del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 02 setiembre de 2025

78-9

DR. HUGO ESTEBAN CASELLI GISMONDI
PRESIDENTE

DR. GUILLERMO EDWARD GIL ALBARRÁN
SECRETARIO

MS CARLOS ALFREDO MENDOZA CORPUS
INTEGRANTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los dos días del mes de setiembre del año dos mil veinticinco, siendo las 11:00 am. En el aula S-2 del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Sistema e Informática-FI-UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución 258-2025-UNS-CFI, y de expedito según Resolución Decanal N°587 -2025-UNS-FI integrado por los docentes: Dr. Hugo Esteban Caselli Gismondi (**presidente**), Dr. Guillermo Edward Gil Albarrán (**secretario**) y el Ms Carlos Alfredo Mendoza Corpus (**Integrante**), para dar inicio a la sustentación de la Tesis intitulada "PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL ESPECTRO DE LUZ VISIBLE USANDO VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS APLICADOS A LA AGRICULTURA", perteneciente a los Bachilleres: CAMPOS AMAYA LEO YAIR, con código de matrícula N°0201414047 y VELARDE ZIMIC REINJAR ANDREE con código de matrícula N°0201414051, quienes fueron asesorado por el Dr. Guillermo Edward Gil Albarrán, según resolución Decanal N° 359-2023-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
VELARDE ZIMIC REINJAR ANDREE	15	Regular

Siendo las 12 pm del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 02 setiembre de 2025

DR. HUGO ESTEBAN CASELLI GISMONDI
PRESIDENTE

DR. GUILLERMO EDUARDO GIL ALBARRÁN
SECRETARIO

MS CARLOS ALFREDO MENDOZA CORPUS
INTEGRANTE

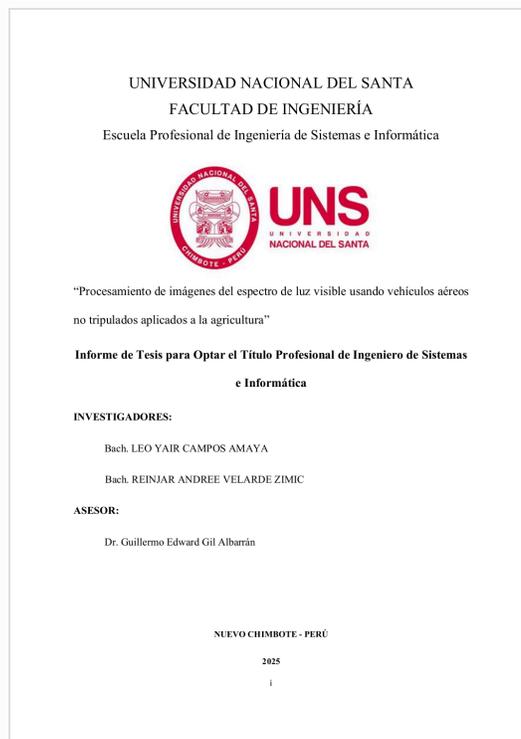


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Leo Campos Amaya
Título del ejercicio: Tesis 2025
Título de la entrega: INFORME TESIS - CAMPOS AMAYA Y VELARDE ZIMIC.pdf
Nombre del archivo: INFORME_TESIS_-_CAMPOS_AMAYA_Y_VELARDE_ZIMIC.pdf
Tamaño del archivo: 5.69M
Total páginas: 219
Total de palabras: 40,013
Total de caracteres: 195,785
Fecha de entrega: 11-sept-2025 10:27p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2748569553



13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios, quien por su gran amor y misericordia nos guía y ayuda a superar todas las adversidades, manteniendo así nuestros corazones la esperanza y fe.

A nuestras esposas Sra. Yanira Solansh Fernández Vargas y Sra. Cynthia Kattia Sifuentes Mendoza quienes, con su inmenso amor, comprensión y dedicación, nos impulsó a continuar con nuestro rumbo profesional hasta poder lograr culminar el presente informe.

A nuestros Hijos Eithan Youssef Campos Fernandez y Andrick Velarde Sifuentes, que son nuestra inspiración para poder seguir adelante en todos nuestros objetivos y metas.

A nuestros padres: Sr. Leo Segundo Campos Sánchez, Sra. Yovana Margot Amaya Laveriano, Sr. Reinjar José Velarde Fernández y Sra. Soledad Cecilia Zimic Campoblanco, quienes, con su amor, comprensión, lucha, entrega y dedicación, nos inculcaron el deseo de superación, para poder ser cada día mejores personas y de jamás rendirnos antes las adversidades.

A nuestros amigos y compañeros: Marco Moreno Saavedra y Giancarlo Pastor García, quienes estuvieron con nosotros desde el comienzo de la carrera hasta la fecha, siempre apoyándonos en grupo para poder seguir para delante y así conseguir cada uno nuestros objetivos trazados.

De: Los Autores.

AGRADECIMIENTOS

Durante la realización del presente informe hemos recibido apoyo y confianza de amigos y familiares, los cuales les quiero dar agradecimiento por su confianza que pusieron a nuestra persona:

A nuestra familia, por todo el apoyo moral, su esfuerzo que nos brindaron a nuestra persona para poder culminar con la formación profesional y seguir para adelante.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional del Santa, quienes brindaron sus conocimientos y nos formaron tanto académicamente como de forma personal.

A nuestros amigos y compañeros, con los cuales compartimos maravillosos momentos durante nuestra formación académica.

A GAMA PERUVIAN COMPANY SAC que nos brindó la oportunidad de implementar el presente tema de investigación.

A nuestro asesor, Dr. Guillermo Edward Gil Albarrán quien con su experiencia y tiempo nos supo guiar durante la realización del presente informe.

A todos ellos, muchas gracias de todo corazón.

De: Los Autores.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT.....	XIX
PRESENTACIÓN.....	XXI
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema	1
1.1.1. Descripción del problema	1
1.1.2. Formulación del Problema	7
1.2. Objetivos de la Investigación.....	7
1.2.1. Objetivo General	7
1.2.2. Objetivos Específicos.....	7
1.3. Formulación de Hipótesis	8
1.4. Justificación de la Investigación	8
1.5. Importancia de la Investigación.....	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes del Problema	10
2.1.1. Nivel Local.....	10
2.1.2. Nivel Nacional.....	10
2.1.3. Nivel Internacional	14

2.2. Marco Conceptual	18
2.2.1. Censado Remoto	18
2.2.2. Georreferenciación	18
2.2.3. Geo TIFF	18
2.2.4. Ortomosaico	19
2.2.4. Librería Sequence Learning	19
2.2.5. Red Neuronal Artificial (RNA)	21
2.2.5.1. Conceptos Básicos	21
2.2.5.2. Proceso de aprendizaje de una RNA	22
2.2.6. Agricultura	23
2.2.7. Vehículo Aéreo no Tripulado	24
2.2.8. La matriz de confusión y sus métricas	24
2.2.9. Procesamiento Digital de Imágenes	28
2.2.9.1. Etapas del procesamiento digital de imágenes.	28
2.2.9.3. Umbralización del histograma.	30
2.2.10. Lenguajes de Programación	31
2.2.11. Python	32
2.2.12. Color	33
2.2.12.1. Modelo RGB	33
2.2.13. Evaluación de Metodologías Ágiles	34
2.2.14. Metodología SCRUM	36

2.2.14.1.	Fases	37
2.2.14.2.	Palabras esenciales para la metodología	39
2.2.15.	<i>Teorías de Producción</i>	39
2.3.	Desarrollo de la Metodología SCRUM	41
2.3.1.	<i>Aplicación de la Metodología SCRUM</i>	41
2.3.1.1.	Fundamentación y Análisis	41
2.3.1.2.	Valores de Trabajo	42
2.3.1.3.	Personas y Roles de Proyecto	43
2.3.1.4.	Elaboración del Backlog	43
2.3.1.5.	Análisis de Complejidad	44
2.3.1.6.	Asignación de Valores de Story Points	45
2.3.1.7.	Valoración de User Story	46
2.3.1.8.	User Story Puntuación Mayor a 20	48
2.3.1.9.	Duración del Sprint	50
2.3.1.10.	Distribución de los User Story	51
2.3.1.11.	Definición de Sprints	52
2.3.1.12.	Duración de la Fase de Desarrollo	53
2.3.1.13.	Cronograma	54
2.3.2.	Definición de Parámetros	55
2.3.2.1.	Elección del Vehículo Aéreo no Tripulado	55
2.3.2.2.	Definición del plan de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado	62

2.3.2.3.	Toma de fotos durante el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado	73
2.3.3.	Elección de índice, lenguaje de programación y generación Ortomosaico	76
2.3.3.1.	Elección del índice de vegetación	76
2.3.3.2.	Elección del lenguaje de programación	80
2.3.3.3.	Generación del ortomosaico	80
2.3.4.	Procesamiento de imágenes	86
2.3.5.	Modelo de detección y conteo de cultivos	95
CAPÍTULO III MÉTODOS Y MATERIALES		107
3.1.	Tipo de Investigación	107
3.2.	Diseño de la Investigación	107
3.3.	Enfoque de Investigación	108
3.4.	Población y muestra	109
3.4.1.	<i>Población</i>	109
3.4.2.	<i>Muestra</i>	109
3.5.	Operacionalización de las variables	110
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	112
3.7.	Técnicas de análisis de resultados	112
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		114
4.1.	En relación a la Dimensión 1 “Procesamiento de imágenes”	116
4.2.	En relación a la Dimensión 2 “Captura aérea con el vehículo Aéreo no Tripulado”	121

4.3. En relación a la Dimensión 3 “Rendimiento Agrícola”	123
4.4. En relación a la Dimensión 4 “Gestión de insumos”	132
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
5.1. Conclusiones	141
5.2. Recomendaciones	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	145
ANEXOS	153
ANEXO N° 01 - VALORES DEL PRE TEST Y POST TEST	153
ANEXO N° 02 - CUESTIONARIO SOBRE LA OPINIÓN DEL USO DE LAS TECNOLOGIAS DE INFORMACIÓN EN LA AGRIULTURA Y SU IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE PERSONAL	168
ANEXO N° 03 - REGISTRO DE COMPRAS AÑO 2023, 2024 Y 2025	170
ANEXO N° 04 - CÓDIGO FUENTE DEL CONTEO DE CULTIVOS MEDIANTE RED NEURONAL.....	173
ANEXO N° 05- ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL ALGORITMO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL ESPECTRO DE LUZ VISIBLE.....	179
ANEXO N° 06 – IMÁGENES DE LAS CAPTURAS QUE REALIZO EL VEHICULO AÉREO NO TRIPULADO	194

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Precios en el mercado mundial de productos agropecuarios, 1960 a 2000.....	2
Figura 2 Comparación de unidades agropecuarias entre 1994 y 2012	4
Figura 3 Comparación entre una red neuronal recurrente y una normal	20
Figura 4 Conceptos Básicos RNA	21
Figura 5 Proceso de Aprendizaje de una RNA	23
Figura 6 Matriz de Confusión (F1-Score).....	26
Figura 7 Procesamiento digital de imágenes	28
Figura 8 Representación del histograma de una imagen	29
Figura 9 Representación de una imagen con su histograma de canales de color	30
Figura 10 Representación de una imagen con sus 3 histogramas separados	30
Figura 11 Representación de la umbralización de un histograma	31
Figura 12. Lenguajes de programación más populares en 2024.....	32
Figura 13 Ejemplo del modelo RGB	34
Figura 14 Gráfico de valores del Story Point	46
<i>Figura 15.</i> Gráfico Duración del Sprint.....	50
Figura 16. Total de Sprints obtenidos.....	53
Figura 17 Plan de vuelo ideal para la investigación	65
Figura 18 Overlap entre dos planes de vuelo.....	66
<i>Figura 19</i> Plan recomendado para adquisición de imágenes.....	66
Figura 20 Imágenes que se consideran óptimas para poder procesarse en el Software de fotogrametría.....	68
Figura 21 Imágenes que se consideran difíciles para poder procesarse en el Software de fotogrametría.....	69

Figura 22 Imágenes que se consideran imposibles de procesar en el Software de fotogrametría.....	70
Figura 23 Interfaz del aplicativo Pix4Dcapture en la sección de "Map View"	72
Figura 24 Interfaz del aplicativo Pix4Dcapture en la sección de "Settings"	72
Figura 25 Parámetros a validar antes del despegue del Vehículo Aéreo no Tripulado.....	73
Figura 26 Recorrido del Vehículo Aéreo no Tripulado.....	74
Figura 27 Imágenes capturadas terminado el vuelo - Primera Vista.....	75
Figura 28 Imágenes capturadas terminado el vuelo - Segunda Vista.....	75
Figura 29 Terreno ejemplo para aplicación del Green Leaf Index (GLI).....	79
Figura 30 Aplicación del Green Leaf Index (GLI) en el terreno ejemplo	79
Figura 31 Credenciales para Ingresar a la Interfaz de WebODM.....	81
Figura 32 Interfaz de WebODM.....	81
Figura 33 Agregar Proyecto.....	82
Figura 34 Crear Nuevo Proyecto	82
Figura 35 Visualización del Nuevo Proyecto en el DashBoard.....	83
Figura 36 Seleccionar Imágenes Capturadas desde el Drone.....	83
Figura 37 Interfaz de Subida de Imágenes al WebODM.....	84
Figura 38 Interfaz de Subida de Imágenes Finalizada al WebODM	84
Figura 39 Creación del Ortomosaico dentro del WebODM.....	85
Figura 40 Generación del Ortomosaico en archivo .tif.....	85
Figura 41 Ejecución del Aplicativo QGIS	86
Figura 42 Interfaz de la Aplicación QGIS	87
Figura 43 Ubicar dentro del QGIS el orto mosaico	87
Figura 44 Visualización del Orto mosaico dentro del Aplicativo QGIS	88
Figura 45 Buscamos el ítem para calcular el Ráster	89

Figura 46 Completando Datos para utilizar la Calculadora Ráster	90
Figura 47 Procesamiento de Imagen del archivo .tif en Escala de Grises	91
Figura 48 Propiedades de la Capa del Proyecto "Prueba"	92
Figura 49 Modificación de ajustes en la capa "Prueba"	93
Figura 50 Procesamiento de Imagen RGB del orto mosaico.....	94
Figura 51 Exportar Resultado del Procesamiento de Imagen RGB en formato .tif.....	95
Figura 52 Librerías a Importar.....	96
Figura 53 Apertura del ortomosaico con puntos definidos.....	97
Figura 54 Archivo .shp	97
Figura 55 Código para mostrar el archivo .shp.....	98
Figura 56 Visualización del archivo .shp.....	98
Figura 57 Selección de Banda a Trabajar	99
Figura 58 Extracción de los puntos del archivo .shp	99
Figura 59 Puntos extraídos del archivo .shp	99
Figura 60 Indicador del radio para cada punto	100
Figura 61 Visualización de los puntos de Interés	100
Figura 62 Rotar las imágenes de los puntos de interés	101
Figura 63 Buscar comparaciones de los puntos en el ortomosaico.....	102
Figura 64 Código para mostrar las comparaciones encontradas.....	102
Figura 65 Ortomosaico con los puntos semejantes a los puntos de interés	103
Figura 66 Identificar puntos repetidos y encapsularlo.....	104
Figura 67 Código para mostrar los puntos depurados	104
Figura 68 Ortomosaico con la depuración de los puntos de interés duplicado.....	105
Figura 69 Extracción de las coordenadas y cantidad de cultivos en el ortomosaico	106
Figura 70 Matriz de Confusión (F1-Score) – Datos de la investigación	117

Figura 71 Recorrido del VANT y total de imágenes capturadas	123
Figura 72. COMPRAS DE INSUMOS AGROPECUARIOS - AÑO 2023	170
Figura 73. COMPRAS DE INSUMOS AGROPECUARIOS - AÑO 2024	171
Figura 74. COMPRAS DE INSUMOS AGROPECUARIOS - AÑO 2025	172
Figura 75 Calculo de la Tasa Interna de Retorno	192
Figura 76 Imagen Georreferencia del Cultivo N°01	194
Figura 77 Imagen Georreferencia del Cultivo N°02	195
Figura 78 Imagen Georreferencia del Cultivo N°02	195
Figura 79 Imagen Georreferencia del Cultivo N°03	195
Figura 80 Imagen Georreferencia del Cultivo N°04	195
Figura 81 Imagen Georreferencia del Cultivo N°04	195
Figura 81 Imagen Georreferencia del Cultivo N°04	195

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Crecimiento de la producción agropecuaria	1
Tabla 2 Crecimiento de la demanda de productos agrícolas.....	3
Tabla 3. Cuadro comparativo de las 7 Metodologías Ágiles para proyectos.....	35
Tabla 4 Complejidad de Requerimientos.....	45
Tabla 5 <i>Story Points para cada Users Story Funcionales</i>	47
Tabla 6 Story Points para cada Users Story No Funcionales.....	48
Tabla 7 Users Story Funcionales con puntuación mayor a 20.....	49
Tabla 8 Users Story No Funcionales con puntuación mayor a 20.....	49
Tabla 9 Cronograma de actividades.....	54
Tabla 10 Comparación de Vehículos Aéreos no Tripulados comunes de uso civil.....	58
Tabla 11. Tabla ponderada entre los Vehículos Aéreos no Tripulados de uso civil y la propuesta del Phantom3 Standard.....	60
Tabla 12 Descripción de Vehículo Aéreo no Tripulado seleccionado para el proyecto.....	61
Tabla 13 Elementos a considerar para el plan de vuelo.....	63
Tabla 14 Tipo de planes de vuelo y patrones de vuelos recomendados	64
Tabla 15 Matriz de operacionalización de variables.....	110
Tabla 16 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	112
Tabla 17 Comparación entre los tiempos de la Pre-prueba y Post-Prueba por hectárea	124
Tabla 18 Anexo 2 - Pregunta 1	126
Tabla 19 Anexo 2 - Pregunta 2	127
Tabla 20 Anexo 2 - Pregunta 3	127
Tabla 21 Anexo 2 - Pregunta 4	128
Tabla 22 Anexo 2 - Pregunta 5	129

Tabla 23 Anexo 2 - Pregunta 6	130
Tabla 24 Anexo 2 - Pregunta 7	130
Tabla 25 Anexo 2 - Pregunta 8	131
Tabla 26 Cantidad de uso insumos Agropecuarios antes de la implementación del algoritmo por hectárea/año -Año 2024.....	132
Tabla 27 Cantidad de uso insumos Agropecuarios después de la implementación del algoritmo por hectárea/año – Año 2025.....	133
Tabla 28 Porcentaje de la reducción de cantidades de la Pre-Prueba a la Post-Prueba por hectárea/año	134
Tabla 29 Estimación de la reducción de cantidades de la Pre-Prueba a la Post-Prueba por 11 hectáreas.....	135
Tabla 30 Gastos de compras de Insumos Agropecuarios antes de la implementación del algoritmo por hectárea/año	137
Tabla 31 Gastos de compras de Insumos Agropecuarios después de la implementación del algoritmo por hectárea/año	138
Tabla 32 Total y porcentaje ahorrado desde la Pre-Prueba a la Post-Prueba por hectárea/año .	139
Tabla 33 Estimación del total y porcentaje ahorrado desde la Pre-Prueba a la Post-Prueba por 11 hectáreas/año.....	140
Tabla 34 Resumen de los valores del Pre test y Post test	153
Tabla 35 Detallado de los valores del Pre test y Post Test	154
Tabla 36 Costo de Hardware.....	179
Tabla 37 Costo del Software.....	180
Tabla 38 Costo Recursos Humanos	181
Tabla 39 Costo Insumo	182
Tabla 40 Costo Energía.....	182

Tabla 41 Costo Servicio.....	183
Tabla 42 Costo de Inversión Total.....	184
Tabla 43 C.O. Recursos Humanos.....	184
Tabla 44 C.O. Costo de Insumos	185
Tabla 45 C.O. Energía.....	185
Tabla 46 C.O. Mantenimiento.....	186
Tabla 47 Depreciación	187
Tabla 48 Beneficios Tangibles.....	188
Tabla 49 Flujo de caja.....	189
Tabla 50 Calculo del TIR.....	192

RESUMEN

“PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL ESPECTRO DE LUZ VISIBLE USANDO VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS APLICADOS A LA AGRICULTURA”

El informe de investigación tiene con finalidad elaborar un algoritmo que pueda procesar las imágenes del espectro de luz visibles mediante el uso de los vehículos aéreos no tripulados, que tenga una aplicación de forma directa para el monitoreo de los cultivos agrícolas. Cuenta con un objetivo de mejorar la producción agrícola, optimizar el uso de los insumos y reducir el tiempo de monitoreo en los cultivos.

Para lograr una correcta ejecución se aplicó la metodología ágil SCRUM como metodología de trabajo para el desarrollo del algoritmo, empleando consigo un enfoque de investigación descriptiva, aplicada y tecnológica, con un método inductivo-deductivo, donde, fue desarrollada en la empresa GAMA PERUVIAN COMPANY SAC, que se ubica en la región Ancash, en el distrito de Cascajal.

Para su correcta elaboración, se realizaron vuelos con los Vehículos Aéreos no Tripulados para realizar la captura de imágenes, y posterior a ello generar el ortomosaico, para luego generar el procesamiento de imágenes del espectro de luz visible mediante software libre utilizando la formula del índice GLI (Green Leaf Index). Como resultados se obtuvo que, un conteo de cultivos con una precisión del 99.31% validada con la matriz de confusión (F1-Score), reducción en la adquisición de los insumos agropecuarios del 32.51% y un ahorro de tiempo en el recorrido de cultivos de un 51.29%

Se concluye que el desarrollo del algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz con los vehículos aéreos no tripulados presenta una alternativa que es viable y se puede

replicar para otras zonas agrícolas, lo cual sienta las bases de lo que se conoce como agricultura de precisión.

Palabras Clave:

Ortomosaico, Python, procesamiento, luz visible y agricultura.

ABSTRACT

“VISIBLE LIGHT SPECTRUM IMAGE PROCESSING USING UNMANNED AERIAL VEHICLES APPLIED TO AGRICULTURE”

The purpose of this research report is to develop an algorithm that can process visible light spectrum images using unmanned aerial vehicles (UAVs). This algorithm has direct application in crop monitoring. Its objective is to improve agricultural production, optimize the use of inputs, and reduce crop monitoring time.

To ensure proper execution, the agile SCRUM methodology was applied to develop the algorithm. It employs a descriptive, applied, and technological research approach, with an inductive-deductive method. It was developed at GAMA PERUVIAN COMPANY SAC, located in the Ancash region, in the Cascajal district.

For proper development, flights were conducted with the UAVs to capture images and subsequently generate the orthomosaic. The visible light spectrum images were then processed using open source software using the Green Leaf Index (GLI) formula. The results showed a crop count with an accuracy of 99.31%, validated with the confusion matrix (F1-Score), a 32.51% reduction in the purchase of agricultural inputs, and a 51.29% time saving in crop traversal.

It is concluded that the development of the light spectrum image processing algorithm with unmanned aerial vehicles presents a viable alternative that can be replicated in other agricultural areas, laying the foundation for what is known as precision agriculture.

KEYWORDS:

Orthomosaic, Python, processing, visible light, and agriculture.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado Evaluador:

En cumplimiento a lo dispuesto por el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, ponemos a vuestra consideración el presente Informe de Investigación intitulado: **“PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL ESPECTRO DE LUZ VISIBLE USANDO VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS APLICADOS A LA AGRICULTURA”** requisito previo para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas e Informática.

La presente investigación, tiene como lugar de aplicación la empresa GAMA PERUVIAM COMPANY S.A.C., cuyo propósito consiste en el procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando vehículos aéreos no tripulados aplicados a la agricultura.

Por todo lo expuesto, a ustedes señores miembros del jurado evaluador, ponemos a su disposición nuestra Investigación, para su revisión, esperando cumpla con los requisitos mínimos para su aprobación.

Atentamente,

Bach. Leo Yair Campos Amaya

Bach. Reinjar Andree Velarde Zimic

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción del problema

Desde la antigüedad, los seres humanos han dependido de la agricultura como medio para obtener alimentos. Por ello, han desarrollado diferentes maneras y métodos para mejorar este proceso, lo que convierte a la agricultura en un pilar fundamental para la alimentación y la supervivencia humana.

Tabla 1
Crecimiento de la producción agropecuaria

Crecimiento de la producción agropecuaria (% anual)	1969 a 1999	1979 a 1999	1989 a 1999	1997-99 a 2015	2015 a 2030
Mundo	2.2	2.1	2.0	1.6	1.3
Países en desarrollo	3.5	3.7	3.9	2.0	1.7
Países industriales	1.3	1.0	1.4	0.8	0.6
Países en transición	-0.4	-1.7	-4.7	0.6	0.6

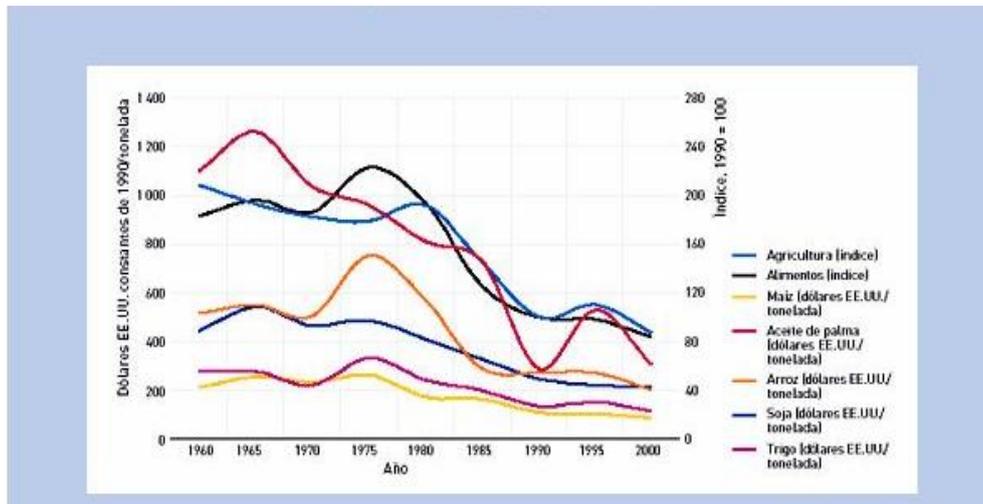
Nota: Crecimiento de la producción agropecuaria desde 1969 hasta el 2030, por FAO, 2002

La agricultura se desarrolla a nivel global, siendo este sector uno de los que presenta mayor crecimiento con el paso de los años. Como se puede observar en la Tabla 1, se muestra la proyección del porcentaje de crecimiento anual tanto a nivel global como en países desarrollados, industrializados y en transición, siendo los países desarrollados los que presentan el mayor porcentaje de crecimiento anual. A partir de estas proyecciones, se deduce que la agricultura continuará creciendo con el tiempo, por lo que es necesario

implementar distintas estrategias para mantener el ritmo de crecimiento de la producción agrícola.

Figura 1

Precios en el mercado mundial de productos agropecuarios, 1960 a 2000



Nota: Precios en el mercado mundial de los productos agropecuarios desde 1960 al 2000, por FAO, 2002

Al mencionar la producción agropecuaria, es necesario también referirse a los precios de dichos productos en el mercado mundial y analizar su evolución a lo largo de los años. Como se puede observar en la Tabla 1, los precios de los productos agropecuarios han disminuido desde 1960 hasta el año 2000, lo que ha generado una menor ganancia para los productores agropecuarios a nivel global. A partir de esto, se deduce que, para mantener un margen de ganancia óptimo, es necesario optimizar los costos de producción, es decir, producir una mayor cantidad con una inversión mínima.

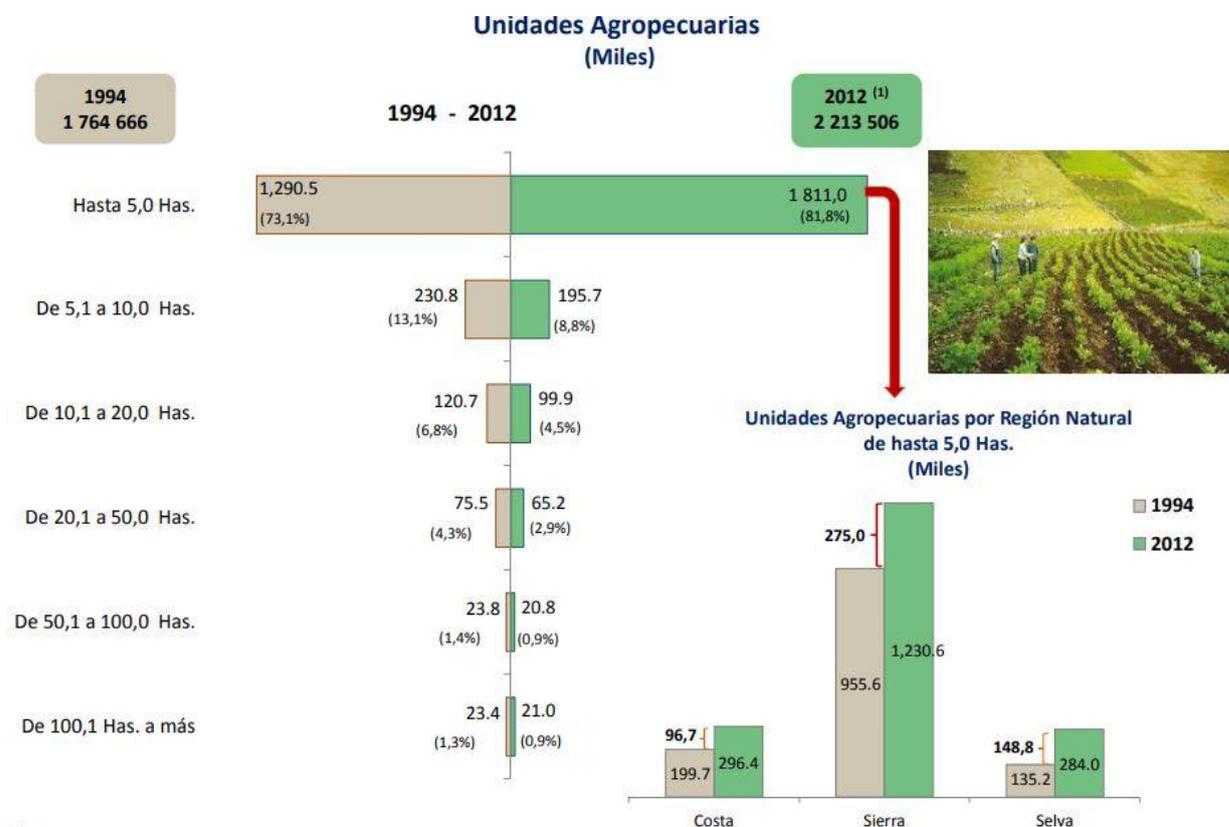
Tabla 2
Crecimiento de la demanda de productos agrícolas

Crecimiento de la	1969 a	1979 a	1989 a	1997-99 a	2015 a
Demanda de productos	1999	1999	1999	2015	2030
agropecuarios (% anual)					
Mundo	2.2	2.1	2.0	1.6	1.4
Países en desarrollo	3.7	3.7	4.0	2.2	1.7
Países industriales	1.1	1.0	1.0	0.7	0.6
Países en transición	-0.2	-1.7	-4.4	0.5	0.4

Nota: Crecimiento de la demanda de productos agrícolas desde 1969 hasta el 2030, por FAO, 2002

Anteriormente se mencionó el crecimiento de la producción agropecuaria, este se mantiene en constante aumento debido a que hay un crecimiento en la demanda de productos agropecuarios, como se visualiza en la Tabla 2, que indica las proyecciones de estos mismos, siendo en los países en desarrollo los que tienen un alto porcentaje (%) de crecimiento de la demanda; así mismo como se puede visualizar tanto en la Tabla 1 como en la Tabla 2, la demanda es menor o igual a la producción, siendo un caso óptimo, donde no se ve la necesidad por los productos agropecuarios, pero para mantener dicha brecha, la producción tiene que mantenerse en aumento y por ende se tiene que aumentar tanto la técnicas de producción para hacer este proceso más eficaz y eficiente.

Figura 2
 Comparación de unidades agropecuarias entre 1994 y 2012



Nota: Comparativa de las unidades agropecuarias desde 1994 al 2012, por INEI, 2013

Lo que se ha descrito a nivel global también puede observarse a nivel nacional: el crecimiento de la agricultura no se detiene. Como se muestra en la Figura 2, en el año 1994 se registraron 1,764,666 unidades agropecuarias, y para el año 2012 la cifra ascendió a 2,213,506, lo que representa un aumento de 448,840 unidades entre esos años. La región natural Sierra es la que cuenta con el mayor índice de unidades agropecuarias de hasta 5.0 hectáreas (1,230,060) y, a su vez, la que presentó el mayor incremento (275,000) en comparación con las otras regiones naturales.

A partir de las comparativas realizadas tanto a nivel global como nacional, se puede deducir que, para mantener el ritmo del crecimiento agropecuario, es necesario incorporar tecnologías que permitan adaptarse a este desarrollo constante.

En el Perú, se practica mayoritariamente una agricultura tradicional, lo cual implica que, como máximo, se realiza un análisis del suelo para la producción agropecuaria. Este análisis permite identificar los requerimientos del terreno de forma general, pero no es del todo confiable, ya que el suelo no es uniforme y, por ende, presenta variaciones en sus necesidades. Esto conlleva al uso inadecuado de insumos, aplicando más o menos de lo realmente necesario.

Un ejemplo de ello es la empresa **GAMA PERUVIAN COMPANY S.A.C.**, ubicada en la región Áncash, que actualmente cuenta con una parcela de once hectáreas destinada al cultivo. Esta empresa invierte aproximadamente medio millón de soles anuales en insumos agropecuarios (fertilizantes, agroquímicos). Sin embargo, desde su creación hasta la fecha, ha gestionado sus cultivos de forma tradicional. El monitoreo de cultivos se realiza mediante visitas periódicas, durante las cuales se evalúa la presencia de plagas, organismos benéficos y su interacción con las áreas cultivadas, basándose en una cantidad limitada de muestras. Con esta información, se generan informes que permiten al productor tomar decisiones. Este proceso de monitoreo presenta dos debilidades principales:

1. **Personal limitado:** El personal encargado de las visitas periódicas toma muestras de los cultivos y realiza análisis a partir de estas. La frecuencia de dichas visitas varía según la extensión de los campos asignados.
2. **Análisis basado en estimaciones:** Las evaluaciones se realizan a partir de las muestras obtenidas, generando informes basados en estimaciones del estado actual de los cultivos, lo que puede llevar a decisiones imprecisas.

Estas debilidades generan diversos problemas que impactan negativamente en el rendimiento de los cultivos de **GAMA PERUVIAN COMPANY S.A.C.**, entre los cuales destacan:

- **Inadecuada localización de zonas productivas**, debido a las dificultades del personal para identificar áreas de alto y bajo potencial de producción.
- **Deficiente manejo de insumos agropecuarios**, ya que no se determina con precisión la zona que necesita la aplicación de estos, lo que lleva a una aplicación excesiva o insuficiente de fertilizantes.
- **Elevados costos en insumos agropecuarios**, como consecuencia del mal manejo anteriormente mencionado, lo que incrementa innecesariamente los gastos de la empresa.

Tomando en cuenta lo indicado anteriormente e incidiendo en las dificultades que acarrea ser parte del sector agropecuario, se debe de analizar los problemas encontrados, para dar un mejor detalle de estos problemas y posibles soluciones para cada una de ellas.

- Considerando la inadecuada localización de zonas productivas, se propone el procesamiento de imágenes del espectro de luz visible como herramienta para mejorar la localización de dichas zonas productivas, por medio de la aplicación de un índice de vegetación (Green Leaf Index) que identifica las zonas verdes de una imagen.
- Considerando el deficiente manejo de insumos agropecuarios, el desarrollo de la presente investigación busca optimizar el uso de estos insumos en los cultivos de tal forma que solo se aplique en las zonas que necesiten mayor cuidado.

- Al considerar la inversión requerida para el coste de insumos agropecuarios, la presente investigación propone disminuir la inversión de estos insumos sin disminuir la productividad del cultivo.

1.1.2. Formulación del Problema

¿Qué impacto del uso de un algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, captadas mediante Vehículos Aéreos no Tripulados, en la mejora del rendimiento agrícola?

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Incrementar la eficiencia de la producción agrícola mediante la aplicación de un algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, captadas por Vehículos Aéreos no Tripulados.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Capturar imágenes aéreas del cultivo mediante el recorrido programado del Vehículo Aéreo no Tripulado.
- Aplicar el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible para identificar zonas con necesidad agronómicas específicas.
- Analizar el impacto del algoritmo en la optimización del uso de los insumos agropecuarios en un entorno agrícola real.
- Determinar la confiabilidad del algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, utilizando métricas como la matriz de confusión F1-Score, a partir de la comparación con datos reales y obtenidos en campo
- Reducir el tiempo necesario para el monitoreo del cultivo mediante vuelos programados con Vehículos Aéreos no Tripulados.

- Analizar la factibilidad económica de implementar un algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, aplicado en imágenes captadas con Vehículos Aéreos no Tripulados, en un entorno agrícola real.

1.3. Formulación de Hipótesis

La aplicación de un algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, captadas con Vehículos Aéreos no Tripulados, permite mejorar el rendimiento agrícola en comparación con los métodos convencionales de monitoreo, mostrando diferencias estadísticamente significativas.

- Variable Independiente (VI)

Algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando Vehículos Aéreos no Tripulados

- Variable Dependiente (VD)

Rendimiento agrícola

La operacionalización de las variables se visualiza en la Tabla 15 en el Capítulo III denominado Métodos y Materiales.

1.4. Justificación de la Investigación

La presente investigación responde a la necesidad de modernizar las prácticas agrícolas mediante el uso de tecnologías accesibles y eficientes. A pesar del crecimiento del sector, el manejo de cultivos sigue siendo mayoritariamente empírico, lo que conlleva un uso ineficiente de insumos y limitaciones en la productividad.

Este estudio propone el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados y un algoritmo de procesamiento de imágenes, con el fin de optimizar la identificación de zonas productivas y mejorar la toma de decisiones agronómicas. Además de su aplicación práctica, la investigación busca aportar evidencia teórica sobre la efectividad de esta tecnología en

contextos reales, contribuyendo así a reducir la brecha entre el conocimiento técnico y su implementación en el campo.

1.5. Importancia de la Investigación

La presente investigación es importante debido a que busca modernizar la agricultura tradicional mediante el uso de tecnología accesible, como son el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados y un algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible el cual permitirá a los agricultores identificar de forma más eficiente las zonas de cultivos y optimizar el uso de insumos y reducir los costos. Con ello, mejorar la productividad la cual impulsaría a una agricultura más eficiente, rentable y sostenible.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Nivel Local

A nivel local no existen antecedentes que estén relacionados al tema de investigación.

2.1.2. Nivel Nacional

Autor: Br. Jiménez Fernández Junior Isaac

Br. Medina Palacios Luis Eduardo

Título: Implementación del Sistema de Control de vuelo Autónomo de un DRON y modelamiento de patrones de imágenes multiespectrales para detección de plagas en el cultivo de mango en Piura

Fecha publicación: 2022

Institución: Universidad Nacional de Piura

Grado: Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico

Resumen u Objetivo

En la presente investigación tiene como objetivo la aplicación de los avances tecnológicos en la agricultura, basándose consigo en el procesamiento de imágenes multiespectrales para la detección de plagas para los cultivos de mangos de la zona de Piura, así mismo se visualiza dentro de la investigación las características del DRONE utilizado y la cámara multiespectral, como el desarrollo del plan de vuelo y el mapeo de este para un correcto desarrollo y sobrevuelo de 30 ha de los cultivos de mango, el principal objetivo es detectar las plagas que se encuentran dentro de los cultivos como

identificar las zonas cultivadas y sin cultivar y estimar un porcentaje del cultivo que es saludable o no, llegando a la conclusión que el proyecto es funcional debido a que encuentran que el lugar donde desarrolla su investigación obtienen como resultado el 40% del terreno se encuentra saludable, mientras el otro 40% se encuentra en sus propias palabras agónica y el ultimo 20% es tierra sin cultiva. (Jiménez Fernández y Medina Palacios, 2022)

Relación con nuestro trabajo

El presente estudio tiene una relación estrecha a la presente investigación que proponemos debido a que, se centra en el uso de vehículos aéreos no tripulados en zonas agrícolas, no obstante, cabe resaltar que utilizan DRONES más especializados para el trabajo, del cual para el desarrollo de nuestra investigación utilizamos un DRONE más comercial, así mismo, la forma de realizar el procesamiento de imágenes del espectro de luz visible utiliza el mismo parámetro dentro del Índice de vegetación, como también nos da muestras y parámetros de como ajustar el vuelo dentro del Software libre que proporciona los Drones DJI que es el Pix4dCapture.

Autor: Bach. Sandoval Juárez Brian Anthony

Título: Implementación de un vehículo aéreo no tripulado para el apoyo del proceso de cosecha del mango

Fecha publicación: 2020

Institución: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Grado: Tesis para optar el Título de Ingeniero Sistemas y Computación

Resumen u Objetivo

La presente tesis tiene como objetivo el desarrollo de la agricultura de precisión, la cual se enfoca en el correcto desarrollo del cultivo bajo estándares de supervisión utilizando los Vehículos Aéreos no Tripulados o mejor conocidos como DRONE, tiene como finalidad el mejorar la satisfacción de los clientes externos y de los agricultores de la zona apoyando el proceso de la cosecha de mango bajo la implementación de un DRONE, para esto utilizan un DRONE del fabricante DJI la cual bajo régimen de procesamiento de imágenes logran identificar consigo las zonas más calificadas para realizar las plantaciones de mangos correspondientes obteniendo consigo un aumentos del 70% en la satisfacción del usuario final, y como dato final se obtuvo una reducción de tiempo de un aproximado de 85% en la revisión de cultivos de mango. (Sandoval Juárez, 2020)

Relación con nuestro trabajo

El presente estudio es de relevancia para la investigación presente debido a que proporciona las pautas necesarias para un correcto recorrido del DRONE y capturas pertinentes de imágenes las cuales se pasarán a utilizar para el procesamiento de imágenes por medio del espectro de luz visible aplicando consigo el índice de vegetación que más se adecue para la presente investigación, nos muestra como considerar las capturas de las imágenes en el poco tiempo que tiene de duración el vuelo del DRONE, así mismo, nos muestra que utilizando las técnicas adecuadas se lograría una satisfacción y reducción el proceso tradicional para el cultivo.

Autor: Bach. Tello Vargas Carlos Alfonso

Bach. Herrera Victorio Eduardo Guillermo

Título: Diseño e Implementación de un Drone de ala Fija para el estudio de índices de vegetación para la agricultura de precisión en el fundo Altamirano - ICA

Fecha publicación: 2019

Institución: Universidad Ricardo Palma

Grado: Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico

Resumen u Objetivo

La presente tesis se concentra en el desarrollo y creación de un DRONE que se acople a las necesidades que tienen para el vuelo monitoreado y el desarrollo de los índices de vegetación para una correcta aplicación de la agricultura de precisión, tiene como objetivo el correcto funcionamiento del DRONE desarrollado como obtener un Software adecuado para que cumpla con las necesidades tanto en tiempo de vuelo y captura de imágenes, obtienen como resultados, que luego de a ver probado el Software en tiempo real, notaron una diferencia en el tiempo de recorrido tradicional frente a la inspección de los cultivos de forma manual, así mismo desarrollaron un Software que pueda recorrer los cultivos en el menor tiempo posible, y como una plusvalía dan a conocer los beneficios de la agricultura de precisión como el correcto uso de los medios tecnológicos para ir adecuando ciertas características que se desarrollan de forma tradicional. (Tello Vargas y Herrera Victorio, 2019)

Relación con nuestro trabajo

El presente estudio se toma como relevancia debió a las pruebas que se realizó basándose en los índices de vegetación, donde se precisa los diferentes índices que puede utilizar, donde para el presente proyecto basándonos en la información brindada

por la tesis previa podemos basar nuestro Índice de Vegetación en el GLI (Green Leaf Index) que es el índice de vegetación más utilizado y que se basa las tres bandas del espectro de luz visible que son los colores primarios, también nos hace tener en cuenta que se tiene que medir correctamente el terreno para con ello medir de una forma adecuada el tiempo de vuelo que va a recorrer nuestro Vehículo Aéreo no Tripulado para una correcta toma de imágenes de todo el terreno.

2.1.3. Nivel Internacional

Autor: Lic. Cedeño Fuentes Jayson

Título: Agro Drone - BI

Fecha publicación: Junio 2020

Institución: Universidad de Chile

Grado: Plan de negocios para optar el grado de Magíster en Administración

Resumen u Objetivo

La presente lejos de ser el método de desarrollo de los DRONES dentro de la agricultura, muestra cómo funciona la parte administrativa y logística detrás del desarrollo de esta misma, lo cual como indica el investigador de la presente busca ayudar a los pequeños y medianos agricultores que se dedican al sembrío de arroz y caña de azúcar para mejorar la calidad de los cultivos y reducción de tiempo de supervisión, basándose en técnicas especializadas para el control y monitoreo de estos mismos, tienen como objetivo el mejorar el trabajo que se desarrolla en el campo tanto en la reducción de las horas hombre que se aplica dentro de estos labores como también

una mejor precisión basándose en técnicas de agricultura de precisión y haciendo uso de herramientas tecnológicas. (Cedeño Fuentes, 2020)

Relación con nuestro trabajo

El presente estudio, nos hace tener un enfoque más centrado sobre el uso y el costo del Vehículo Aéreo no Tripulado, que indiferente al precio u coste que pueda tener, se puede realizar un trabajo de igual relevancia con las pocas herramientas que se puedan ir teniendo, cabe resaltar que se tiene que utilizar los medios adecuados como son las librerías libres que permitirán realizar un adecuado procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, también nos lleva a ver el costo / beneficio que pueden tener algunos modelos de DRONE frente a otros, y también, con la investigación anterior podemos ver que la investigación que nosotros realizamos se tiene que adecuar a las necesidades del usuario final, para consigo obtener una adecuada armonía y mejores datos según la realidad en la que se encuentre el terreno a tratar.

Autor: Lic. Aranda Bastida Bernardo

Título: Efectos del uso de DRONES en la agricultura mexicana: El caso del Valle del Mezquital, Hidalgo.

Fecha publicación: Enero del 2021

Institución: Universidad Autónoma Metropolitana

Grado: Tesis para obtener el grado de Magíster en Sociología

Resumen u Objetivo

La presente Tesis, tiene como finalidad el describir como los DRONES ha tenido una influencia positiva dentro de la agricultura mexicana con el pasar de los años, dando

consigo un correcto acople a la agricultura de precisión, donde los DRONES es mayormente usada en las zonas aledañas a la parte metropolitana, así mismo, como más agricultores poco a poco toman la iniciativa de implementar dicho beneficio para sus propios cultivos. La presente tiene como finalidad analizar el desplazamiento de la mano tradicional frente al uso de los DRONES dentro de la agricultura de precisión en los pueblos mexicanos, también optan por describir como fue el proceso de modernización que se optó para llegar hasta el punto en el cual se encuentran actualmente, e infieren que este beneficio es ambivalente en decir es beneficioso porque ayuda a mejorar la producción en el sector, pero ocasiona consigo un desplazamiento del capital humano. (Aranda Bastida, 2021)

Relación con nuestro trabajo

El presente estudio lejos de ser poco relevante para la presente, nos da un enfoque nuevo de como abarcar a la renuencia al cambio, e incentivar como motivar el cambio a las nuevas tecnologías que esta acarrea para una mayor facilidad en la funcionalidad del trabajo del día a día en el campo, obteniendo consigo resultados prometedores en un menor tiempo, así mismo, se debe tener en cuenta que un objetivo que se debe buscar es la reducción en los tiempo en los recorridos de los cultivos y que este consigo acarre la reducción del capital humano, debido a la automatización del proceso de mantenimiento de cultivo y sobre todo se tiene que recalcar al usuario final que pese a ser una herramienta que facilita el trabajo en la agricultura puede ser usado como una arma de doble filo, redactando de forma coloquial, debido a que, si el usuario final no se adecua al cambio puede quedar rezagado frente a los avances tecnológicos que puede emplear la competencia directa de estos mismos.

Autor: Bach. Erika Andrea Segura Castillo

Título: Estudio de factibilidad del uso de DRONES para la fumigación en el cultivo de Arroz en Daule

Fecha publicación: Marzo 2021

Institución: Universidad de Guayaquil

Grado: Tesis para optar el Grado de Bachiller en Ingeniería Agronómica

Resumen u Objetivo

La presente Tesis tiene como objetivo central el estudiar la factibilidad del uso de los DRONES para la fumigación, se centra sobre todo en el modelo y la potencia del DRONE y en la eficiencia en el vuelo de estos mismos, para el presente se utilizar DRONES del fabricante DJI debido a ser los más aptos para realizar dichos labores, así mismo se obtiene como resultados, que los DRONES realizan labores de fumigación en tiempos más óptimos que realizándose de forma tradicional, se concentra sobre todo en el tipo de recorrido que puede hacer el DRONE el cual favorece en el tema del tiempo que se realizar el recorrido de las hectáreas del cultivo, el cual se realiza con una adecuada programación del vuelo por medio del Pix4 que es un software de uso libre del fabricante DJI. También se resalta en el ahorro de presupuesto, debido a la reducción de personal que acarrea la implementación de este apoyo tecnológico. (Segura Castillo, 2021)

Relación con nuestro trabajo

El presente estudio tiene una relación estrecha con nuestra investigación debido a que tomamos como base el concepto del recorrido de los Vehículos Aéreos no Tripulados

para la fumigación, debido a que buscan abarcar la mayor cantidad de terreno en el menor tiempo posible, mientras que para el desarrollo de nuestra investigación optamos por recorrer el terreno de la forma más óptima que nos permita realizar las tomas de imágenes correspondientes para el procesamiento de las imágenes del espectro de luz visible, así mismo también consideramos la variable de la reducción de personal, debido a ser una labor que se está automatizando, se requerirá de menos personal para realizar las labores de monitoreo y control, el cual se puede aprovechar para los insumos necesarias para el correcto mantenimiento del cultivo.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. *Censado Remoto*

Es una técnica que ayuda a obtener información de un lugar o zona sin necesidad de entrar en contacto físico con ella, por medio de plataformas aéreas la cual ayuda a recopilar información de la zona teniendo en cuenta los diferentes materiales que se encuentre dentro del lugar o zona a inspeccionar. (Camacho Velasco, Vargas García, Rojas Morales, Castillo Castelblanco, & Arguello Fuentes, 2015)

2.2.2. *Georreferenciación*

Es un aspecto fundamental para el análisis de datos geoespaciales, debido a que es el pilar para una correcta localización de la información sobre el mapa. Es una técnica para el posicionamiento espacial de una entidad en una locación geográfica única y adecuadamente definida según un datum específico y un sistema de coordenadas. (dChain, 2016)

2.2.3. *Geo TIFF*

Es el estándar que ayuda a integrar la información georreferenciada de una imagen en formato .tiff. Esta información puede venir de diferentes fuentes como son: sistemas de

imágenes satelitales, mapas escaneados, fotografías aéreas escaneadas o ser un resultado de un análisis geográfico. Su principal objetivo es de vincular el mapa de bits de una imagen a una proyección conocida. (GISdevelopment, 2025)

2.2.4. *Ortomosaico*

Se define como una imagen que se genera mediante múltiples fotografías de un área georreferenciada, las cuales se ajustaron geométricamente para corregir diferentes distorsiones que se provocan por la perspectiva, la altitud por la que vuela el VANT, el relieve del terreno y la inclinación que tiene la cámara. A diferencia de una imagen tradicional, un ortomosaico ofrece una representación precisa que lo facilita para la medición de distancias, superficies e identificación detallada de los elementos que se encuentran en el entorno.

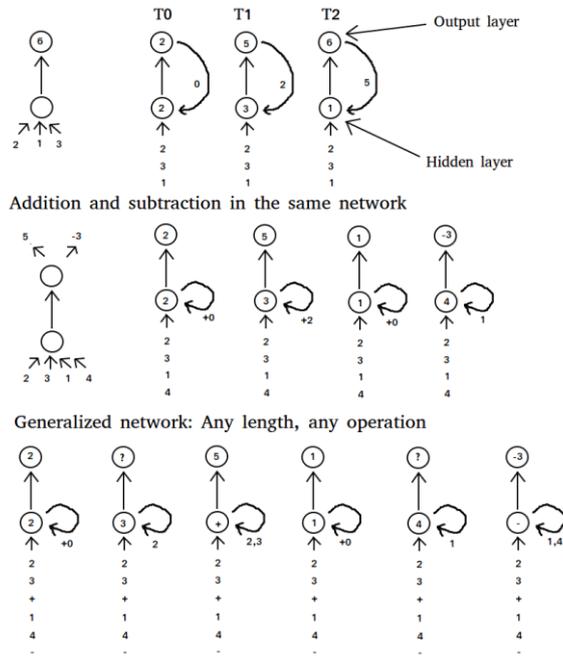
En base al contexto de la agricultura de precisión, esta herramienta es muy útil para evaluar el estado de los cultivos, el diagnóstico, monitoreo y planificación para posibles sistemas automatizados que utilicen la precisión geoespacial que se obtiene por esta herramienta. (Colomina & Molina, 2014)

2.2.4. *Librería Sequence Learning*

Los procesos que intervienen en el aprendizaje en el orden correcto a los eventos se le denomina aprendizaje secuencial, el presente aprendizaje se puede aplicar en su totalidad para la codificación, así como aprender las diferentes propiedades que puede tener un proceso. (Conway, 2012)

Una explicación adecuada del aprendizaje secuencial, como se visualiza en la Figura 3, Consiste en que la red neuronal normal tomará todas las entradas a la vez para ejecutarlas, mientras que la red neuronal recurrente que tiene consigo el Sequence Learning tomará cada entrada para paso de tiempo. (NVIDIA, 2016)

Figura 3
 Comparación entre una red neuronal recurrente y una normal



Nota: Se presenta la comparación entre una red neuronal normal y recurrente, por Nvidia, 2016

Para entender la presente librería se tiene que tener en cuenta que todo en la vida depende del tiempo, por lo tanto representa una secuencia. Para poder realizar el presente aprendizaje, se puede usar una red neuronal, para así alimentarla con una secuencia completa, pero el tamaño de la entrada tiene que ser fijo, el cual es un factor limitante. Otro problema trascendental es que si los datos importantes se encuentran fuera de la secuencia se toman en otra ventana. Para poder afrontar de forma correcta este aprendizaje y minimizar los problemas que pueden ocurrir se necesita:

- Una red neuronal que se pueda alimentar con una longitud arbitraria de secuencias.
- Una red que tenga algún tipo de memoria para recordar eventos importantes que sucedieron pasos atrás. (NVIDIA, 2016)

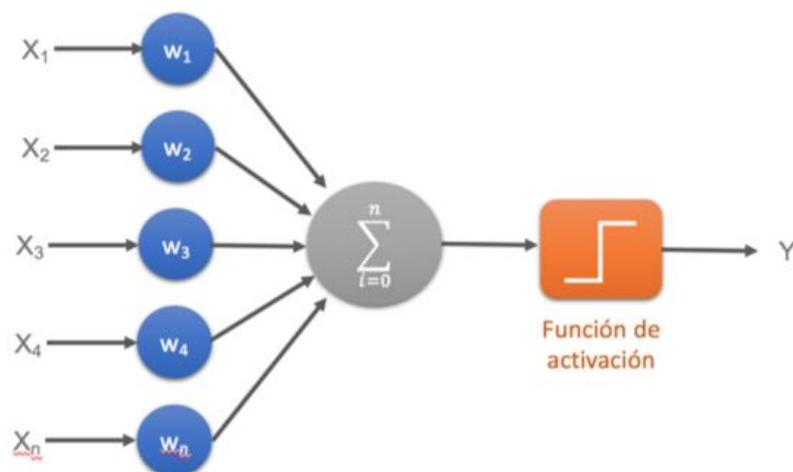
2.2.5. Red Neuronal Artificial (RNA)

Las RNA son redes que están interconectadas de forma masiva en paralelo a elementos simples y poseen una jerarquía, las cuales interactúan con objetos que pertenecen al mundo real tal y como podría interactuar el sistema nervioso de una persona. (Calvo, 2017)

2.2.5.1. Conceptos Básicos

- Conjunto de Entradas ($x_1 \dots x_n$): Es la entrada de información para la RNA.
- Pesos Sinápticos ($w_1 \dots w_n$): **Cada entrada tiene un peso que se ajusta automáticamente a la RNA, según como valla aprendiendo.**
- Función de Agregación (Σ): **Realiza una sumatoria de las entradas ponderadas por su peso.**
- Función de activación (F): La función habitual para cumplir con este objetivo es la sigmoide, tiene como función mantener la salida en un rango de (0,1) o (-1,1).
- Salida (Y): Es el valor resultante tras recorrer toda la RNA. (Calvo, 2017)

Figura 4
Conceptos Básicos RNA

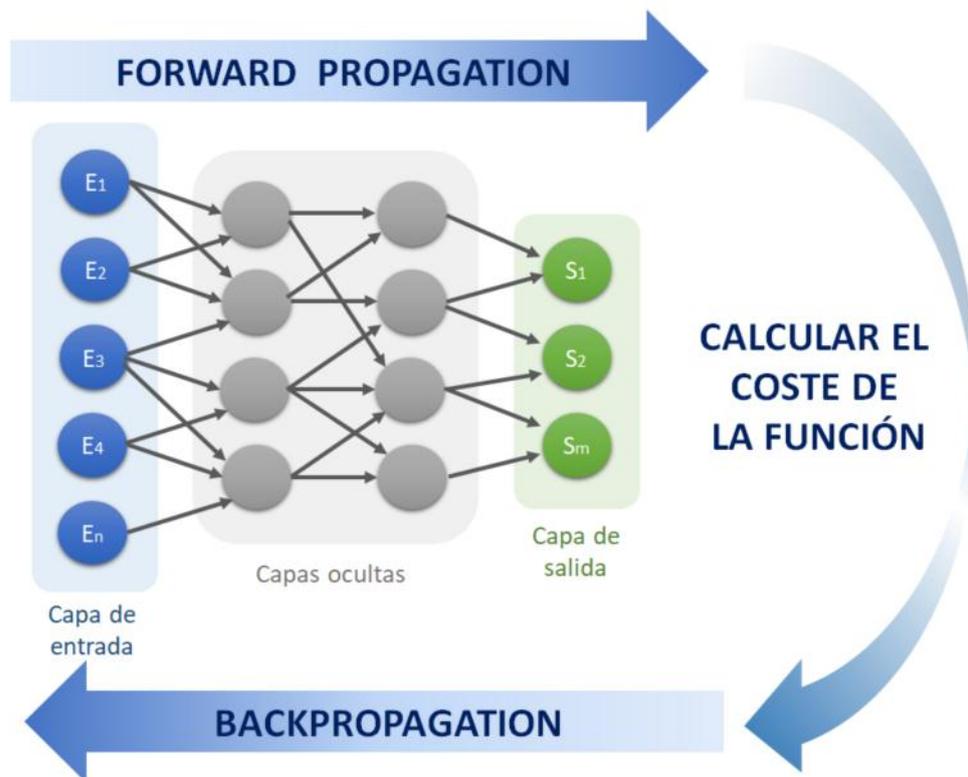


Nota: Conceptos básicos para comprender el funcionamiento de una Red Neuronal Artificial, por Calvo, 2017

2.2.5.2. Proceso de aprendizaje de una RNA

- **Forward Propagation:** Es parte de la RNA, donde inicia en la capa de entrada y termina en la capa de salida, para todo este proceso se hace la suma ponderada de acuerdo al peso establecido para cada una de ellas, luego sigue por la función de activación y este genera el resultado que continua para la siguiente capa, todo este proceso se repite hasta la ultima capa de la RNA y por ende al concluir da el resultado de la RNA. (Calvo, 2017)
- **Calcular el coste de la Función:** Se basa según la función de coste, la cual calcula el margen de error que tiene entre el valor resultante de la RNA y el valor real que debió obtenerse, con el fin de poder optimizar todo el proceso. (Calvo, 2017)
- **Backpropagation:** Tiene como función principal ajustar los pesos de la red mediante la retropropagación del error, es decir, desde la capa de salida hacia las capas anteriores. Ese ajuste se realiza en base al cálculo del gradiente de la función de error, lo cual permite mejorar progresivamente la precisión del modelo. Según Calvo (2017), este proceso busca determinar la contribución de cada nodo en el error final, permitiendo una corrección eficiente durante el aprendizaje

Figura 5
Proceso de Aprendizaje de una RNA



Nota: Se presentan el proceso por el cual una Red Neuronal Artificial realiza su aprendizaje, por Calvo, 2017

2.2.6. Agricultura

La agricultura es una actividad humana donde se debe combinar los conocimientos y procedimientos sobre tratamiento de la tierra, tiene como objetivo la producción de alimentos como son: frutas, verduras, hortalizas, entre otros.

Se puede asignar como una actividad económica del sector primario. Dentro de esta se puede incluir todos los actos que realiza el hombre que tengan que ver con la modificación del medio ambiente que nos rodea, para poder hacer ello más apto para poder mejorar la productividad del suelo y así obtener alimentos de buena calidad.

No obstante es un recurso que se debe tratar de forma más responsable debido a que la trata irresponsable de esra actividad humana puede causar fuertes impactos dentro del

medio ambiente y causar poco a poco el deterioro de esta actividad y cambios drásticos en la vida del ser humano. (Raffino, 2019)

2.2.7. Vehículo Aéreo no Tripulado

Según Castro-Jorge y Inamasu, 2014 como se cito en (García, Herrera, & Erazo Mesa, 2015) Un vehículo aéreo no tripulado también conocido como UAV o Drone, es reconocido por ser una aeronave autónoma de fácil acceso para todas las personas. Una definición consisa de esto, es que es un vehículo capaz de volar por la atmósfera, y que fue diseñado y mejorado para no necesitar un piloto por ello el término no tripulado y que puede ser operado por un control remoto desde una distancia prudente o también puede ser autónomo.

Los vehículos aéreos no tripulados se dividen en dos categorías:

- **Ala fija:** Usan la fuerza aerodinámica para poder despegar.
- **Ala Rotatoria:** Son parecidos a los helicópteros, debido a que dependen de sus alas para poder despegar.

Sin importar cual sea su categoría, los vehículos aéreos no tripulados siempre cuentan con estas partes que son importantes para su funcionamiento: Autopiloto, GPS – Motor – Hélice – Potencia, Estación de control y Software de misión. Para poder concluir sobre el mundo de los UAV podemos decir que el tiempo de vuelo de cada uno puede variar, pero actualmente algunos pueden llegar a volar 45 minutos (de uso comercial) mientras que otros que son utilizados en diferentes áreas ese tiempo varía. (García, Herrera, & Erazo Mesa, 2015)

2.2.8. La matriz de confusión y sus métricas

La presente es una herramienta para el aprendizaje automático bajo supervisión, la cual sirve para evaluar el rendimiento de los modelos utilizados. La matriz de confusión se

compone de cuatro elementos que permiten identificar aciertos y error del modelo a evaluar, dichos componentes son: (Arce, 2019)

- **Verdaderos Positivos (VP)**

En la evaluación del modelo el valor real es positivo y la realización de la prueba predijo que era positivo.

- **Verdaderos Negativos (VN)**

En la evaluación del modelo el valor real es negativo y la realización de la prueba predijo que era negativo.

- **Falsos Positivos (FP)**

En la evaluación del modelo el valor real es negativo y la realización de la prueba predijo que era negativo.

- **Falsos Negativos (FN)**

En la evaluación del modelo el valor real es negativo y la realización de la prueba predijo que era positivo.

Figura 6
Matriz de Confusión (F1-Score)

		VALORES ACTUALES	
		POSITIVO	NEGATIVO
VALORES PREDICTIVOS	POSITIVO	VERDADERO POSITIVO	FALSO POSITIVO
	NEGATIVO	FALSO NEGATIVO	VERDADERO NEGATIVO

Nota: Representación gráfica de la estructura de la Matriz de Confusión (F1-Score)

Mediante los elementos descritos anteriormente , se derivan las siguientes métricas, las cuales son:

- **Accuracy**

Se define como lo cercano que se encuentra el resultado de medición al valor verdadero, la formula que la define es la siguiente:

$$\frac{VP + VN}{VP + FP + FN + VN}$$

- **Precision**

Se define como el porcentaje de mediciones positivas detectados en la medición real, la formula que la define es la siguiente:

$$\frac{VP}{VP + FP}$$

- **Sensibilidad (recall)**

Se define como la tasa de aciertos que fueron encontrados e indentificados dentro del algoritmo con respecto al valor real positivo, la formula que la define es la siguiente:

$$\frac{VP}{VP + FN}$$

- **Especificidad (specificity)**

Se define como la tasa de desaciertos que fueron encontrados e indentificados dentro del algoritmo con respecto al valor real negativo, la formula que la define es la siguiente:

$$\frac{VN}{VN + FP}$$

- **Puntaje F1 score**

La presente métrica es la más empleada debido a que resumen la precisión y sensibilidad en una sola métrica, la cual ayuda con una correcta distribución de los datos evaluados.

$$PuntajeF1 = \frac{2 * Precision * Sensibilidad}{Precision + Sensibilidad}$$

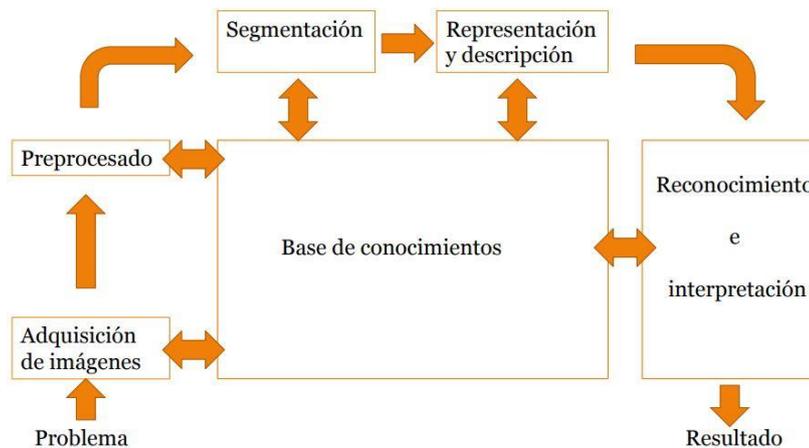
2.2.9. *Procesamiento Digital de Imágenes*

Es conocido por ser una rama de la electrónica, tiene principalmente dos aplicaciones: perfeccionar la información detallada de un archivo de imagen para la percepción humana y procesar un archivo de imagen para su almacenamiento, representación y transmisión para la percepción de las máquinas autónomas. (González Marcos, y otros, 2006)

2.2.9.1. *Etapas del procesamiento digital de imágenes.*

El procesamiento digital de imágenes se encarga se divide en 5 etapas fundamentales las cuales son: adquisición de imagen, pre procesado, segmentación, representación y descripción y reconocimiento e interpretación.

Figura 7
Procesamiento digital de imágenes



Nota: Estructura para realizar el procesamiento de imágenes digitales, por Jiménez Rodríguez, curso 2017 – 2018

- Primera fase: Se digitaliza o establece la imagen a querer tratar.
- Segunda fase: Consiste en mejorar la imagen para así poder aumentar las probabilidades de éxito para posteriores procesos.
- Tercera fase: Consiste en dividir la imagen en partes sustituyentes u objetos.

- Cuarta fase: Consiste en convertir los datos de los píxeles, obtenidos en la tercera fase, de tal forma que sirva para el procesamiento por la computadora. Y para luego extraer algún rasgo de la imagen con alguna información de interés cuantitativo para lograr diferenciar un objeto de otro.
- Quinta fase: Consiste en la asignación de las etiquetas de los objetos basándose en la información brindada por la fase anterior para luego asignarle un significado a un conjunto reconocido de objetos.

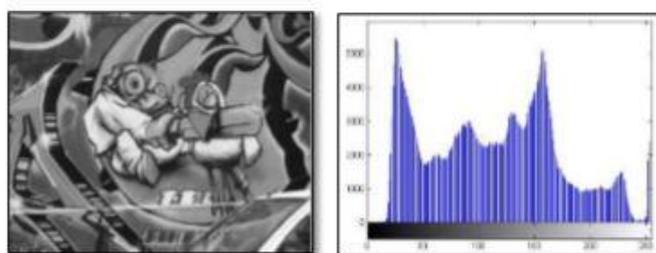
Estas fases se siguen de manera secuencial para obtener un procesado adecuado. (Jiménez Rodríguez, curso 2017 - 2018)

2.2.9.2. Histograma de la imagen

Se conoce como histograma de una imagen a la representación de una frecuencia de aparición de cada valor. Para ello se sabe que el color negro se representa por el número 0 y el color blanco por el número 255 (Escala de grises), Es decir muestra los pixeles más oscuros y claros. (Gonzalo Pajares & de la Escalera Hueso, 2016)

Figura 8

Representación del histograma de una imagen



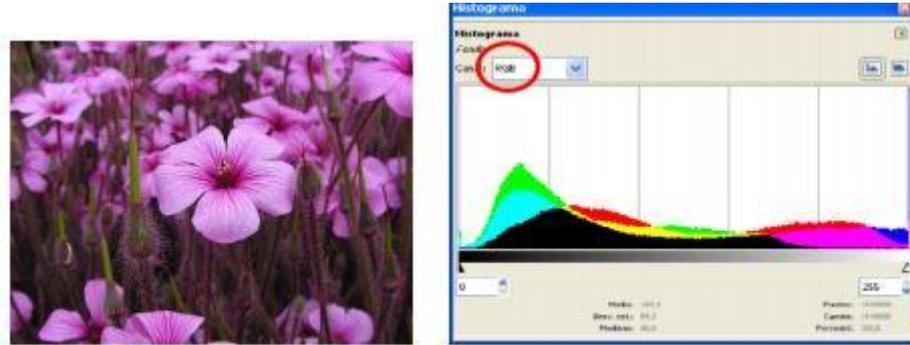
Nota: Se muestra la representación de un histograma en escala de grises de una imagen, por Gonzalo Pajares & de la Escalera Hueso, 2016

A. Histograma de canales de color.

Para imágenes en colores es factible generar el histograma de canales de color, que cabe mencionar que es la superposición de 3 histogramas diferentes que

corresponden a una imagen RGB (Red – Green – Blue). (Atienza Vanacloig, 2025)

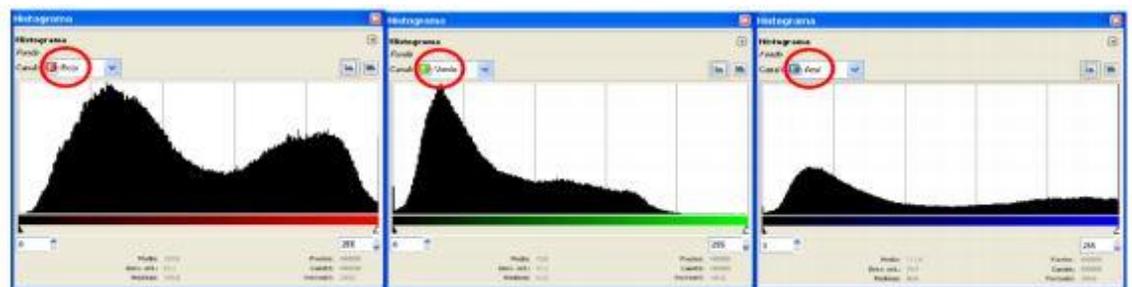
Figura 9
Representación de una imagen con su histograma de canales de color



Nota: Se muestra la representación de un histograma en escala de colores, por Atienza Vanacloig, 2025

Así mismo se puede representar en tres histogramas diferentes para cada uno de los canales.

Figura 10
Representación de una imagen con sus 3 histogramas separados



Nota: Se muestra la representación gráfica de una imagen con los 3 histogramas de colores RGB por separado, por Atienza Vanacloig, 2025

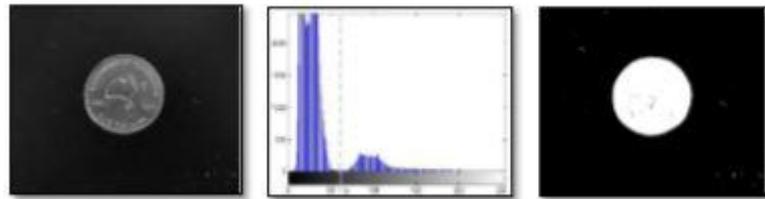
2.2.9.3. Umbralización del histograma.

Este proceso tiene como resultado una imagen binarizada, Siendo i e i' la imagen original y umbralizada respectivamente, U como el valor de intensidad para el

umbral y L-1 el máximo nivel de intensidad. Esto se puede representar por la siguiente fórmula. (Gonzalo Pajares & de la Escalera Hueso, 2016)

$$I'(i,j) = \begin{cases} 0, & I(i,j) < U \\ L - 1, & I(i,j) \geq U \end{cases}$$

Figura 11
Representación de la umbralización de un histograma

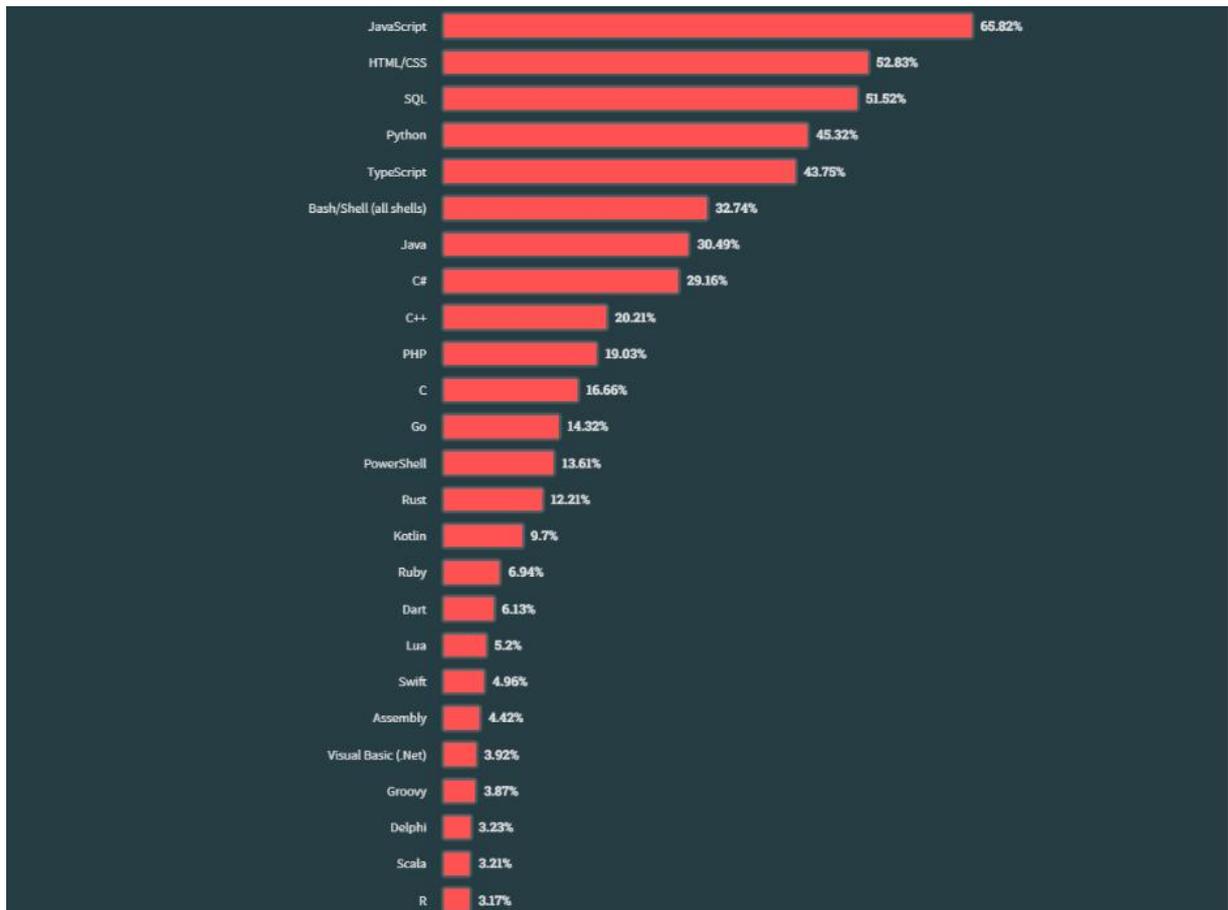


Nota: Se muestra la representación de la umbralización de un histograma, por Gonzalo Pajares & de la Escalera Hueso, 2016

2.2.10. Lenguajes de Programación

Se define como un sistema que se comunica a través de instrucciones diseñadas para que la computadora las entienda y ejecute. Los programadores utilizan estos lenguajes para escribir código que sea comprensible para la máquina, permitiéndole realizar las tareas específicas indicadas en dicho código. (Manzanares, 2024)

Figura 12.
Lenguajes de programación más populares en 2024



Nota: Se muestra la escala de los lenguajes de programación más populares en el año 2024, por Manzanares, 2024

Entre los más destacados visualizamos Python que es el lenguaje de programación que se ajusta a las necesidades de la investigación.

2.2.11. Python

Python se diferencia de los demás lenguajes de programación debido a que ninguna empresa u organización tiene control sobre el mismo, así mismo, está gestionada por la Python Software Foundation, que es una sociedad sin ningún fin de lucro, la cual se dedica a difundir el presente lenguaje de programación y apoya a su evolución. Este mismo está licenciado por la PSFL, que deriva de BSD y es compatible con GLP. (Zeforas, 2018)

La característica por las cuales destaca Python son las siguientes:

- Es un lenguaje de multiparadigma.
- Está orientado a objetos, pero también tiene lo que es la programación imperativa, funcional, reflexiva y procedural.
- Es un lenguaje interpretado.
- Es de tipado dinámico, pero desde la versión 3.5 se puede usar el tipado estático.

Se dice que Python es más lento a comparación de otros lenguajes de programación en el tiempo de ejecución, y es totalmente cierto, ya que es un lenguaje interpretado, se concluye que Python es lento. No obstante, esto no amerita grandes dificultades, debido a que las diferencias entre las velocidades son ínfimas. (Zeforas, 2018)

2.2.12. Color

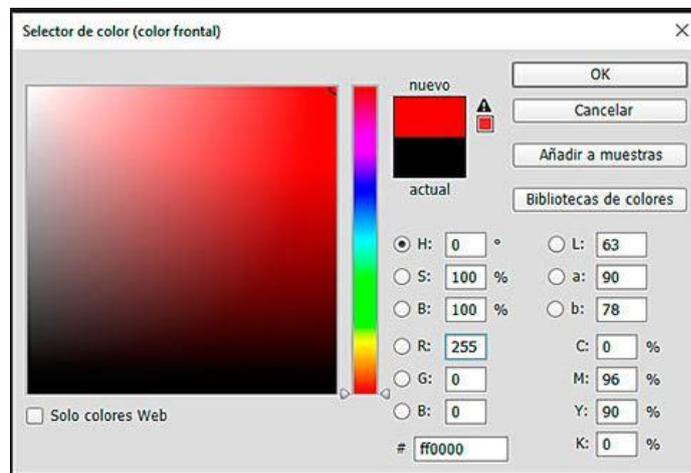
Se define como la percepción u interpretación del cerebro que hace sobre las señales nerviosas que son enviadas desde los ojos. La interpretación de este mismo es parte del sentido de la vista, por ello cada ser humano puede apreciar los colores de manera distinta y similar (si no sufre de alguna anomalía en la visión). (Palmer, 1999)

2.2.12.1. Modelo RGB

Este modelo está conformado por los colores primarios rojo, verde y azul (que por sus nombres en inglés red, green y blue se consiguen las siglas RGB) este modelo es el más conveniente para mostrar dentro de computadoras, dicho modelo utiliza los tres colores antes mencionados para llegar a producir hasta 16,7 millones de diferentes colores. Este modelo se basa según la síntesis aditiva, es decir para representar un color se mezclan por adición los otros colores primarios de la luz. RGB asigna una intensidad a cada píxel que se encuentre oscilando entre 0 (negro) y

255 (blanco) para cada componente del modelo RGB de una imagen de color.
(Gonzalez & Woods, 2018)

Figura 13
Ejemplo del modelo RGB



Nota: Se muestra un ejemplo del modelo de los colores del RGB, captura propia mediante software de edición digital

2.2.13. Evaluación de Metodologías Ágiles

En el desarrollo de software, un marco ágil es un enfoque basado en principios que guían la creación de soluciones a través del trabajo colaborativo de equipos multidisciplinarios y auto gestionados. Este tipo de metodología fomenta la planificación flexible, el avance progresivo, la entrega temprana de resultados y la mejora continua, permitiendo una respuesta rápida y eficaz ante los cambios. (Righth People Group, 2025)

Para tener un amplio panorama de los siete tipo de métodos ágiles que son más conocidas dentro del desarrollo de proyectos, tanto sus beneficios y limitaciones para así poder visualizar cual es la mejor metodología que se aplique para el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 3.

Cuadro comparativo de las 7 Metodologías Ágiles para proyectos

METODOLOGÍA	DEFINICIÓN	BENEFICIOS	RESTRICCIONES
SCRUM	Marco ágil fundamentado en etapas conocidas como sprints, funciones, artefactos y sucesos	<ul style="list-style-type: none"> • Roles definidos • Mejora continua • Enfoque colaborativo • Entrega frecuente 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere compromiso por ambas partes • Si no se desarrolla adecuadamente puede volverse burocrático
Kanban	El presente método sirve para gestionar las tareas en un flujo continuo.	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad • Visualización objetiva del trabajo • Control en los flujos 	Sin una correcta estructura los proyectos complejos se dificultan
Extrem Programming (XP)	Basado en prácticas técnicas que garantizan la calidad del proyecto u software.	<ul style="list-style-type: none"> • Correcta programación • Rápida detección de errores • Colaboración grupal 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil de adoptar para equipos nuevos • Exige un nivel de programación alto.
Lean Software Development	Basado en la búsqueda y optimización al valor del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en los procesos • Eficiencia • Enfoque en lo primordial 	Exige una transformación cultural y madurez organizacional óptimo
Crystal	Basado en un conjunto de metodologías que se adaptan al tamaño y criterio de los equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptabilidad • Simplicidad • Enfoque humano 	No exige formalismo en el equipo por lo cual lleva a una desorganización en proyectos grandes

METODOLOGÍA	DEFINICIÓN	BENEFICIOS	RESTRICCIONES
DSDM	Enfoque orientado a proyectos iterativos, donde se define fases y roles claros.	<ul style="list-style-type: none"> • Control en las entregas • Enfoque empresarial 	Complejo para proyectos pequeños y requiere tiempo con los usuarios
FDD(Feature Driven Development)	Enfoque centrado en el diseño y construcción específica de funciones	<ul style="list-style-type: none"> • Óptima planificación • Seguimiento del progreso • Enfoque al proyecto 	Poco flexible para los cambios y no exige participación activa del cliente

Nota: Cuadro comparativo elaborado por el autor con base en Pressman (2015) y Highmirth (2002), para facilitar la visualización de los beneficios y restricciones de las metodologías ágiles más utilizadas.

Según lo mostrado en la Tabla 3, se presenta una comparación entre las diferentes metodologías ágiles aplicables al desarrollo de proyectos. En ella se destaca que la metodología SCRUM es la más adecuada para el presente trabajo, ya que permite dividir el proyecto en *sprints*, definir funciones específicas, fomentar un enfoque colaborativo y garantizar la entrega continua de avances. Además, facilita la coordinación con las partes interesadas en cada etapa del proceso. Dado que este proyecto puede estar sujeto a cambios durante su ejecución, SCRUM resulta ser la metodología que mejor se adapta a sus necesidades.

2.2.14. Metodología SCRUM

Es un proceso donde las buenas prácticas se aplican para poder trabajar en equipo colaborativamente, y así obtener los mejores resultados del proyecto. Dichas prácticas

se sostienen unas con otras y la selección de estas mismas tiene origen en la forma de laborar de los equipos conformados. En la metodología Scrum se hacen entrega parciales y regulares del producto final, esta metodología es eficaz para proyectos complejos, que necesiten resultados proximos y con requisitos cambiantes. (Trigas Gallego, 2012)

2.2.14.1.Fases

A. Las Reuniones

Planificación del Backlog: Definé la planificación del Sprint 0, donde se reflejará los objetivos y el trabajo que se ha de realizar para esta iteración. Además se obtendra el Sprint Backlog en otras palabras la lista de tareas. (Trigas Gallego, 2012)

Seguimiento del Sprint: Se evaluá el avance de las tareas. (Trigas Gallego, 2012)

Revisión del Sprint: Cuando se concluyá el Sprint se realiza una evaluación de incremento que ha generado, donde se presentará el resultado final, una versión, el cual permitirá mejorar la retroalimentación con el cliente. (Trigas Gallego, 2012)

B. Los Roles

Se muestra a las personas que estan comprometidas con el proyecto y el proceso SCRUM.

Product Owner: Es quien conoce el negocio del cliente y toma las decisiones, su funcion es escribir las ideas del cliente, y ordenarlos por prioridad y las coloca en el Product Backlog. (Trigas Gallego, 2012)

ScrumMaster: Es quien se encarga de comprobar que la metodología y el modelo tiene un funcionamiento correcto. (Trigas Gallego, 2012)

Equipo de Desarrollo: Suele ser un pequeño equipo que tienen como función organizar y tomar decisiones para lograr el objetivo. (Trigas Gallego, 2012)

C. Elementos de SCRUM

Product Backlog: Son las necesidades del cliente. Para el desarrollo de este se tiene en consideración lo siguiente:

1. Historias de Usuario

Son las descripciones de la funcionalidad que debe tener el software, esto se realiza debido a la colaboración del cliente con el equipo. (Trigas Gallego, 2012)

2. Product Backlog

Es la priorización que tiene cada funcionalidad del software para tener en cuenta cual es que tiene una prioridad elevada y cual tiene una prioridad baja (es conveniente que se cuando se realice el backlog se tenga en cuenta: indicador para la funcionalidad, Descripción de la funcionalidad, Sistema de priorización u orden y Estimación) (Trigas Gallego, 2012)

Sprint Backlog: Son las tareas que se realizan dentro de un sprint.

Incremento: Es la parte desarrollada del sprint.

2.2.14.2. Palabras esenciales para la metodología

A. Overlap

Según Trigas Gallego en el 2012, lo define como la superposición entre las regiones detectadas. Se utiliza para poder medir las coincidencias entre los objetos predichos y los reales, mayormente aplicado para los algoritmos de detección.

B. keypoint

Según Trigas Gallego en el 2012, lo define como los puntos clave que esta dentro de una imagen, el cual permite poder identificar patrones, objetos o realizar emparejamiento entre las imágenes.

2.2.15. Teorías de Producción

La cultura agrícola del Perú ha sido moldeada por diversas teorías y métodos de producción, los cuales reflejan su riqueza cultural y variedad geográfica. Desde el uso de técnicas tradicionales basadas en conocimientos ancestrales hasta la incorporación de tecnologías contemporáneas, como la agricultura de precisión, cada enfoque ha contribuido al desarrollo del sector agrícola nacional. A continuación, se presentan las teorías y formas de producción agrícola más relevantes en el Perú, sustentadas en fuentes académicas y locales. (Robinson Urtecho, 2015)

Algunos de los tipos de agricultura que se puede encontrar son los siguientes:

➤ Agricultura y Conocimientos Ancestrales

En el Perú, la agricultura tradicional se basa en conocimientos ancestrales transmitidos de generación en generación. Los agricultores de pequeña escala, especialmente en zonas rurales, emplean métodos como la rotación de cultivos y el uso de terrazas (andenes) para

adaptarse a las condiciones geográficas y climáticas. Estas prácticas, orientadas principalmente al autoconsumo, son fundamentales para la seguridad alimentaria de numerosas comunidades, a pesar de sus limitaciones tecnológicas. (Robinson Urtecho, 2015)

➤ **Agroecología: Integración de Prácticas Ecológicas y Sociales**

La agroecología se entiende como "la ciencia, el movimiento y la práctica" de aplicar procesos ecológicos en los sistemas de producción agrícola. Esta disciplina integra conocimientos ecológicos tradicionales y promueve una agricultura que respete el medio ambiente, sea económicamente viable y socialmente justa. (Figueroa Arévalo, 1989)

➤ **Producción Integrada: Balance entre agricultura convencional y ecológica**

La Producción Integrada (PI), también conocida como Agricultura Integrada, es un enfoque de producción agrícola que utiliza técnicas orientadas a la preservación y optimización del entorno. Este sistema aplica métodos compatibles con la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. Se sitúa entre la agricultura tradicional y la ecológica, permitiendo el uso de agroquímicos sintéticos únicamente bajo estrictas normativas y cuando no existen alternativas viables. (Figueroa Arévalo, 1989)

➤ **Agricultura de Precisión: Uso de Tecnologías avanzadas**

El objetivo de la agricultura de precisión es recopilar información detallada sobre el estado de los cultivos, utilizando datos gráficos — como imágenes multiespectrales— que permiten identificar geográficamente problemas como plagas, deficiencias de fertilización,

escasez de agua, entre otros. Este enfoque requiere el uso de tecnologías como drones, sensores y análisis de imágenes para gestionar los cultivos de manera eficiente. De esta forma, se optimiza el uso de recursos y se incrementa la productividad. (Dillhay, 2022)

➤ **Agricultura Sensitiva: Enfoque Ecológico y Cultural**

Dillhay, también indica que la agricultura sensorial es una metodología que propone una forma de agricultura orgánica o ecológica. Fue concebida por Luis Román Ardila Núñez, ingeniero agrónomo colombiano. Este modelo incorpora conceptos como la trofobiosis-Teoría que sostiene que la plaga de insectos se desarrolla mejor en plantas debilitadas o enfermas- y la alelopatía, proceso natural mediante el cual algunas plantas emiten sustancias químicas que afectan a otras en su desarrollo, y ha sido implementado en países tropicales como Colombia, Venezuela y Perú. Su enfoque principal es la producción de plantas medicinales, aromáticas y condimentarias.

2.3. Desarrollo de la Metodología SCRUM

2.3.1. Aplicación de la Metodología SCRUM

2.3.1.1. Fundamentación y Análisis

Se analizaron diferentes metodologías, las cuales ofrecían un aporte valioso para el desarrollo de la presente investigación, pero se escogió la metodología Scrum por ser la que mejor se acopla a las características del proyecto, su fácil implementación y la calidad de los resultados en un corto tiempo. Los factores que determinaron el uso de Scrum como metodología ágil para el desarrollo son los siguientes:

- **Desarrollo Rápido**, debido a que prioriza los puntos más relevantes para una investigación, generando consigo entregables en cortos periodos de tiempo y consigo optimizando: recursos, tiempo y trabajo.
- **Fácil Escalabilidad**, por qué le permite al equipo de desarrollo mejorar las diferentes características de la investigación de forma transparente, ordenada y sin excesiva dificultad.
- **Aplicable a Pequeños y Medianos Proyectos**, debido a que se asigna roles de trabajo, se organizan las tareas y se programan las reuniones, tanto para un equipo de desarrollo pequeño como medianos, con ello permite que la aplicación de la presente metodología obtenga resultados confiables y óptimos en una investigación relativamente mediana.

2.3.1.2. Valores de Trabajo

En la metodología Scrum, para lograr que el equipo de desarrollo trabaje de manera unida y con una colaboración efectiva, es fundamental contar con un buen clima laboral que permita la entrega de un producto de calidad. Por ello, es necesario establecer y practicar valores que todos los miembros del equipo deben adoptar.

Durante el desarrollo de la presente, se organizaron sprints por periodos de tiempo determinados, dentro de los cuales fue posible evidencias, mediante observación directa, un ambiente de trabajo colaborativo y participativo. A través de las reuniones breves tipo Daily Scrum, se visualizó una disposición activa para compartir avances, dificultades y propuesta lo que se reflejó en la práctica de los valores antes mencionados. Esta dinámica fue favorecedora en

el cumplimiento oportuno de los objetivos planteados en cada iteración del proyecto.

Entre los más relevantes valores se encuentran el respeto, primordial para lograr establecer de forma clara las reglas en el trabajo, el compromiso, donde todos los miembros dan lo mejor de cada uno para cumplir con el objetivo, y por último el enfoque, donde se prioriza cuáles son las actividades más relevantes para el proyecto y se realicen los entregables en periodos cortos de tiempo.

2.3.1.3. *Personas y Roles de Proyecto*

- Product Owner

Ing. Nelson Duilio Guibovich Villanueva

- SCRUM Master

Bach. Leo Yair Campos Amaya

- Team

- **Product Manager** : Bach. Leo Yair Campos Amaya
- **Designer** : Bach. Reinjar Andree Velarde Zimic
- **Developer** : Bach. Reinjar Andree Velarde Zimic
- **Tester** : Bach. Leo Yair Campos Amaya

2.3.1.4. *Elaboración del Backlog*

Al listado de requerimientos de la investigación se le denomina Backlog, y se ha elaborado por el Product Owner, en conjunto con el Scrum Master definiendo así, los siguientes requerimientos:

- Elección del Vehículo Aéreo no Tripulado.

- Definición del plan de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.
- Toma de fotos durante el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.
- Elección del índice de vegetación.
- Elección del lenguaje de programación.
- Generación del ortomosaico.
- Procesamiento de Imágenes RGB.
- Entrenamiento del modelo de detección y conteo de cultivos.
- Desarrollo de la Interfaz del modelo de detección y conteo de cultivos.

2.3.1.5. *Análisis de Complejidad*

La metodología Scrum se basa en resultados obtenidos en periodos de tiempo corto, para ello se evalúa la complejidad de cada uno de los ítems dichos en el Backlog que se han determinado como prioritarios y viables en el punto anterior, así para los requerimientos más relevantes se le establecen los tiempos. La complejidad se basa en el tiempo y recursos que se necesite para el desarrollo de cada ítem, consigo se definen tres niveles:

- Baja: Menor consumo de recursos en un tiempo corto.
- Media: Consumo moderado de recursos en un tiempo moderado.
- Alta: Mayor consumo de recursos en un tiempo considerable.

Tabla 4
Complejidad de Requerimientos

N°	Requerimiento	Complejidad
1	Elección del vehículo Aéreo no Tripulado.	Baja
2	Definición del plan de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.	Media
3	Toma de fotos durante el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.	Media
4	Elección del índice de vegetación.	Media
5	Elección del lenguaje de programación.	Media
6	Generación del ortomosaico	Media
7	Procesamiento de Imágenes RGB	Alta
8	Entrenamiento del modelo de detección y conteo de cultivos	Alta
9	Desarrollo de la interfaz del modelo de detección y conteo de cultivos.	Media

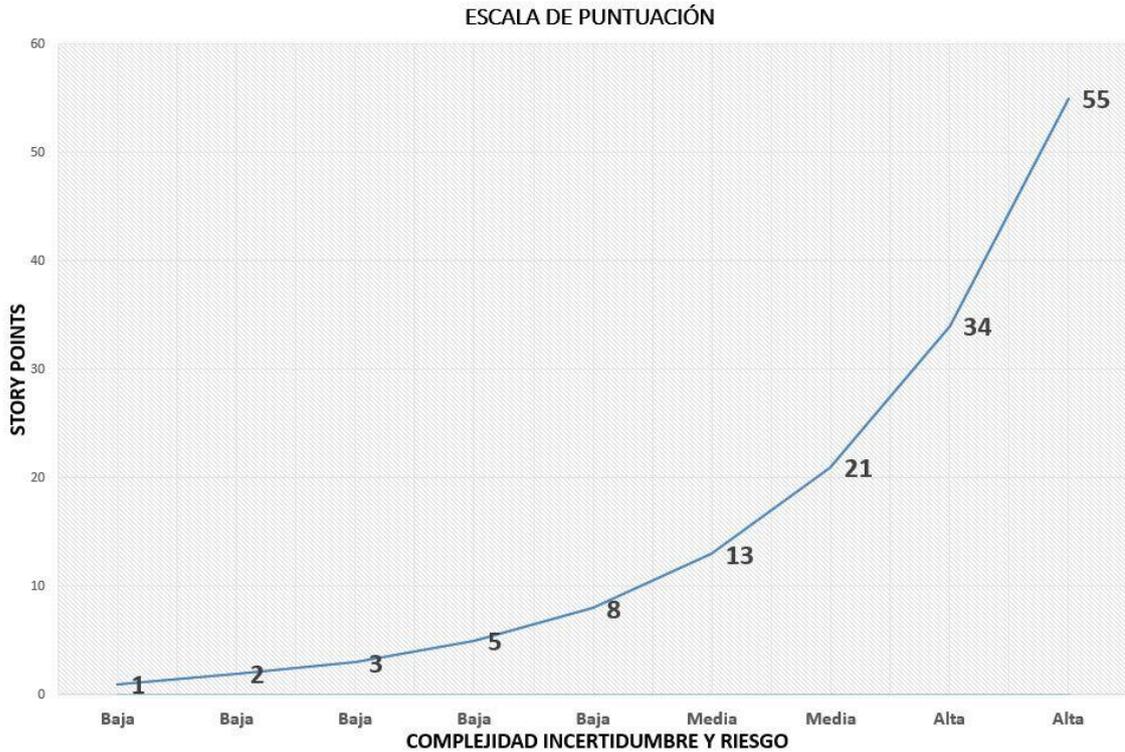
Nota: Se realiza un listado de los requerimientos con la complejidad que abarca cada uno, cabe precisar que el presente listado no corresponde a funcionalidades de un software tradicional, sino a condiciones técnicas que son necesarias para el funcionamiento del algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible.

2.3.1.6. Asignación de Valores de Story Points

Un Story Point no está basado en cuanto tiempo va a necesitar un requerimiento sino en el cálculo de esfuerzo por el cual, el equipo de trabajo evalúa la complejidad, el nivel de incertidumbre y el riesgo de cada requerimiento, basándose en los conocimientos y habilidades que tienen para resolver el problema planteado.

Para el presente proyecto, se ha decidido por optar la secuencia Fibonacci, como fórmula matemática para determinar las puntuaciones, debido a que el grado de incertidumbre estará basado por la misma escala, esto evitará una sobre-estimación del problema.

Figura 14
Gráfico de valores del Story Point



Nota: Los valores del Story Point se basa en la secuencia de Fibonacci

2.3.1.7. Valoración de User Story

Los requerimientos que se han definido en el punto de **Análisis de Complejidad**, son los User Story, cada uno de estos va a recibir una puntuación basada en la escala establecida para los Story Points, aparte se define los Users Story no funcionales del proyecto.

· *Users Story Funcionales*

Tabla 5

Story Points para cada Users Story Funcionales

		STORY
N°	USERS STORY	POINTS
1	Elección del vehículo Aéreo no Tripulado.	5
2	Definición del plan de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.	21
3	Toma de fotos durante el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.	13
4	Elección del índice de vegetación.	21
5	Elección del lenguaje de programación.	13
6	Generación del ortomosaico	13
7	Procesamiento de Imágenes RGB	55
8	Entrenamiento del modelo de detección y conteo de cultivos	55
9	Desarrollo de la interfaz del modelo de detección y conteo de cultivos.	8

Nota: Cada User Story Funcionales se le asigna un Story Point

- *User Story No Funcionales*

Tabla 6
Story Points para cada Users Story No Funcionales

N°	USERS STORY	STORY POINTS
1	Interfaz amigable.	5
2	Fácil reconocimiento del estado de los cultivos.	34
3	Rapidez en el conteo de cultivos.	21

Nota: Cada User Story No Funcionales se le asigna un Story Point

2.3.1.8. User Story Puntuación Mayor a 20

Para optimizar el esfuerzo del Team Scrum, se prioriza los Users Story, para el rápido desarrollo de los requerimientos más importantes para el proyecto. Se realiza filtros para la Tabla 5 y Tabla 6, donde se muestran los requerimientos funcionales y no funcionales cuyo Story Point es mayor a 20.

• **Users Story Funcionales**

Tabla 7

Users Story Funcionales con puntuación mayor a 20

		STORY
N°	USERS STORY	POINTS
1	Definición del plan de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.	21
2	Elección del índice de vegetación.	21
3	Procesamiento de Imágenes RGB	55
4	Entrenamiento del modelo de detección y conteo de cultivos	55

Nota: Cada User Story Funcional que tienen puntuación mayor a 20

• **User Story No Funcionales**

Tabla 8

Users Story No Funcionales con puntuación mayor a 20

		STORY
N°	USERS STORY	POINTS
1	Fácil reconocimiento del estado de los cultivos.	34
2	Rapidez en el conteo de cultivos.	21

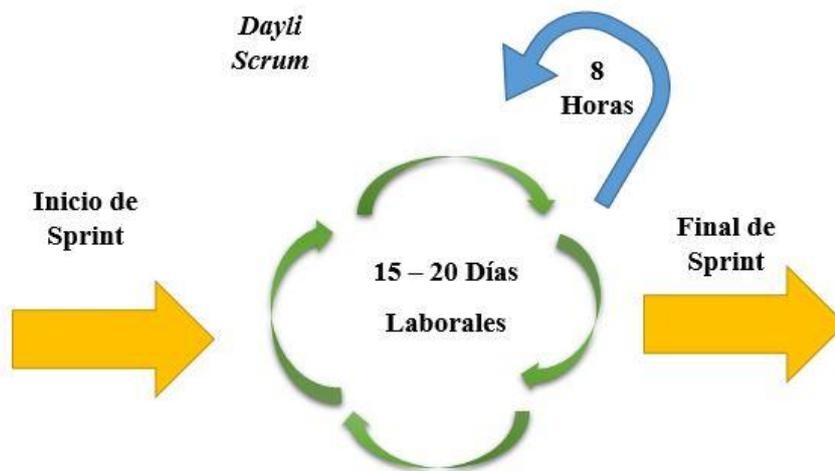
Nota: Cada User Story No Funcional que tienen puntuación mayor a 20

2.3.1.9. Duración del Sprint

Se tiene que definir el intervalo para la duración del sprint, para poder establecer los tiempos para los entregables, teniendo en cuenta el número de personas dentro del Team Scrum y que el tiempo establecido no debe superar las 4 semanas para un entregable.

En cada día laborable (lunes a viernes) se realizará sincronizaciones con el Team Scrum para verificar el progreso del proyecto y también para conocer los problemas que se han presentado durante el desarrollo de los Users Story.

Figura 15.
Gráfico Duración del Sprint



Nota:

Gráfico representativo de las horas a laborar por cada sprint.

Como se muestra en la Figura 15, se determinó que para el presente proyecto la duración del sprint estará entre un rango de 15 y 20 días laborables (lunes a viernes), donde cada día estará conformado por 8 horas de trabajo.

2.3.1.10. Distribución de los User Story

La metodología Scrum tiene como objetivo optimizar los tiempos para los entregables, evitando los retrasos y utilizando de forma efectiva los recursos, para conseguir ello el próximo paso es realizar una distribución balanceada de los Users Story para cada Sprint.

Los responsables de realizar la presente distribución son tanto el Scrum Master y el Team Scrum, donde verán que cada Sprint tenga un balance equitativo de esfuerzo y recursos. Cabe mencionar que el presente balance solo aplica para los Users Story Funcionales, debido a que el cumplimiento y desarrollo de los Users Story No Funcionales se deben tomar en cuenta durante el desarrollo de todo el proyecto.

- **Sprint Backlog 1**
 - Elección del Vehículo Aéreo no Tripulado.
 - Definición del plan de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.
 - Toma de fotos durante el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.

Al comienzo del proyecto, se tiene que evitar recargar al Sprint, por ello se designa los requerimientos más livianos, es decir los Users Story que tengan los Story Point más bajos, debido a que todo el proceso relacionado con el Vehículo Aéreo no Tripulado no consume mucho tiempo y recursos para el desarrollo de la presente investigación

- **Sprint Backlog 2**
 - Elección del índice de vegetación.
 - Elección del lenguaje de programación.

- Generación del ortomosaico.

Para el segundo Sprint se asigna los Users Story con puntuaciones moderadas, para así lograr equilibrar el trabajo con respecto al primer Sprint, debido a que en este ciclo solo el último User Story es el que consumirá tiempo y recursos para agrupar las imágenes obtenidas del primer Sprint.

- **Sprint Backlog 3**

- Procesamiento de Imágenes RGB

Para el tercer Sprint, se asigna solo un User Story, debido a que este tiene el Story Point más alto, lo cual permite una distribución de forma equitativa para los Sprints.

- **Sprint Backlog 4**

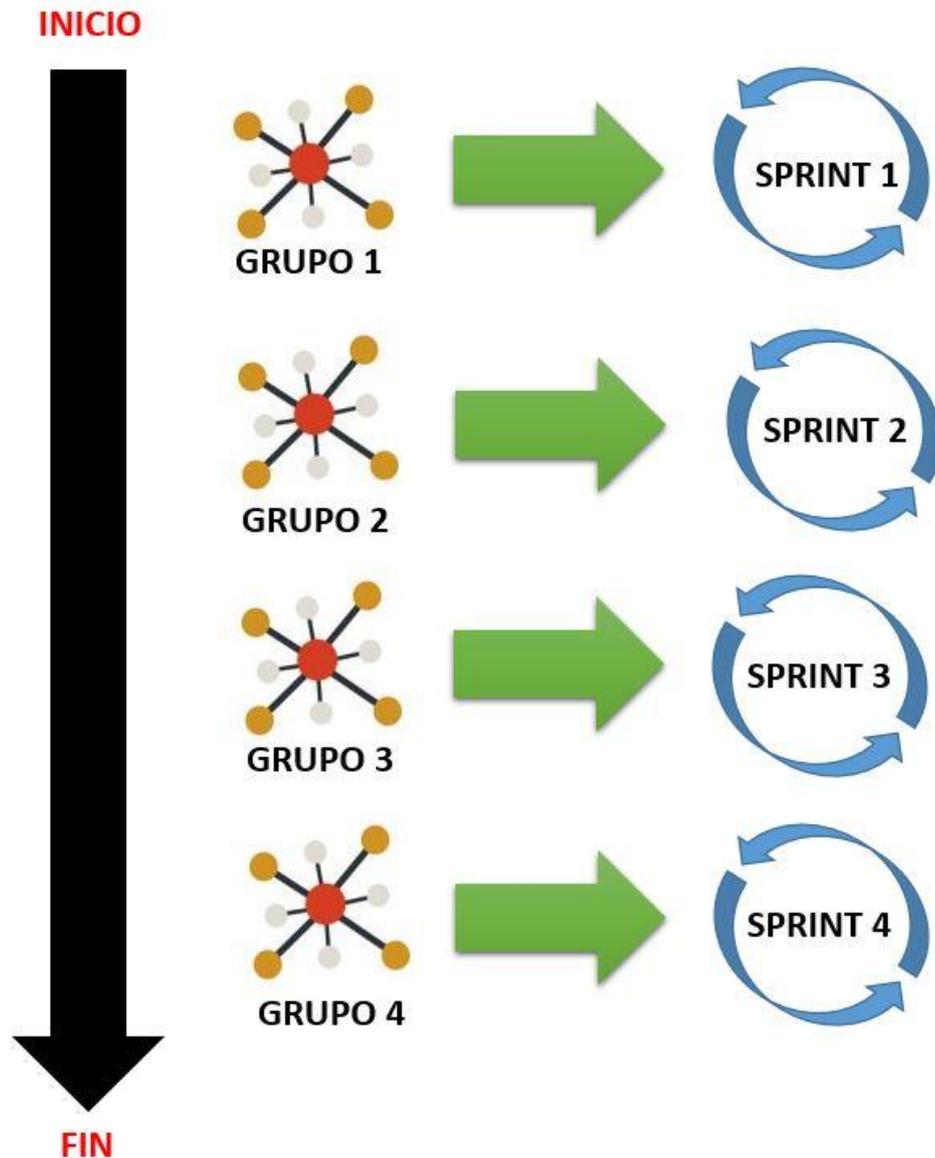
- Entrenamiento del modelo de detección y conteo de cultivos.
- Desarrollo de la interfaz del modelo de detección y conteo de cultivos.

Para el último Sprint, se asigna los User Story restantes, donde uno de los User Story tiene el más alto Story Point, el siguiente User Story tiene el más bajo Story Point, lo que permite una distribución de forma equitativa para los Sprints.

2.3.1.11. Definición de Sprints

Concluida la distribución de los Sprints de forma equitativa, donde se ha balanceado el consumo de tiempo y recursos, se obtiene un total de cuatro Sprints que se deben desarrollar a lo largo del proyecto, y en estos deben cumplir con cada User Story que tienen asignados.

Figura 16.
Total de Sprints obtenidos



Nota: Total de los sprint obtenidos para la elaboración del algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible.

2.3.1.12. Duración de la Fase de Desarrollo

Basándonos en los Sprints obtenidos y teniendo en cuenta la duración para cada Sprint, se puede determinar la duración para la fase de desarrollo para el presente Proyecto de Investigación, en el cual el Team Scrum debe cumplir con los entregables de cada Sprint.

- **Total, de Sprints** : 4
- **Duración de cada Sprint** : 15 días laborables

4 Sprints x 15 Días = 60 días laborables de duración

Teniendo en cuenta que cada mes tiene 20 días laborables, y que la duración del proyecto será de **60 días laborables**, se concluye que la duración de la fase de desarrollo del proyecto será de 3 meses.

2.3.1.13. Cronograma

En este punto se establece los tiempos para el desarrollo en etapas del proyecto.

Tabla 9
Cronograma de actividades

N°	Actividad	Fecha de Inicio	Fecha de Terminación	
1	Recolección de requerimientos	01/01/2024	16/01/2024	
2	Análisis de requerimientos	17/01/2024	26/02/2024	
3	Diseño del Proyecto	27/02/2024	19/03/2024	
4	Desarrollo del Sprint 1	20/03/2024	09/04/2024	
5	Desarrollo del Sprint 2	10/04/2024	30/04/2024	
6	Desarrollo del Sprint 3	01/05/2024	21/05/2024	
7	Desarrollo del Sprint 4	22/05/2024	11/06/2024	
8	Pruebas y entrega final	12/06/2024	13/07/2024	

Nota:
Cronograma de actividades para el desarrollo de la metodología ágil.

Cabe precisar que como se indicó en la Tabla 4 la presente no desarrolla un software si no elabora un algoritmo orientado a la agricultura de precisión y el cronograma presente fue elaborado en base a dichos requerimientos.

2.3.2. Definición de Parámetros

2.3.2.1. Elección del Vehículo Aéreo no Tripulado

Para poder realizar el procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, es necesario poder capturar diferentes imágenes de la plantación donde se realizará estudio y para ello se tiene que definir el modelo Vehículo Aéreo no Tripulado disponible en el mercado que sea más factible de usar para este proceso. Y para poder definir una elección adecuada el Team Scrum, planteo unos factores relevantes los cuales se tiene que considerar para la selección correspondiente.

A. Factores relevantes para el proceso de selección

a) Tipo de despegue (No Vertical o Vertical).

Considerando que los cultivos están distribuidos por hectáreas de terreno plano, los cuales son accesibles por medio de caminos de tierra que los subdivide, el tipo de despegue y aterrizaje del Vehículo Aéreo no Tripulado es un factor primordial para el proyecto, pues es necesario que el Vehículo pueda adaptarse a esta situación. Dado lo mencionado el despegue debe ser vertical, debido a que no afectaría a los cultivos por su forma como se realiza el despegue u aterrizaje.

b) Vuelo autónomo.

Debido al limitado espacio que hay dentro de las hectáreas de cultivo y también al ser un campo abierto, la visión que podría tener el controlador del vehículo se ve afectada por el sol y las corrientes de aire que hay por ser un terreno que se encuentra en altura, hace prácticamente imposible controlar el Vehículo Aéreo no Tripulado de manera manual. Para resolver este conflicto

es necesario que el vuelo se realice de forma autónoma mediante rutas programadas dentro del vehículo. Esta funcionalidad es significativa para el proyecto, pues facilita el proceso de adquisición de las imágenes, pues permite programar los puntos donde se deben adquirir las fotografías y así mismo poder georreferenciarlas, para así poder optimizar el tiempo en la generación del ortomosaico, por ello se hace de vital importancia escoger un modelo que posea esta funcionalidad.

c) Cámara.

Debido a que el proyecto se centra en los cultivos, y por tratarse de tomas aéreas, la zona de importancia se encuentra debajo de la ruta del Vehículo Aéreo no Tripulado. Por eso se debe escoger un modelo que tenga una cámara integrada o adaptable, que se pueda optimizar apuntando a la tierra, así mismo se debe considerar la resolución en megapíxeles, debido a que una vez se proceda a realizar el ortomosaico se puedan extraer los suficientes puntos clave o mejor conocidos Keypoints, donde sí, la imagen tiene una mayor resolución, se podrán obtener más Keypoints, lo que optimizara el proceso de la obtención del ortomosaico y se obtendrá una imagen de mayor calidad sin problemas de distorsión.

d) Autonomía de vuelo.

Se refiere a la capacidad que tendrá el Vehículo Aéreo no Tripulado para poder mantenerse en vuelo con una sola carga de batería, lo cual permitirá reducir el trabajo y a la vez minimizar costes. De manera general, la autonomía de vuelo de estos vehículos oscila entre los 12 a 15 minutos, no obstante, algunas empresas fabricantes de estos vehículos, tal es el ejemplo de DJI, han logrado mejorar el tiempo de vuelo de sus propios vehículos hasta 25 minutos.

Este factor es importante de considerar al momento de decidir de qué fabricante optar el Vehículo Aéreo no Tripulado.

e) Estabilidad y maniobrabilidad.

Se tiene que tener en cuenta que el Vehículo Aéreo no Tripulado debe volar en campo abierto, por ello estos deben tener la capacidad de desplazarse de forma eficiente. Así mismo, poder mantener un curso estable, para así poder garantizar la obtención de fotografías con excelente precisión.

También se deben considerar los factores externos que pueden afectar a la maniobrabilidad, como es el viento y la capacidad de carga útil que pueda levantar el Vehículo Aéreo no Tripulado.

f) Costo.

Uno de los puntos más relevantes para analizar, debido a que existen modelos de Vehículos Aéreos no Tripulados que son muy costosos pero que tienen infinidad de accesorios y cámaras de muy alta resolución, pero para este proyecto podrías tomarse todos esos componentes de forma innecesarias o de muy poca utilidad, debido a que el proyecto está centrado en desarrollar un sistema que represente un bajo coste y que represente una mejora significativa en el proceso de producción agrícola, por ende el coste no debe ser muy elevado.

B. Comparación de algunos modelos disponibles

a) Especificaciones técnicas.

Teniendo en cuenta los factores antes mencionados, se procede a realizar un cuadro comparativo con las especificaciones técnicas de 3 Vehículos Aéreos no Tripulados comunes de uso civil, en la Tabla 10 se hará una comparativa de estos vehículos para considerar cual puede ser el más óptimo para el presente proyecto.

Tabla 10*Comparación de Vehículos Aéreos no Tripulados comunes de uso civil*

	PARROT AR.DRONE	PARROT AR. DRONE 2.0	PHANTOM 1 + GOPRO HERO 3
Cámara	Cámara frontal y vertical (integradas)	Cámara Frontal y vertical (integradas)	Cámara GoPro HERO 3 – Black Edition (Adaptable con soporte)
Foto	Cámara frontal; 480p-15 fps Cámara vertical: QCIF de 60 fps	Cámara frontal: 720p-30 fps Cámara vertical: QCIF de 60 fps	4Kp- 15 fps/ 2.7Kp- 30 fps/ 1440p – 48 fps/ 1080p – 60 fps/ 960p – 100 fps/ 720p-120 fps
Video	NO	Cámara frontal: 11280*720 píxeles Cámara vertical: 640*480 píxeles	12 Mpx
Wi-Fi	SI	SI	Phantom 1: NO Go Pro HERO 3: SI
GPS	NO	SI	SI
Vuelo Autónomo	NO	SI	SI (solo para volver al punto de despegue en caso de pérdida de señal o batería baja)
Medio de control	Dispositivo móvil con sistema operativo Android o IOS mediante conexión Wi-Fi	Dispositivo móvil con sistema operativo Android o IOS mediante conexión Wi-Fi	Control Remoto (2.4 GHz)
Rango de Control	50 metros	50 metros	1000 metros

	PARROT AR.DRONE	PARROT AR. DRONE 2.0	PHANTOM 1 + GOPRO HERO 3
Velocidad Máxima	10 m/s	10 m/s	10 m/s
Peso	380g con carcasa para exteriores 420g con carcasa para interiores	380g con carcasa para exteriores 420g con carcasa para interiores	800g sin cámara 890g con cámara
Tiempo de vuelo	12 minutos	12 minutos	15 minutos (sin cámara) 12 minutos (con cámara)

Nota: Se realiza una comparativa entre los Vehículos Aéreos no Tripulados de uso civil

C. Selección del modelo

Tras revisar la **Tabla 10**, correspondientes a los modelos **Parrot Ar.Drone**, **Parrot AR. Drone 2.0** y **Phantom 1 + GoPro Hero3**, el equipo **Scrum** decidió optar por un Vehículos Aéreos No Tripulados no convencional para uso civil.

En consecuencia, se determinó que el **Phantom 3 Standard**, del fabricante **DJI**, es el más adecuado para el desarrollo del proyecto. Esta elección se sustenta porque ofrece una combinación adecuada entre la estabilidad de vuelo, calidad de imagen y compatibilidad con herramientas de procesamiento fotogramétrico. Estas características son importantes porque consigo para garantizar la precisión en la obtención del ortomosaico y el posterior análisis que se realizar con el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible.

En la **Tabla 11** se detallan las razones por las cuales es preferible utilizar este tipo de vehículo aéreo no tripulado, y en la **Tabla 12** se presenta una descripción detallada de sus componentes.

Tabla 11.

Tabla ponderada entre los Vehículos Aéreos no Tripulados de uso civil y la propuesta del Phantom3 Standard

Características	Peso (%)	PARROT AR. DRONE	PARROT AR. DRONE 2.0	PHANTOM 1 + GoPro Hero 3	PHANTOM 3 STANDARD
Resolución de cámara	25%	720p (1.0)	720p HD (1.5)	1080p (2.0)	2.7K HD (3.0)
Estabilidad de vuelo (sensores, giroscopio)	20%	Básica (1.0)	Mejorada (1.5)	Estable (2.0)	Alta (3.0)
Autonomía (tiempo de vuelo)	15%	12 min (1.0)	14 min (1.5)	15 min (1.5)	25 min (3.0)
Alcance de señal	10%	50 m (1.0)	100 m (1.5)	300 m (2.0)	500 m (3.0)
Facilidad de integración con software	10%	Limitada (1.0)	Limitada (1.0)	Media (2.0)	Alta (3.0)
Calidad de transmisión de video	10%	Media (1.0)	Buena (1.5)	Alta (2.0)	Muy Alta (3.0)
Relación costo-beneficio	10%	Media (2.0)	Alta (2.5)	Media (2.0)	Alta (3.0)
Puntaje Total (ponderado)	100%	1.15	1.55	1.95	2.85

Nota: Comparación entre los diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados tanto de uso civil como también con la propuesta DJI, 2025

Tabla 12

Descripción de Vehículo Aéreo no Tripulado seleccionado para el proyecto

PHANTOM 3 STANDARD	
Cámara	-Cámara integrada, estabilizada con cardán electrónico de 3 ejes. -Control de inclinación con rango de -90° a +30°
Video	-2.7K: 2700x1520p 24/25/30 (29.97) fps -FHD: 1920*1080p 24/25/30 fps -HD: 1280*720p 24/25/30/48/50/60 fps
Foto	12 Mpx
Wi-Fi	SI Incluye “Wi – Fi Range Extender” que permite un rango de conexión de 500m-1000m (campo abierto)
GPS	SI
Vuelo Autónomo	SI -Permite programar rutas de vuelo de hasta 16 “waypoints”. -En caso de pérdida de señal o batería baja, el Vehículo Aéreo no Tripulado regresa automáticamente al punto de despegue.
Velocidad Máxima	16 m/s
Peso	1216g
Tiempo de vuelo	25 minutos (aprox.)
Telemetría	Datos de posición, altura, velocidad y carga de la batería se pueden visualizar en tiempo real.
Medio de	-Control remoto (5.725 – 5.825 GHz, 922.7-927.7 MHz (Japón))

PHANTOM 3 STANDARD

Control -Dispositivos móviles Android y iOS a través de la aplicación “DJI GO” y múltiples aplicaciones de otros desarrolladores.

-Control remoto: 1000m (campo abierto)

Rango de Control -Dispositivos móviles Android y iOS a través del “Wi – Fi Range Extender” : 800m (campo abierto)

Herramientas

de SI Compatibilidad con Pix4DCapture y DroneDeploy

Fotogrametría

Nota: Características del Phantom 3 Standard, por DJI, 2025

2.3.2.2. *Definición del plan de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado*

A. Diseño del plan de vuelo.

Definir el plan de vuelo es un proceso importante para el proyecto debido que las decisiones que se realicen desde este punto tendrán consecuencias a lo largo del presente proyecto, por ello se consideró con una clasificación media, debido a que es importante pero no con lleva mucho tiempo y recursos desarrollarlo. Se debe tener en cuenta que para este proceso se tiene que tener en cuenta los desniveles que posee el terreno para poder así garantizar una resolución homogénea y generar de una forma eficiente el ortomosaico.

Debido a ello para tener un correcto plan de vuelo para vehículo aéreo no tripulado se tiene que considerar lo siguiente:

Tabla 13

Elementos a considerar para el plan de vuelo

Elemento	Descripción
Área de cobertura	Delimitación geográfica del espacio a analizar.
Altura de vuelo	Depende del tipo de sensor y resolución requerida. Puede variar entre 50 y 120 metros.
Velocidad de vuelo	Generalmente entre 3 a 10 m/s para obtener tomas precisas.
Patrón de vuelo	Zigzag, líneas paralelas, circular o cobertura completa desde una altura fija
Solapamiento	70%-80% frontal y lateral para generar mosaicos de imágenes y ortofotos precisas.
Hora del vuelo	Idealmente a mediodía para evitar sombras
Condiciones climáticas	Sin lluvia o viento fuerte (menos de 20 km/h).
Tipo de sensor/cámara	RGB, multispectral, térmica, según el objetivo de la misión.
Punto de despegue/aterrizaje	Zonas planas y despejadas.
Autonomía y baterías	Considerar duración de vuelo y reemplazo rápido de baterías.

Nota: Se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones para un plan de vuelo adecuado, por Pajares, 2015.

Así mismo se tiene que tener en cuenta los diferentes planes de vuelo que cuentan los Vehículos aéreos no tripulados y que varían según la necesidad

o el requerimiento para el cual se necesiten, como se muestra en la Tabla 14, se verifica el tipo de plan adecuado para el desarrollo de la investigación el cual es **seguimiento de cultivos**.

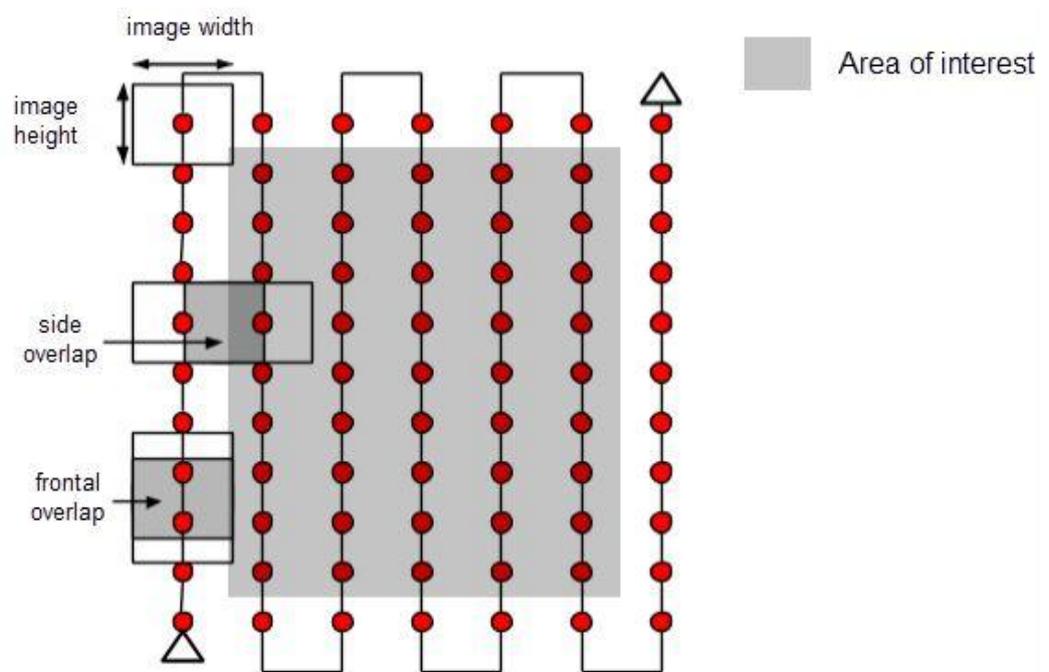
Tabla 14
Tipo de planes de vuelo y patrones de vuelos recomendados

Tipo de Plan	Aplicación	Patrón de Vuelo	Software Recomendado
Fotogrametría	Mapeo de terrenos, agricultura	Zigzag/Paralelo con solapamiento alto	Pix4D, DroneDeploy, DJI GS Pro
Seguimiento de cultivos	Agricultura de precisión	Línea recta o punto a punto	DJI Terra, Agisoft, QGIS
Inspección	Infraestructura, torres, paneles	Circular o puntual	Litchi, Mission Planner
Recolección de imágenes RGB	Procesamiento de espectro visible	Cobertura completa y altitud fija	DJI GS Pro, UGCS

: Se presentan los diferentes planes de vuelos que se pueden realizar con un vehículo aéreo no tripulado, por Hernández & Barrientos, 2020.

Una vez identificado el plan de vuelo y patrón de vuelo que se acopla mejor a la investigación, se indica cual sería la ruta ideal que debe optar el Vehículo aéreo no tripulado para recorrer el cultivo.

Figura 17
Plan de vuelo ideal para la investigación



Nota: Se representa el plan de vuelo ideal para el desarrollo de la investigación, por Pix4D SA, 2017

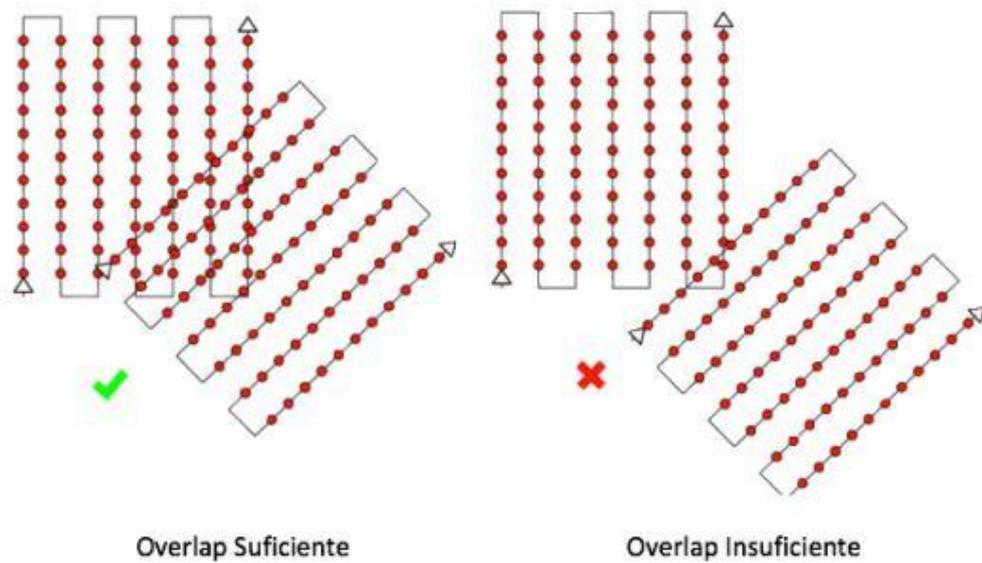
No obstante, si se tuvieran que realizar múltiples vuelos, se debe considerar las siguientes recomendaciones:

- Cada vuelo realizado debe ser capaz de poder obtener imágenes con un gran porcentaje de overlap.

- Todos los vuelos deben ser realizados a la misma altura.
 - Tiene que haber una cantidad suficiente de overlap para cada vuelo.
- (Pix4D SA, 2017)

En la Figura 18 se muestra el nivel de overlap que debe ver entre los diferentes planes de vuelo, y en la Figura 19 se muestra como es el plan más recomendado para adquirir imágenes para vuelos múltiples.

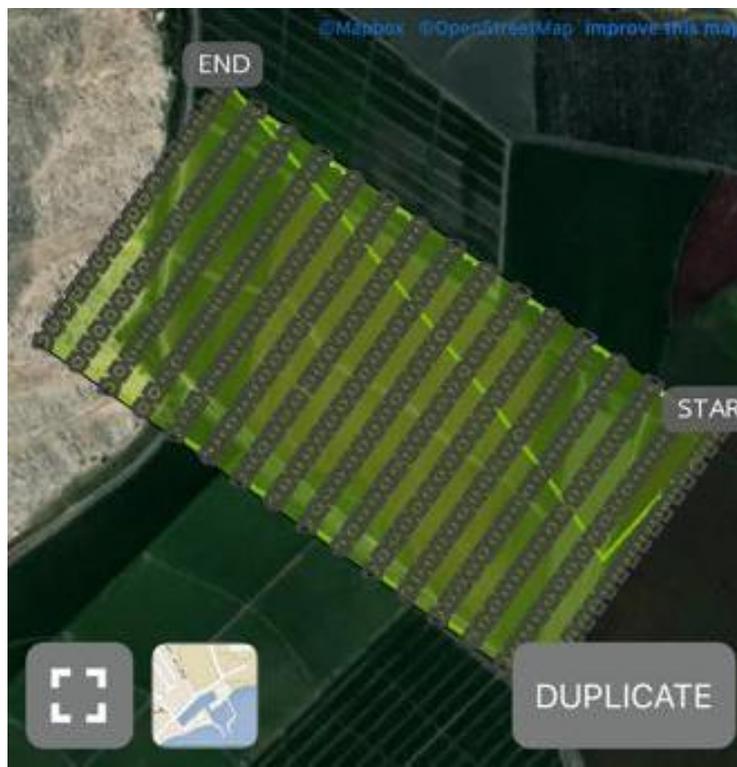
Figura 18
Overlap entre dos planes de vuelo



Nota: Se muestra el Overlap recomendado para los planes de vuelo, por Pix4D

SA,

Plan



2017

Figura 19

recomendado para adquisición de imágenes

Nota: Se muestra el plan recomendado para la adquisición de imágenes durante el vuelo

Obtener una adecuada la adquisición de imágenes por medio de un plan de vuelo depende del tipo de terreno la cual se va a mapear. Para ello se debe tener conocimiento cuales son las imágenes que se consideran óptimas o difíciles de procesa en el Software de fotogrametría en el momento de extraer los Keypoints.

En la Figura 20 se puede visualizar imágenes que se consideran óptimas para poder procesarse en el Software de fotogrametría.

- Imágenes de edificios o zonas urbanas.
- Imágenes de arbustos, rocas o suciedad.
- Imágenes con resolución mayor de 10 Mpx. (Pix4D SA, 2017)

Figura 20

Imágenes que se consideran óptimas para poder procesarse en el Software de fotogrametría



Nota: Se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones para que el software de fotogrametría pueda procesar las imágenes, por Pix4D SA, 2017

En la Figura 21 se puede visualizar imágenes que se consideran difíciles (pésima resolución o texturas complejas). para poder procesarse en el Software de fotogrametría

- Imágenes con presencia de arena, niebla o nieve.
- Imágenes con pésima resolución (no mayor a 3 Mpx).
- Imágenes con poca o demasiada luminosidad. (Pix4D SA, 2017)

Figura 21

Imágenes que se consideran difíciles para poder procesarse en el Software de fotogrametría



Nota: Se recomienda evitar las siguientes imágenes debido a que el software de fotogrametría serán difíciles de procesar, por Pix4D SA, 2017

Y por último como se muestra en la Figura 22 se puede mostrar las imágenes que se consideran imposibles de procesar en el Software de fotogrametría.

- Imágenes con objetos en movimiento.
- Imágenes que contengan superficies reflectivas. (Pix4D SA, 2017)

Figura 22

Imágenes que se consideran imposibles de procesar en el Software de fotogrametría



Nota: Se recomienda evitar las siguientes imágenes debido a que el software de fotogrametría serán imposibles de procesar, por Pix4D SA, 2017

Considerando el terreno donde se realizará el proyecto que corresponde a plantaciones de cultivos, este tipo de zona es clasificada según lo mencionado anteriormente como boscosas o vegetación, por ende, las imágenes capturadas por el Vehículo Aéreo no Tripulado representarán un reto al momento de ser procesadas en el Software de fotogrametría. Debido a que la textura compleja de los cultivos y la vegetación que hay dentro del área ocasiona que estos se vean diferentes entre cada imagen solapadas

Por ende, para lograr obtener los mejores resultados posibles a la hora de generar el ortomosaico, se tiene que establecer un óptimo plan de vuelo siguiendo el modelo de la Figura 19, pero considerando lo siguiente:

- Área: 1 Hectárea de cultivo de espárragos
- Altura: 50 metros (recomendado)
- Velocidad: 5 m/s
- Solapamiento: Overlap Frontal: 85% y Overlap Lateral: 70% para así conseguir un mayor emparejamiento de los Keypoints.

- Duración estimada: 75 minutos

B. Ejecución del plan de vuelo

Una vez establecido el plan de vuelo para el Vehículo Aéreo no Tripulado, se procede a utilizar la Aplicación Pix4Dcapture instalada en un dispositivo móvil (celular) con sistema operativo iOS para poder establecer el recorrido que deberá hacer el Phantom 3 Standard. Este proceso se realiza estableciendo una conexión Wi – Fi entre el Vehículo Aéreo no Tripulado (drone) y el dispositivo móvil, siendo necesario que el recorrido del vehículo se deba realizar dentro de la distancia que pueda asegurar una conexión estable.

Esto se debe a que la acción de capturar una imagen (tomar una foto) no se controla directamente desde el Phantom 3 Standard, sino que se ejecuta de forma automática a través de la aplicación **Pix4Dcapture**. Esta aplicación, basándose en los datos de velocidad y posición del Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), realiza la captura de imágenes. En otras palabras, si se presentan fallas en la conexión, la toma de fotografías también se interrumpe, lo que puede conllevar a la pérdida de información valiosa para el desarrollo del presente proyecto.

No obstante, el Phantom 3 Standard tiene la capacidad de volar de manera autónoma y continuar con la ruta previamente establecida, incluso si la conexión con el controlador se interrumpe.

En la Figura 23 se visualiza la interfaz del aplicativo en la sección de “Map View” donde se puede ajustar el tamaño de la cuadrícula y se puede

establecer la altura de vuelo. Y en la Figura 24 se visualiza la sección de “Settings” donde se establecen los parámetros para el Overlap y la Velocidad.

Figura 23

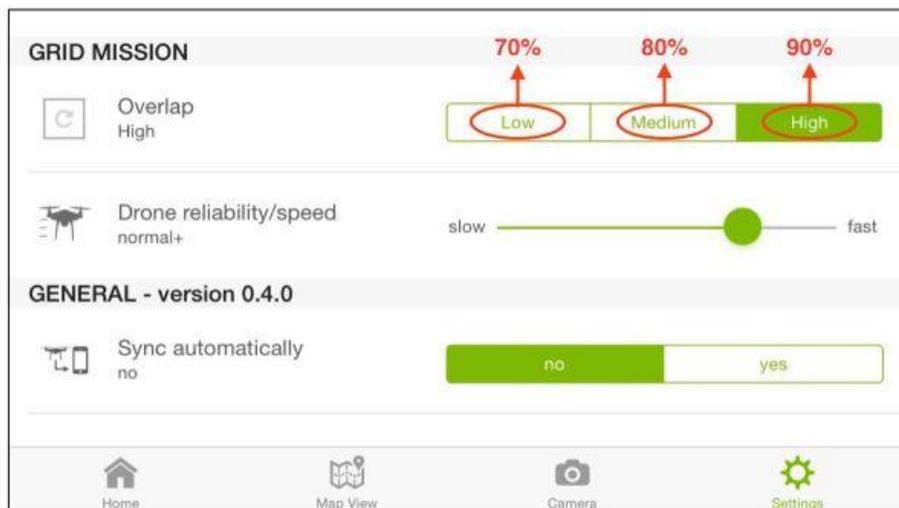
Interfaz del aplicativo Pix4Dcapture en la sección de "Map View"



Nota: Se muestra la interfaz del aplicativo Pix4Dcapture, por Pix4D SA, s.f.

Figura 24

Interfaz del aplicativo Pix4Dcapture en la sección de "Settings"

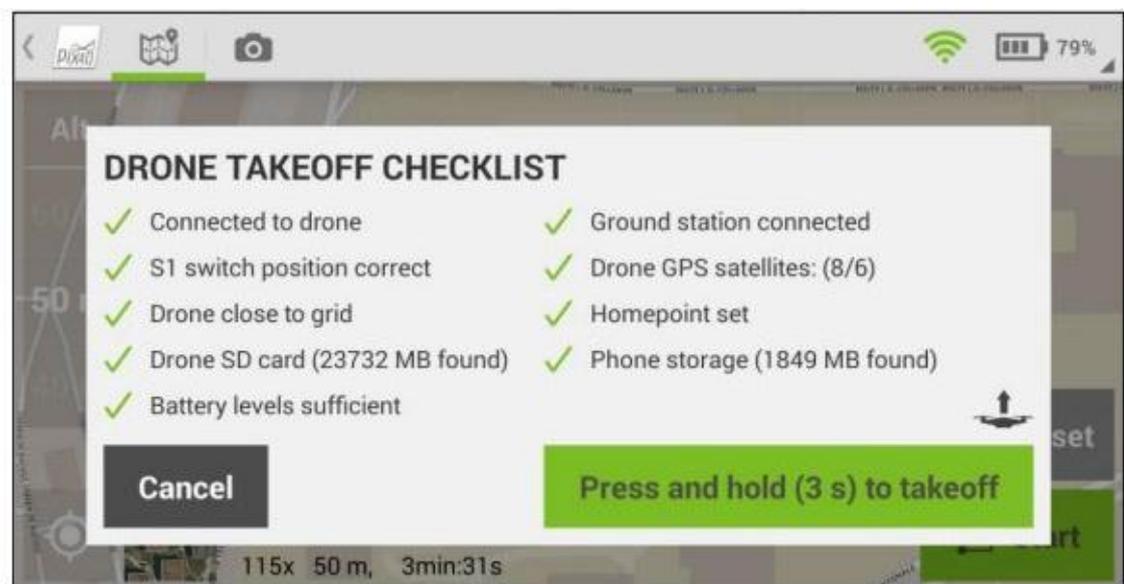


Nota: Se muestra la interfaz de configuración del aplicativo Pix4Dcapture, por Pix4D SA, s.f.

Luego de hacer las configuraciones respectivas en la aplicación Pix4Dcapture, se ejecuta el plan de vuelo presionando el botón “Start”. Antes de comenzar el recorrido(vuelo), el aplicativo comprueba que los parámetros puestos sean válidos para así proceder con el despegue, tal como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Parámetros a validar antes del despegue del Vehículo Aéreo no Tripulado



Nota: Parámetros que se deben validar que estén conformes antes del despegue del Vehículo Aéreo no Tripulado, por Pix4D SA, s.f.

2.3.2.3. Toma de fotos durante el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado

Una vez verificado los parámetros para el despegue, el Vehículo Aéreo no Tripulado procede a levantarse de forma automática y recorre toda la ruta programada en la aplicación del Pix4Dcapture, así mismo va recolectando las imágenes necesarias para poder generar u crear el ortomosaico. Como se mencionó anteriormente, esta fase esta automatizada, por ende, solo se tiene que esperar que el vehículo (drone) concluya con el recorrido para así proceder a descargar las imágenes obtenidas en la computadora o laptop.

Cabe resaltar que durante la ejecución de este proceso la aplicación Pix4Dcapture permite visualizar desde el dispositivo móvil el movimiento del Vehículo Aéreo no Tripulado a lo largo de la ruta en tiempo real, tal como se muestra en la Figura 26.

Figura 26
Recorrido del Vehículo Aéreo no Tripulado



Nota: La captura de imagen fue sacada desde la aplicación Pix4Dcapture realizando el recorrido

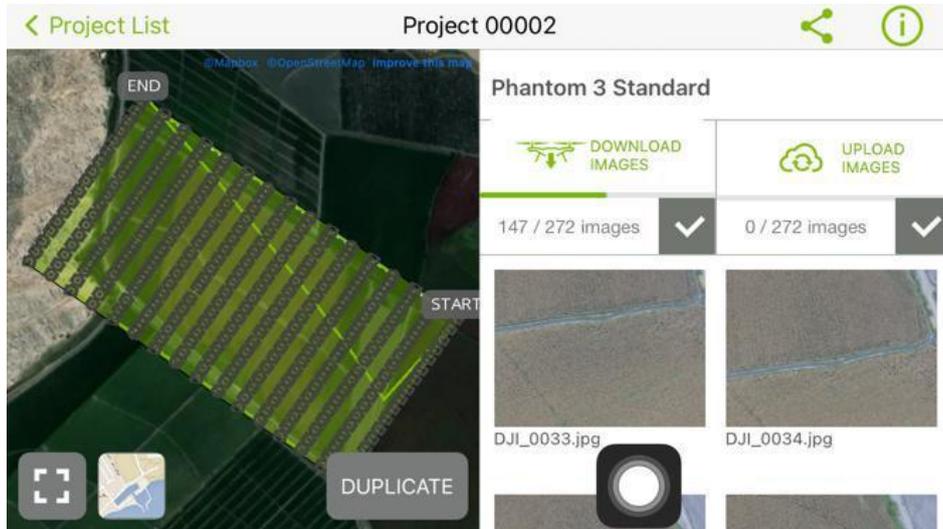
Una vez concluido el recorrido, todas las imágenes recolectadas y los archivos del proyecto generados por **Pix4Dcapture** deben ser descargados en una computadora o laptop, con el fin de proceder a la generación del ortomosaico.

Las imágenes o fotografías quedan almacenadas en una tarjeta microSD ubicada en el Phantom 3 Standard. Por su parte, los archivos del proyecto de **Pix4Dcapture** se guardan en el dispositivo móvil utilizado para la planificación del vuelo.

En la **Figura 27** y la **Figura 28** se pueden visualizar las imágenes capturadas por el Vehículo Aéreo No Tripulado durante su recorrido.

Figura 27

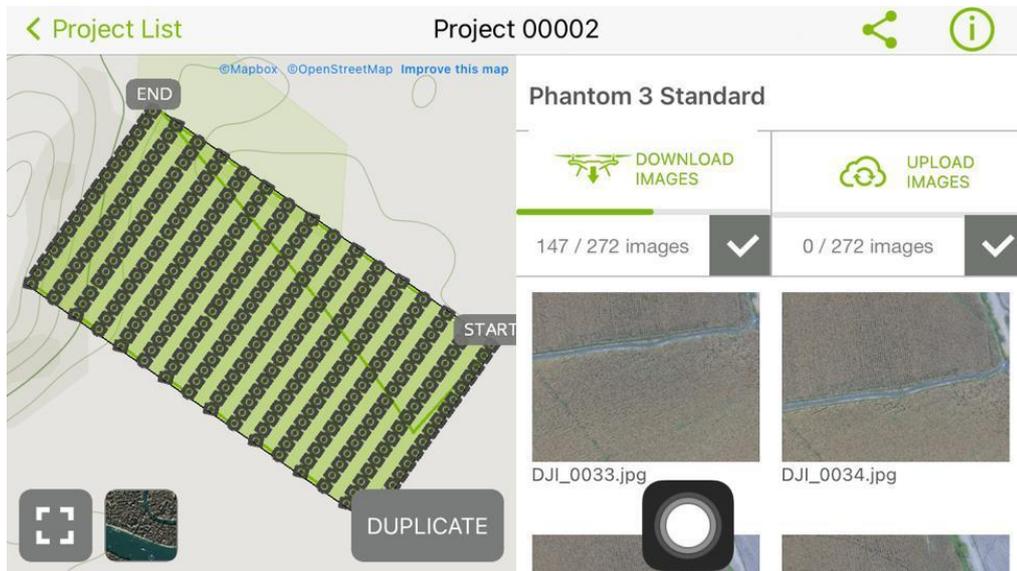
Imágenes capturadas terminado el vuelo - Primera Vista



Nota: La captura de imagen fue sacada desde la aplicación Pix4Dcapture ya habiendo terminado el recorrido

Figura 28

Imágenes capturadas terminado el vuelo - Segunda Vista



Nota: La captura de imagen fue sacada desde la aplicación Pix4Dcapture ya habiendo terminado el recorrido

2.3.3. Elección de índice, lenguaje de programación y generación Ortomosaico

2.3.3.1. Elección del índice de vegetación

En el siguiente punto se tiene que escoger el índice de vegetación con el cual se va a utilizar en el presente proyecto, se tiene que tener en cuenta que se está trabajando con un Vehículo Aéreo no Tripulado que no depende de un sensor infrarrojo, debido a que este es el principal problema con el cálculo del índice de vegetación, esto se debe a que, hay una gran dependencia con las bandas de infrarrojo cuando las imágenes se basan de forma tradicional en la banda del espectro visible.

Por ende, no es posible utilizar el **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)** ni el **Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)**, ya que ambos requieren necesariamente operar con bandas del infrarrojo cercano.

No obstante, existen alternativas para el cálculo de índices de vegetación en **Vehículos Aéreos No Tripulados** que utilizan bandas del espectro visible y óptica convencional. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones de estos índices, así como la influencia de diversos factores presentes en el terreno o área de estudio, tales como la humedad del suelo, la etapa fenológica del cultivo, entre otros. (*Gis&Beers, 2020*)

Entre estos índices alternativos se pueden mencionar los siguientes:

- ***Green-Red Vegetation Index (GRVI)***

Índice de vegetación que opera con las bandas verdes y rojas, teniendo una interpretación parecida al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NVDI). (Gis&Beers, 2020)

$$GRVI = \frac{RED - GREEN}{RED + GREEN}$$

- ***Red-Green-Blue Vegetation Index (RGBVI)***

Índice de vegetación que opera con las bandas del espectro de luz visible (Red, Green y Blue) con una interpretación con las fórmulas normalizadas, para poder ejecutarse se necesita clasificar de forma no supervisada de los valores, para así poder diferenciar entornos para cultivos del resto de usos del suelo. (Gis&Beers, 2020)

$$RGBVI = \frac{GREEN^2 - (RED * BLUE)}{GREEN^2 + (RED * BLUE)}$$

- ***Green Leaf Index (GLI)***

El GLI es el más usado de los índices anteriores debido a que igual que el RGBVI incorpora a las 3 bandas del espectro de luz visible (Red, Green y Blue), pero a diferencia del anterior este presenta una gran sensibilidad al momento de identificar los elementos verdes (cultivos) y oscuros, no obstante, se debe tener cuidado debido a que se puede clasificar zonas vegetales de forma errónea (zonas húmedas verdosas, suelos húmedos, etc). (Gis&Beers, 2020)

$$GLI = \frac{2 * GREEN - RED - BLUE}{2 * GREEN + RED + BLUE}$$

- ***Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)***

El presente Índice es similar al GLI, salvo que está define la medida de fracciones verdes que tiene una zona territorial. Este índice es más aplicado para situaciones donde se muestre una baja influencia atmosférica, por ello con vuelos a baja altitud se puede obtener mejores resultados. (Gis&Beers, 2020)

$$VARI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED - BLUE}$$

- ***Normalized Green-Red Difference Index (NGRDI)***

Este índice es similar al GRVI, con la diferencia que los valores generados son menos precisos que el tradicional NDVI, no obstante, es un índice normalizado. (Gis&Beers, 2020)

$$NGRDI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED}$$

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se procede a escoger al Green Leaf Index o mejor conocido GLI, debido a que es el más usado de los anteriores y porque es más sensible para laborar con los valores de los pixeles nativos de las bandas roja, verde y azul, o mejor conocido como bandas del espectro de luz visible. Así mismo esto facilita y economiza la elaboración del proyecto, porque no se necesita recurrir a sensores infrarrojo, si no, solo el sensor original que posee la cámara, cabe resaltar que este tiene menos sensibilidad debido al intervalo de valores que posee (0-255). (Gis&Beers, 2019)

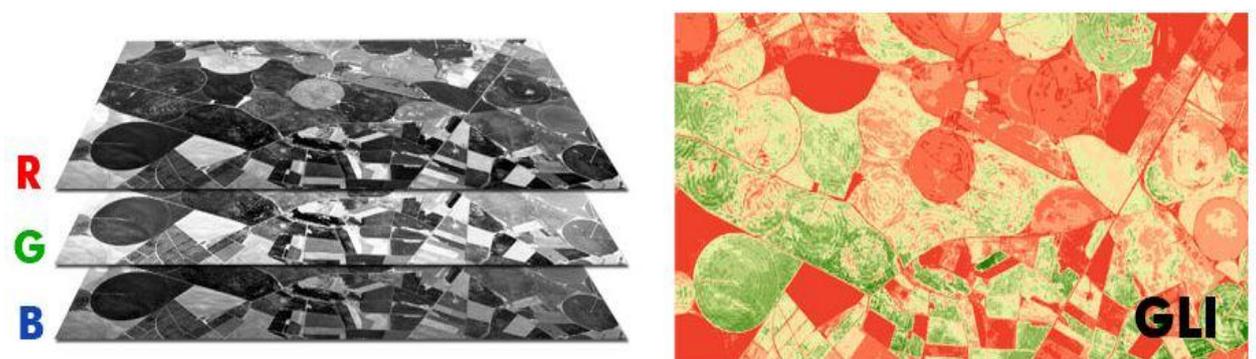
Como se muestra en la Figura 30, se procederá a pasar el ortomosaico en las 3 bandas del espectro de luz visible (Red, Green y Blue) para luego poder obtener la imagen procesada con las zonas donde estan los cultivos en un buen estado (color verde) y las zonas donde el cultivo este escaseando o muriendo (tonalidades de rojo)

Figura 29
Terreno ejemplo para aplicación del Green Leaf Index (GLI)



Nota: Se muestra un ejemplo de la aplicación del índice GLI, por Gis&Beers, 2019

Figura 30
Aplicación del Green Leaf Index (GLI) en el terreno ejemplo



Nota: representación de como se visualiza despues de la aplicación del índice GLI, por Gis&Beers, 2019

2.3.3.2. *Elección del lenguaje de programación*

Para un correcto desarrollo y funcionamiento del proyecto se optó por utilizar el lenguaje de programación PYTHON, esto debido a las siguientes razones:

- Es un lenguaje de programación más conocido y simples de usar que existe hasta la actualidad.
- Hasta el momento es el lenguaje de programación que tiene mayor soporte y funcionalidad con la librería Sequence Learning, la cual cuenta con múltiples fuentes de información documentada sobre el uso de esta librería con PYTHON.
- Su motor de desarrollo es suficiente para el correcto funcionamiento del proyecto, el cual permite interactuar con el código de una manera más sencilla y eficaz (Creación de botones, ventanas, etc.)

2.3.3.3. *Generación del ortomosaico*

En el siguiente apartado se verá el proceso para la generación del ortomosaico en base a las imágenes capturadas por el recorrido del Vehículo Aéreo no Tripulado, para el desarrollo de la misma, se utiliza una Software de código abierto que es manejable para la interacción del procesamiento de imágenes capturadas por drones, dicho aplicativo se denomina “WEBODM”. Esta aplicación permite generar ortomosaicos con georreferencias y texturizados a través de imágenes capturadas desde una perspectiva aérea. (Morales, 2019)

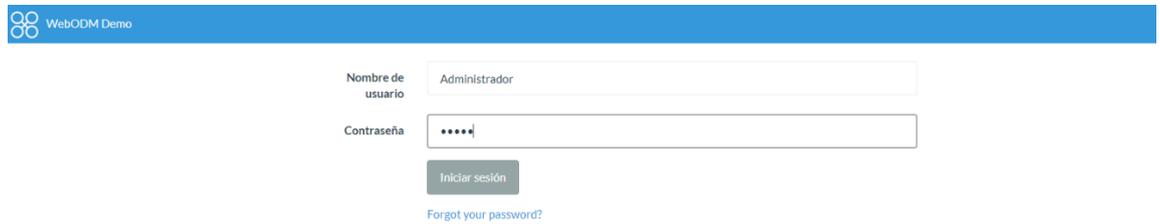
A continuación, se muestra los pasos a seguir para realizar la correcta generación del ortomosaico.

1. Una vez instalado el software de WEBODM se procede a abrir un navegador de internet (En este caso se utilizó Google Chrome) y se apertura con las credenciales que se haya configurado dentro de la base de datos, para la presente interacción se está utilizando las siguientes credenciales:

Nombre de usuario: Administrador

Contraseña: admin

Figura 31
Credenciales para Ingresar a la Interfaz de WebODM



WebODM Demo

Nombre de usuario: Administrador

Contraseña:

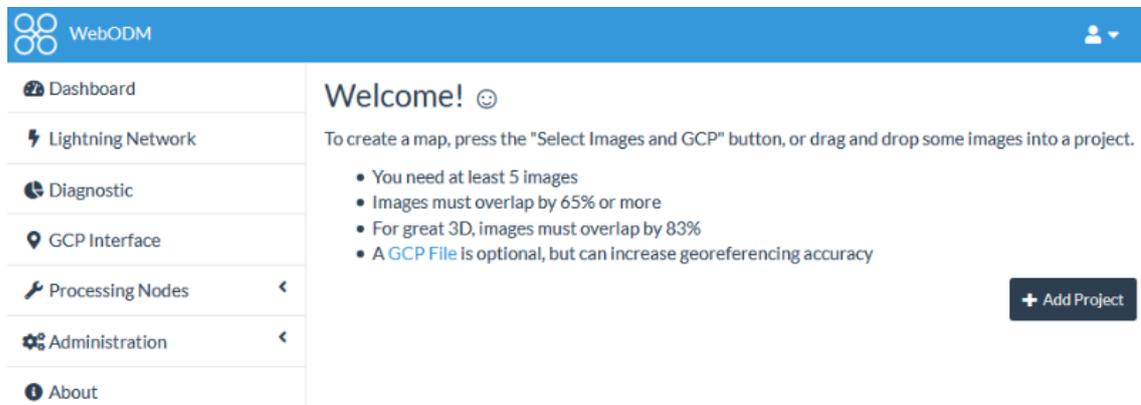
Iniciar sesión

[Forgot your password?](#)

Nota: intergaz del WebODM para colocar el usuario y contraseña.

2. Una vez se haya validado las credenciales, se procederá a abrir el siguiente DashBoard

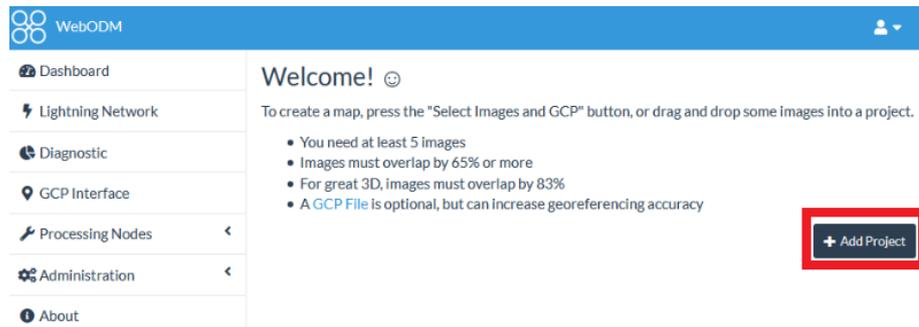
Figura 32
Interfaz de WebODM



Nota: interfaz del WebODM al iniciar sesión

3. A continuación, se procederá a crear un nuevo proyecto, para ello se debe dar clic en el botón “+ Add Project”

Figura 33
Agregar Proyecto



Nota: Se indica como agregar un proyecto nuevo a la interfaz.

4. Se procederá a abrir una ventana emergente, donde indicará que se coloque un nombre y una descripción para el nuevo proyecto, para el presente se utilizó el nombre “Primer Proyecto”, para finalizar se da clic en “+ Create Project”.

Figura 34
Crear Nuevo Proyecto

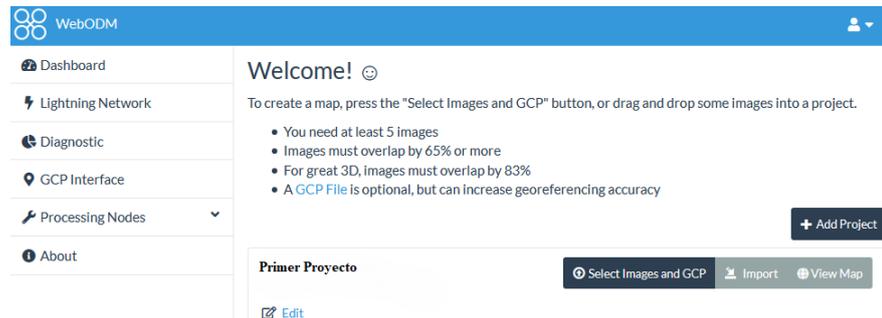
The image shows a 'New Project' dialog box. It has a title bar with 'New Project' and a close button (X). Below the title bar, there are two input fields. The first is labeled 'Name' and contains the text 'Primer Proyecto'. The second is labeled 'Description (optional)' and is empty. At the bottom of the dialog, there are two buttons: a grey 'Cancel' button and a dark blue '+ Create Project' button.

Nota: Se procede a indicar los pasos para crear un nuevo proyecto.

5. Una vez creado el proyecto, este se logrará visualizar dentro del Dashboard.

Figura 35

Visualización del Nuevo Proyecto en el DashBoard

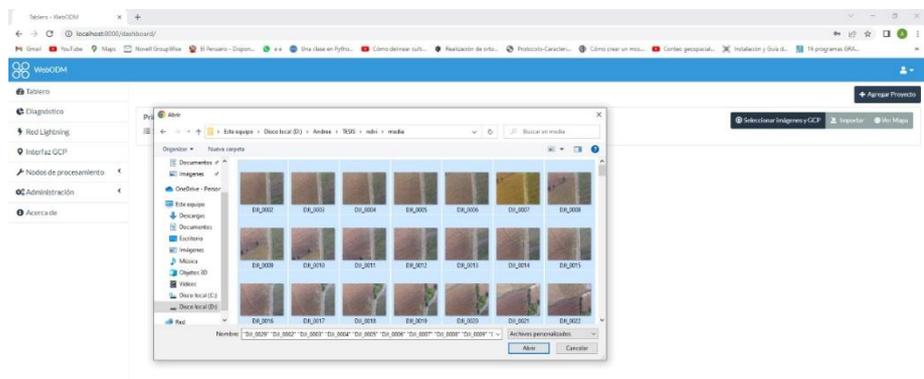


Nota: En el DashBoard de la interfaz se visualiza el nuevo Proyecto.

6. Una vez llegado a este punto, se procede a cargar las imágenes que fueron capturadas desde el Drone y que previamente se almaceno dentro de la computadora, para ello se hace clic en “Select Images and GCP”, una vez ahí se abrirá una ventana buscaremos la ubicación donde se almaceno las imágenes capturadas por el Drone.

Figura 36

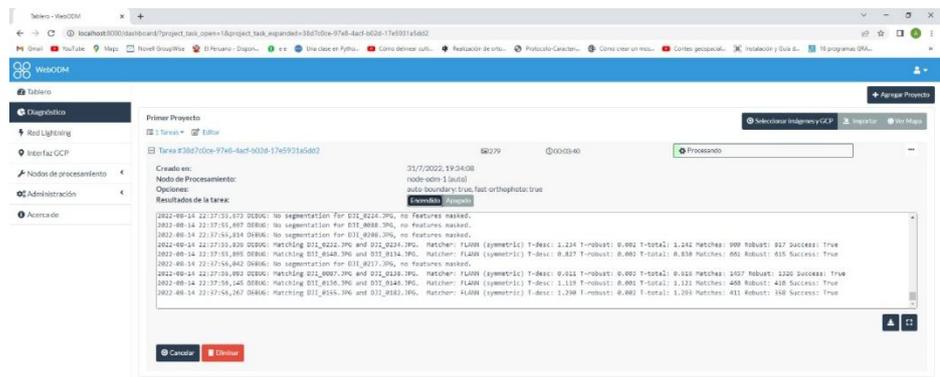
Seleccionar Imágenes Capturadas desde el Drone



Nota: Se procede a seleccionar las imágenes capturadas desde el Vehículo Aéreo no Tripulado.

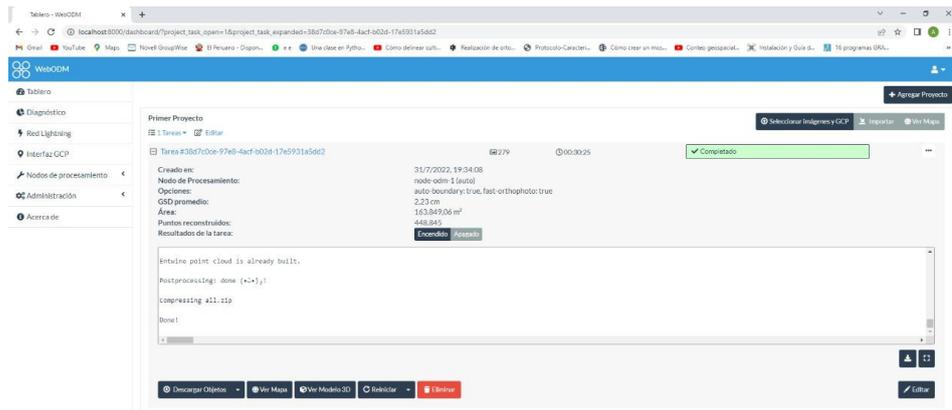
7. Para el presente proyecto se está utilizando 239 imágenes que se capturaron después que el Drone ejecutará su plan de vuelo programada, una vez las imágenes están cargadas se procederá a procesar la información recopilada, y el tiempo varía según la potencia del equipo de cómputo donde esté utilizando el software.

Figura 37
Interfaz de Subida de Imágenes al WebODM



Nota: La presente interfaz es de como se visualiza, una vez subidas las imágenes.

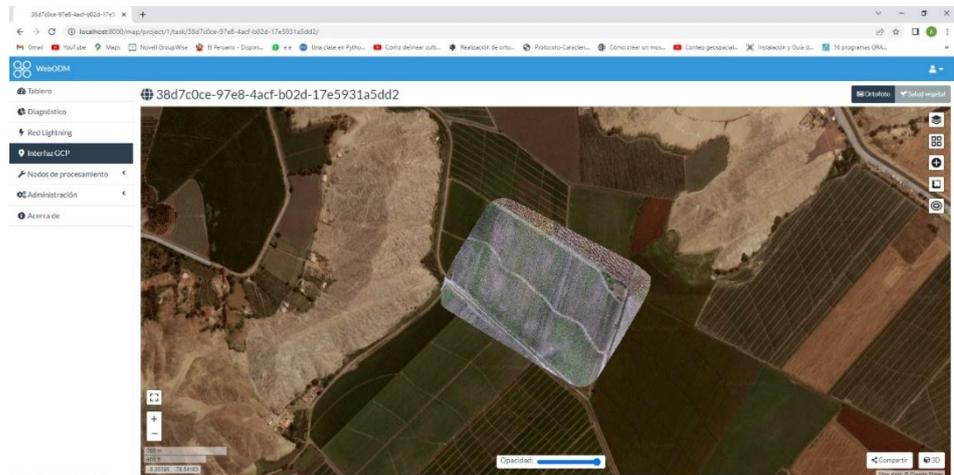
Figura 38
Interfaz de Subida de Imágenes Finalizada al WebODM



Nota: La presente interfaz es de como se visualiza, una vez termina la subida de las imágenes.

- Una vez concluido, nos direccionamos a la opción de “ver mapa” el cual nos direcciona a sub módulo de Interfaz GCP, donde se visualiza la unión de las imágenes procesadas y consigo la creación del ortomosaico, se adjunta una captura de como arroja el software una vez concluido el proceso.

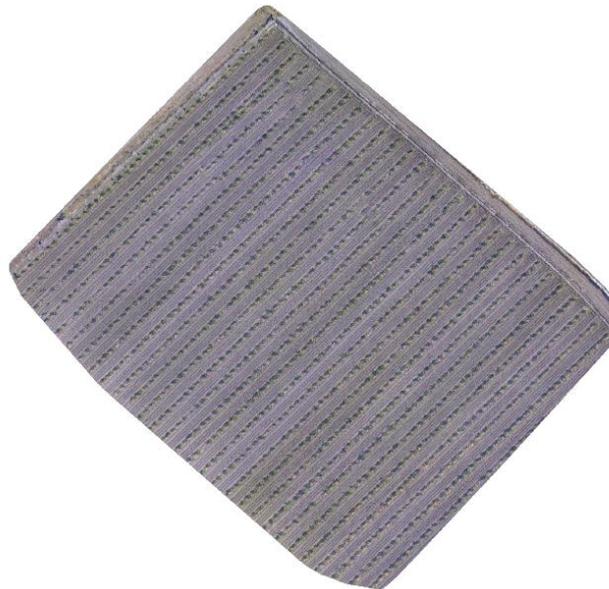
Figura 39
Creación del Ortomosaico dentro del WebODM



Nota: Se visualiza como se refleja el ortomosaico una vez generado dentro del WebODM

9. Una vez concluida la generación del ortomosaico, se procede a exportar en formato .tif el archivo con los datos, donde saldrá el bosquejo de la zona a la cual se requiere para proceder con el procesamiento de imágenes RGB.

Figura 40
Generación del Ortomosaico en archivo .tif



Nota: Se realiza una visualización de solo el ortomosaico que buscamos delimitar.

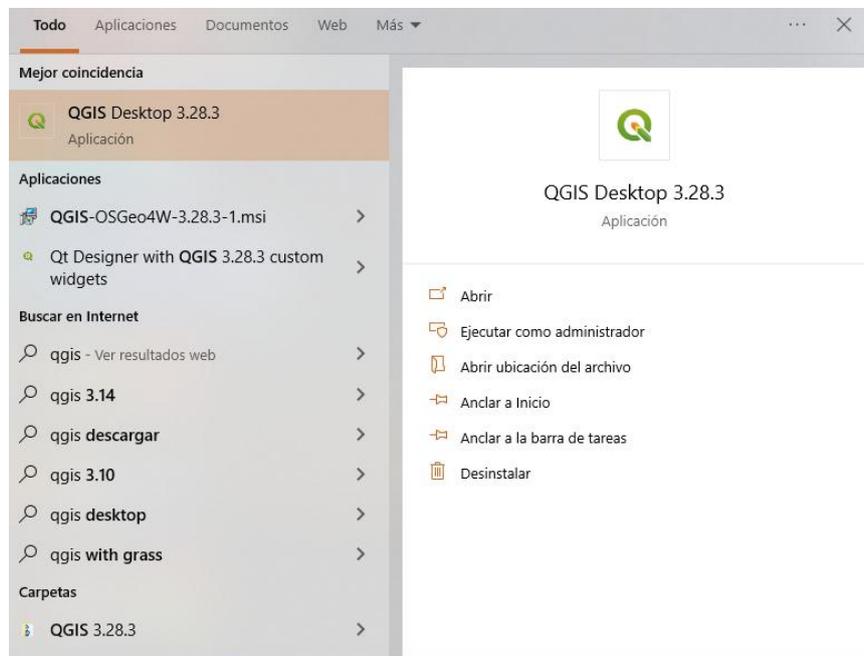
2.3.4. Procesamiento de imágenes

Para poder realizar de forma correcta el procesamiento de imágenes RGB aplicando la fórmula de Green Leaf Index (GLI) que se dio a conocer más afondo en puntos anteriores (2.3.3.1. Elección del índice de Vegetación), se utiliza la aplicación de Software libre y de código abierto que se Denomina Quantum GIS (QGIS) que es un sistema de información geográfica. La cual proporciona la visualización, gestión edición y análisis de datos para poder diseñar u imprimir mapas, para consigo obtener características detalladas de del terreno a analizar o interpretar. (Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 (CC BY-SA), s.f.)

A continuación, se muestra los pasos a seguir para realizar el correcto procesamiento de imágenes de la orto mosaico obtenido en el punto anterior (.tif)

1. En primera instancia se ejecuta la aplicación de QGIS, donde se visualizará la interfaz de dicho Sistema y se visualizará los diferentes componentes con el que cuenta.

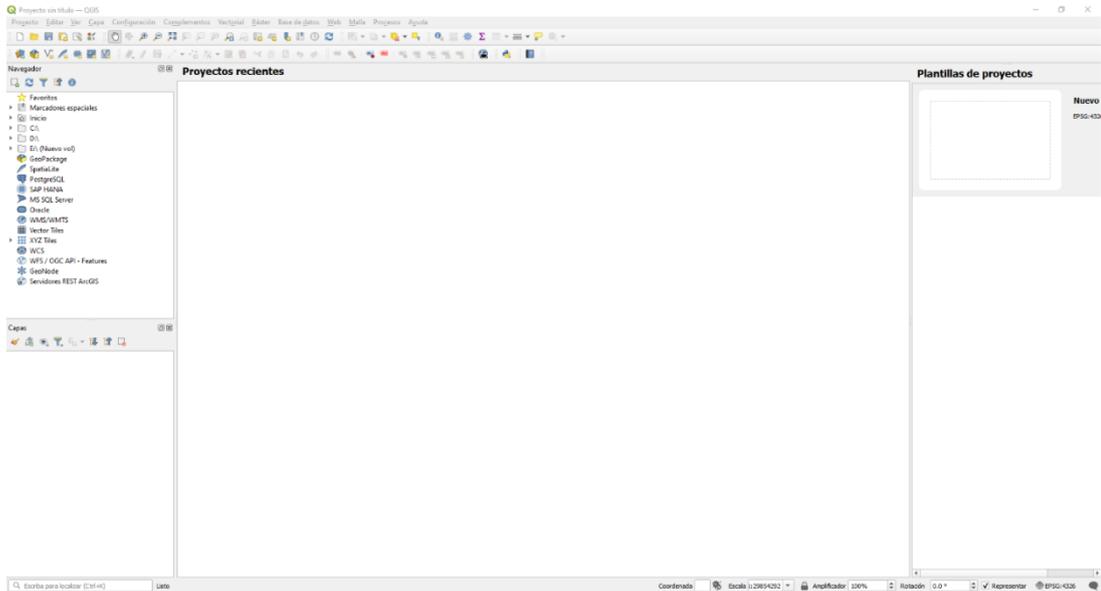
Figura 41
Ejecución del Aplicativo QGIS



Nota: Se procede a realizar la ejecución del Aplicativo QGIS

Figura 42

Interfaz de la Aplicación QGIS

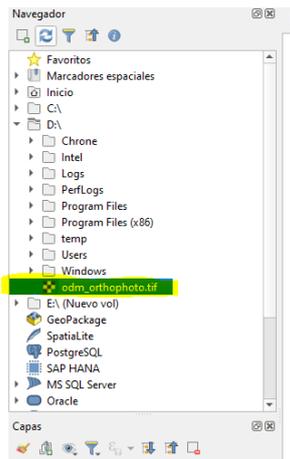


Nota: Se muestra como es la interfaz una vez inicializada.

- Una vez inicializado el programa de QGIS, se procede a ubicar en la parte izquierda (Navegador) y dentro de la pestaña ubicamos nuestro archivo .tif, en este caso se tiene almacenado dentro del Disco Local D con el nombre odm_orthophoto.tif.

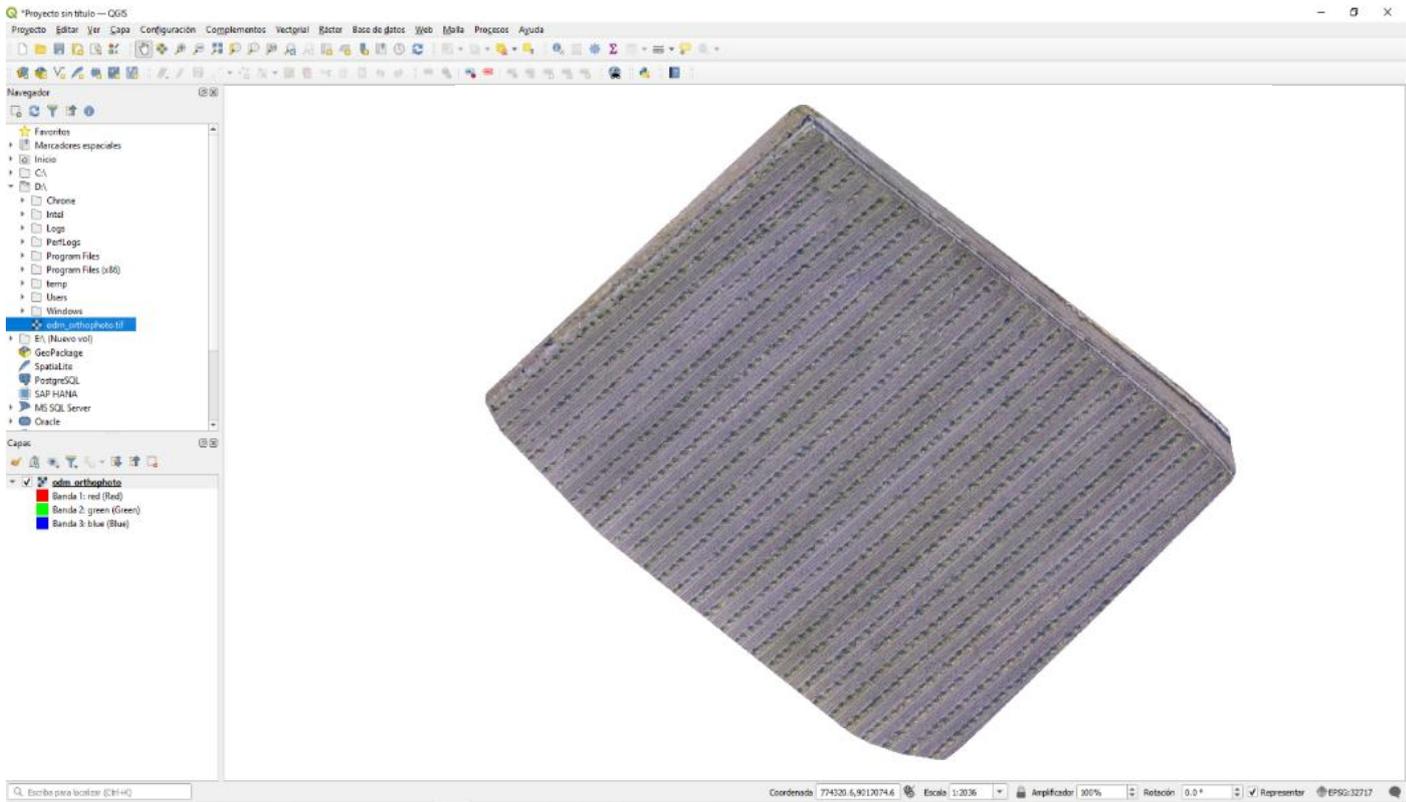
Figura 43

Ubicar dentro del QGIS el orto mosaico



Nota: Dentro de la interfaz del QGIS debemos seleccionar el ortomosaico.

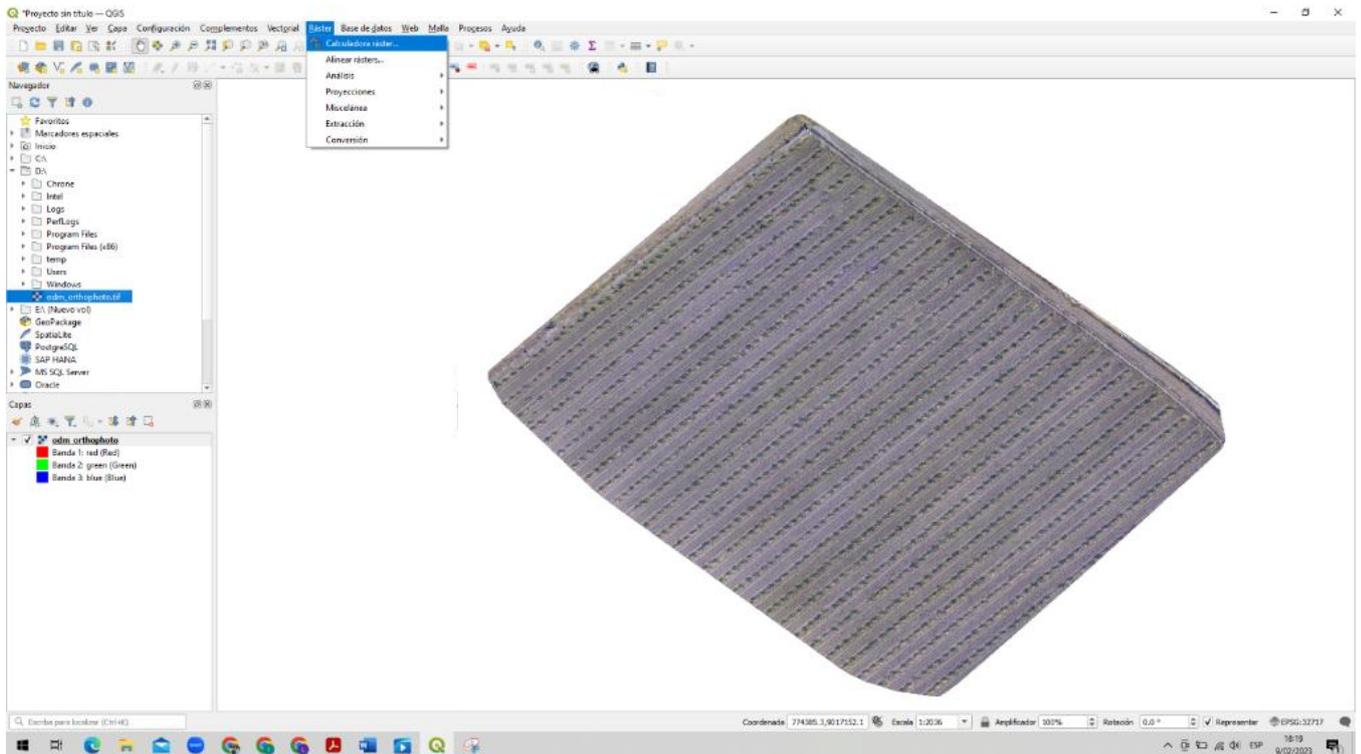
Figura 44
Visualización del Orto mosaico dentro del Aplicativo QGIS



Nota: Se visualiza el Orto mosaico cargado a la interfaz del QGIS

3. Una vez cargada la imagen .tif procedemos a ir a la parte superior de la aplicación QGIS, en la pestaña de “Ráster” Sub pestaña “Calculadora Ráster”.

Figura 45
Buscamos el ítem para calcular el Ráster

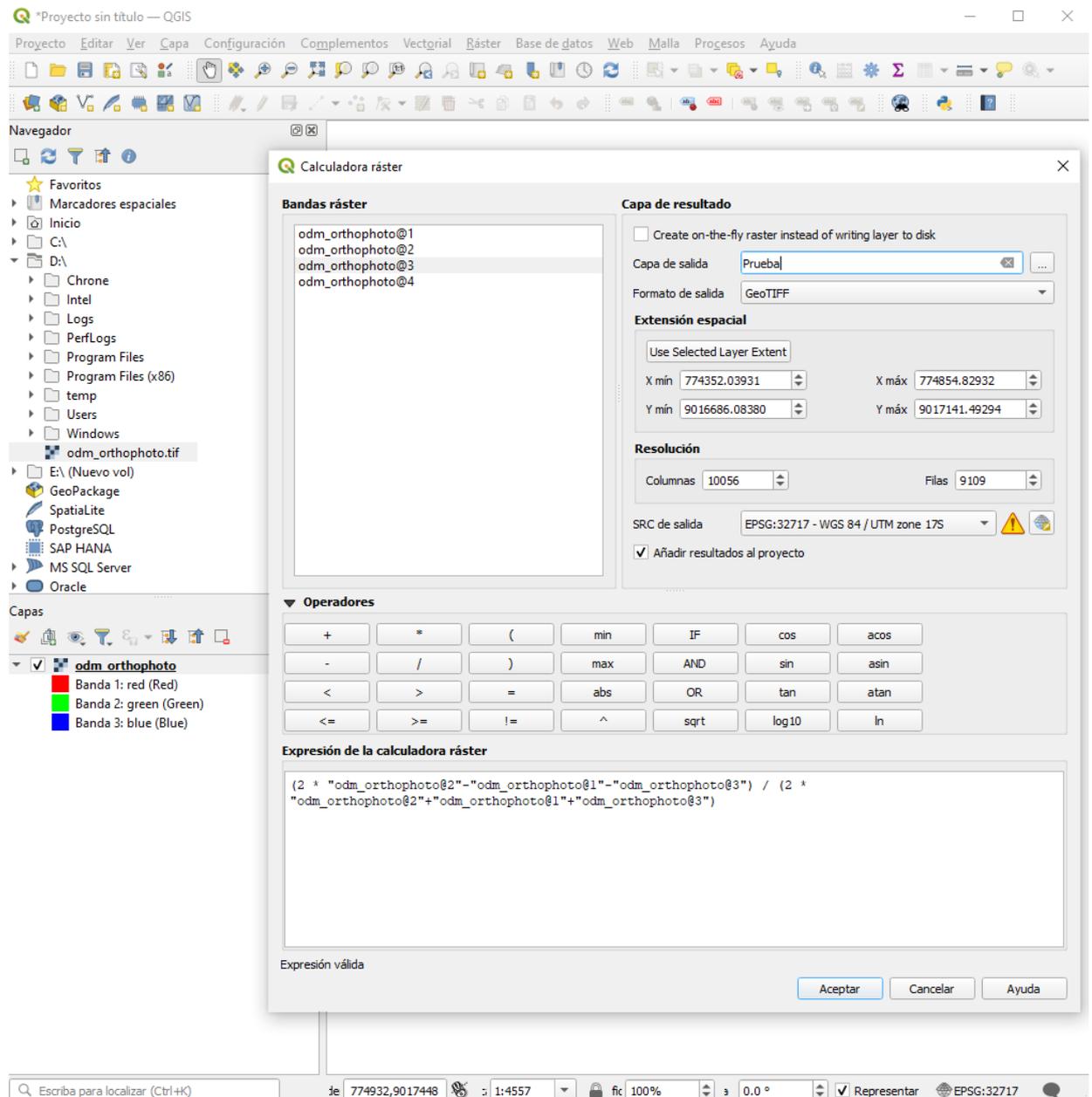


Nota: Se tiene que buscar el ítem para calcular el ráster proceder con el siguiente paso.

4. Una vez que se apertura la pestaña de calculadora ráster, se procede a colocar en la parte superior (Capa de Salida) el nombre del proyecto a generar en este caso se esta colocando como nombre “Prueba” y en la parte inferior de la misma (Expresión de la calculadora Ráster) se procede a colocar la formula del Índice de Vegetación aplicar, la cual en este caso se utiliza el Green Leaf Index (GLI).

$$GLI = \frac{2 * GREEN - RED - BLUE}{2 * GREEN + RED + BLUE}$$

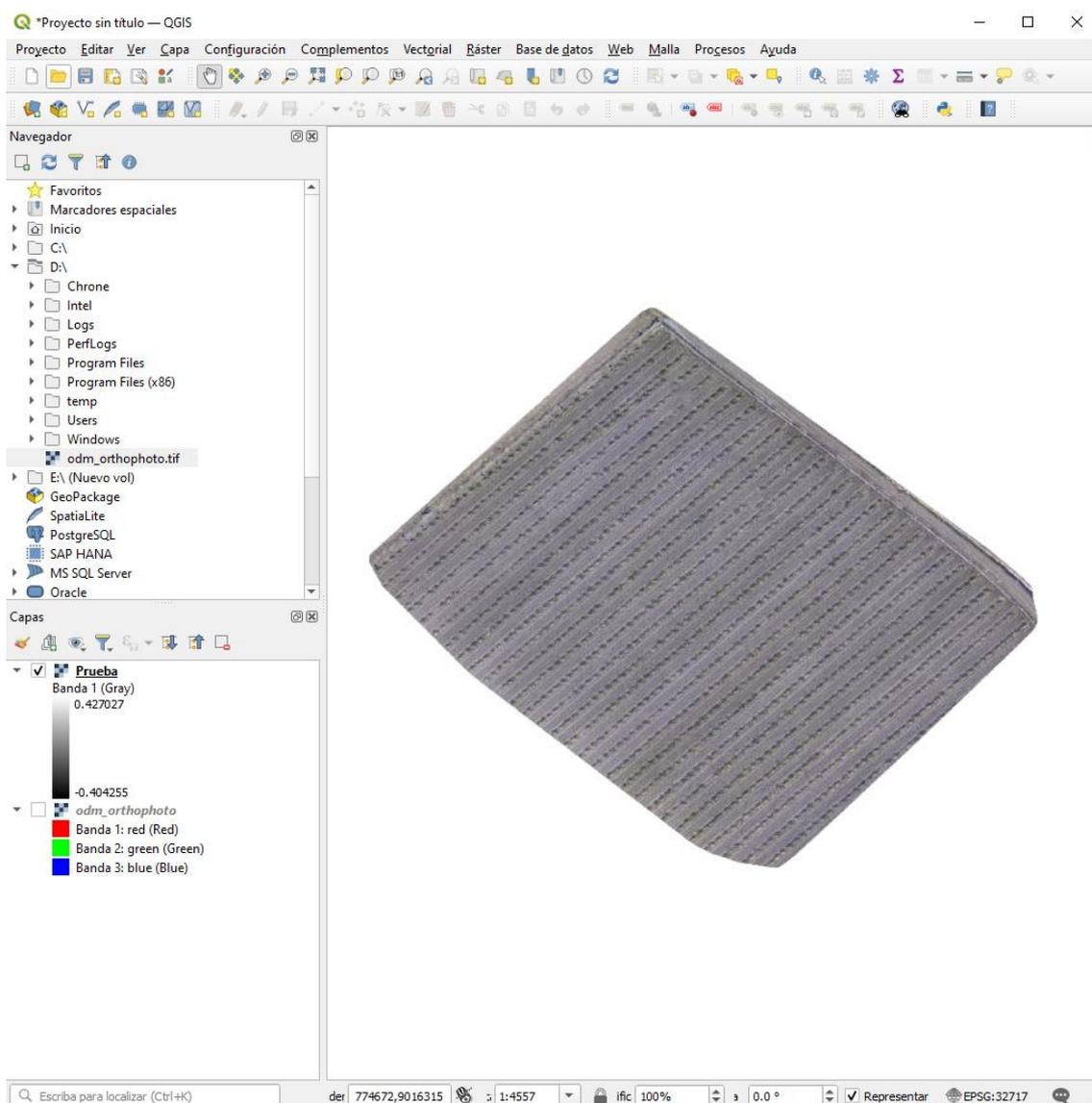
Figura 46
Completando Datos para utilizar la Calculadora Ráster



Nota: Se procede a completar los datos para utilizar dentro de la calculadora Ráster como también especificar la formula del índice GLI.

5. Una vez terminado el Paso N° 4 se obtendrá una imagen en escala de grises que vas desde el rango -0.404255 hasta el 0.427027.
- 6.

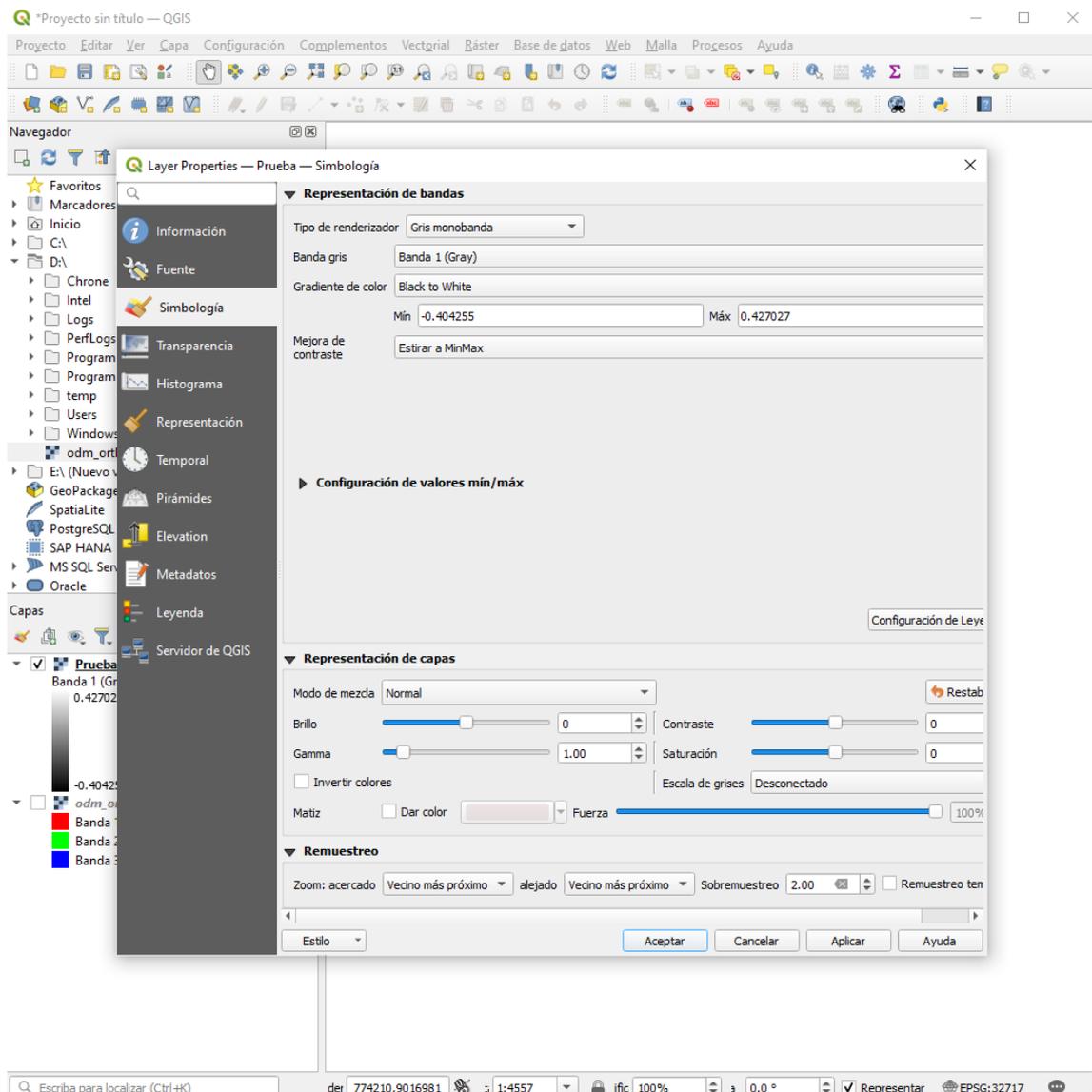
Figura 47
Procesamiento de Imagen del archivo .tif en Escala de Grises



Nota: Procedemos a realizar el procesamiento de la imagen del archivo .tif pero en escala de grises.

7. A continuación, se hace doble clic en la capa izquierda donde aparece el nombre “Prueba” del proyecto que se creó anteriormente, el cual abrirá las propiedades de la capa, procederemos a ubicar en la pestaña izquierda el apartado que indica simbología.

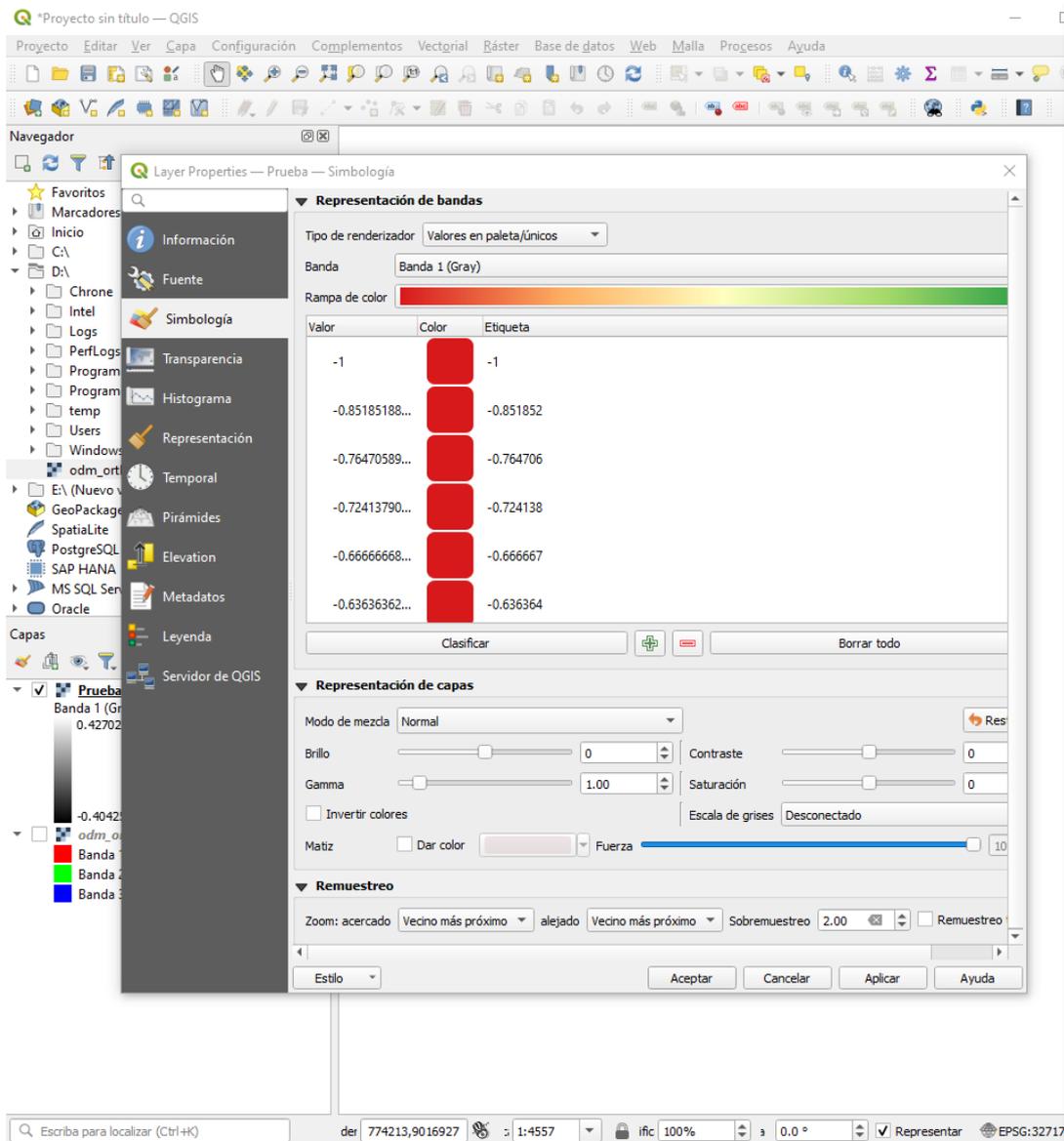
Figura 48
Propiedades de la Capa del Proyecto "Prueba"



Nota: Se procede a verificar las propiedades de la capa del proyecto en cuestión.

8. Una vez dentro de Simbología pasamos a realizar los siguientes ajustes:
 - a) Tipo de Renderizador: “Valores en paleta/únicos”
 - b) Rampa de Color: “RdYlGn”, el cual “RdYlGn” Significa “Red, Yellow y Green”
 - c) Hacer clic en el botón Clasificar para previsualizar como irá variando los rangos de colores.

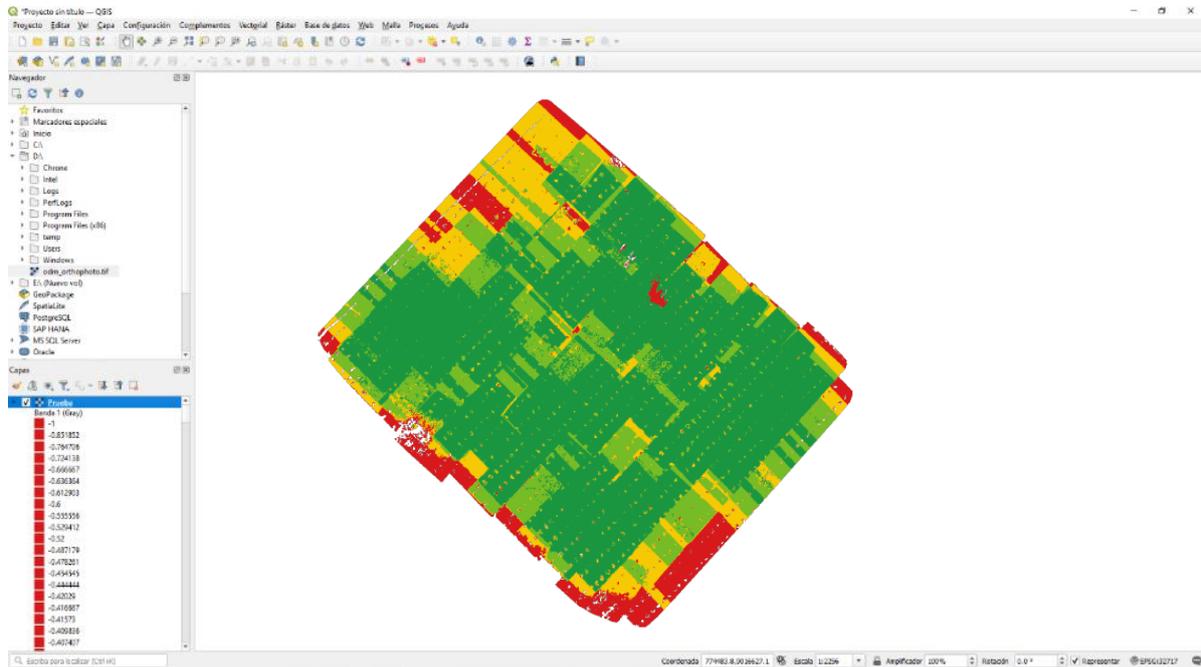
Figura 49
Modificación de ajustes en la capa "Prueba"



Nota: Se procede a realizar los ajustes necesarios para adecuarlo a la escala de colores RGB.

- Una vez que se cargó las modificaciones se puede visualizar el siguiente resultado ya aplicado las bandas de color correspondientes.

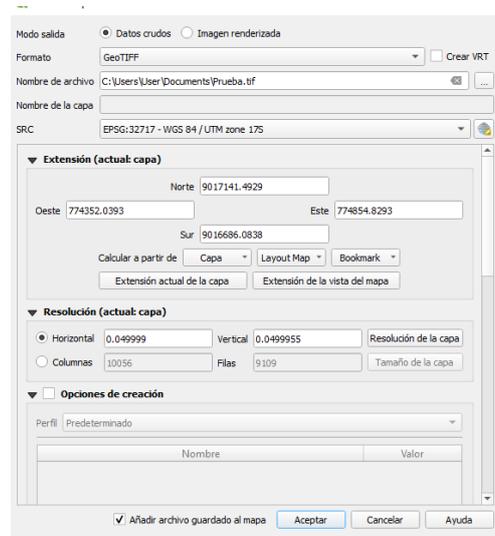
Figura 50
Procesamiento de Imagen RGB del orto mosaico



Nota: Una vez terminado los ajustes se procese a generar el ortomosaico con el rango de color RGB

10. Para finalizar se exporta el archivo en formato .tif, para ello se tiene que hacer anti clic en la capa “Prueba” dirigirse al apartado de Exportar y Luego en Guardar como para poder Colocar un Nombre al archivo e indicar la ruta a guardar, y consigo se obtendrá un archivo en Formato .tif.

Figura 51
Exportar Resultado del Procesamiento de Imagen RGB en formato .tif



Nota: Verificamos que los datos para exportar el archivo en formato .pdf esten correctos

10. Por último, para obtener el reporte de los resultados obtenidos se puede exportar el archivo en formato PDF.

2.3.5. Modelo de detección y conteo de cultivos

Según los datos obtenidos en el punto 2.3.3.3. denominado como Generación del Ortomosaico donde para el desarrollo correspondiente de la presente se necesita que el ortomosaico tenga una buena visibilidad del cultivo por ende se aplica en la muestra que delimita nuestro informe de tesis para consigo estimar la cantidad aproximada de plantación de cultivo que hay en 1 hectáreas de cultivo, para ello se tuvo que realizar la unión georreferenciada de 239 fotos, las cuales sirvieron para la generación adecuada del ortomosaico donde se realiza la detección y conteo de cultivos, así mismo, este se desarrolla con la herramienta de “JUPYTER” que ofrece “PYTHON” debido a que es un software de uso libre que da las facilidades para realizar este tipo de trabajo.

A continuación, se explicará el funcionamiento del código fuente que permite realizar de forma idónea la detección y conteo de cultivos, así mismo, se adjunta en la parte final en el Anexo N°01 la cantidad de puntos obtenidos según las métricas indicadas, donde se visualiza la ejecución completa y detallada del funcionamiento de la presente detección y conteo de cultivos

Cabe resaltar que para el correcto desarrollo del presente punto se está aplicando la teoría de Redes Neuronales para realizar un conteo adecuado y con menos margen de error, basándose en puntos de aprendizaje ya establecidos previamente dentro del ortomosaico.

- 1) En primera instancia se indica cuáles son las librerías con las que se va a trabajar para el correcto funcionamiento de lo expuesto líneas anteriores, como se visualiza en la Figura 52, las librerías que se está utilizando son: matplotlib.pyplot, geopandas, rasterio, numpy, show, march_template e image, las cuales tienen como objetivo el limar las asperezas que tenga el ortomosaico y consigo realizar un adecuado conteo georreferenciado, indicando la cantidad de cultivos como la ubicación dentro del ortomosaico.

Figura 52
Librerías a Importar

```
#import required libraries
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import geopandas as gpd
import rasterio
from rasterio.plot import show
from skimage.feature import match_template
import numpy as np
from PIL import Image
```

Nota: Se muestra la parte del código para importar librerías.

- 2) Como se visualiza en la Figura 53, el objetivo de dicho punto es aperturar mediante código un archivo (“.shp” la cual es una matriz de coordenadas o vectores)

(Visualizar Figura 54) el cual ya cuenta con los puntos pre seleccionados, que son puntos de control para que se tome como referencia para los próximos pasos.

Figura 53
Apertura del ortomosaico con puntos definidos

```
#open point shapefile
pointData = gpd.read_file('Shp/pointData.shp')
print('CRS of Point Data: ' + str(pointData.crs))

#open raster file
palmRaster = rasterio.open('Rst/odm_orthophoto.tif')
print('CRS of Raster Data: ' + str(palmRaster.crs))
print('Number of Raster Bands: ' + str(palmRaster.count))
print('Interpretation of Raster Bands: ' + str(palmRaster.colorinterp))
```

```
CRS of Point Data: epsg:32717
CRS of Raster Data: EPSG:32717
Number of Raster Bands: 4
Interpretation of Raster Bands: (<ColorInterp.red: 3>, <ColorInterp.green: 4>, <ColorInterp.blue: 5>, <ColorInterp.alpha: 6>)
```

Nota: Parte del código donde se indica la apertura del ortomosaico con puntos definidos(para escoger)

Figura 54
Archivo .shp



Nota: generación del archivo .shp

- 3) En el presente paso, el código cuenta con la función de mostrar el archivo .shp antes mencionado dentro de la interfaz, así mismo, se indica el tamaño el cual debe

abarcar dentro de la interfaz, para este caso se esta contando con un tamaño de 18,18.

Figura 55

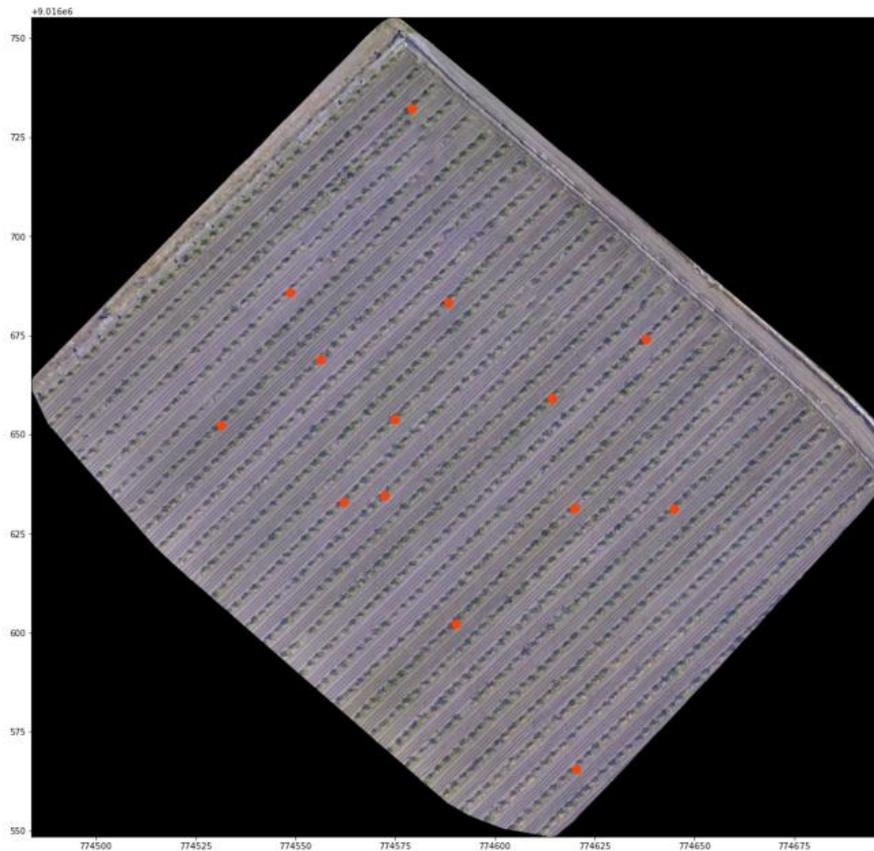
Codigo para mostrar el archivo .shp

```
#show point and raster on a matplotlib plot
fig, ax = plt.subplots(figsize=(18,18))
pointData.plot(ax=ax, color='orangered', markersize=100)
show(palmRaster, ax=ax)
```

Nota: parte del código donde permite mostrar en la interfaz el archivo .shp

Figura 56

Visualización del archivo .shp



Nota: visualización del archivo .shp dentro de la ejecución del código

- 4) Con lo obtenido en el punto 2.3.4. Procesamiento de Imágenes, se indica en el código fuente que se debe trabajar solo con la banda Verde de las tres bandas que cuenta el archivo .shp

Figura 57
Selección de Banda a Trabajar

```
#selected band: green  
greenBand = palmRaster.read(2)
```

Nota: parte del código donde se indica la selección de la banda a trabajar.

- 5) En el siguiente paso, se extrae los puntos del archivo .shp, así mismo indicando en que fila y columna se encuentra dentro del ortomosaico. (14 puntos)

Figura 58
Extracción de los puntos del archivo .shp

```
#extract point value from raster  
surveyRowCol = []  
for index, values in pointData.iterrows():  
    x = values['geometry'].xy[0][0]  
    y = values['geometry'].xy[1][0]  
    row, col = palmRaster.index(x,y)  
    print("Point N°:%d corresponds to row, col: %d, %d"%(index,row,col))  
    surveyRowCol.append([row,col])
```

Nota: Se extraen los puntos indicados dentro del archivo .shp

Figura 59
Puntos extraídos del archivo .shp

```
Point N°:0 corresponds to row, col: 1726, 1449  
Point N°:1 corresponds to row, col: 2030, 1819  
Point N°:2 corresponds to row, col: 2411, 1767  
Point N°:3 corresponds to row, col: 2447, 1562  
Point N°:4 corresponds to row, col: 2478, 2719  
Point N°:5 corresponds to row, col: 3061, 2126  
Point N°:6 corresponds to row, col: 3795, 2725  
Point N°:7 corresponds to row, col: 1626, 3075  
Point N°:8 corresponds to row, col: 2481, 3218  
Point N°:9 corresponds to row, col: 1441, 2086  
Point N°:10 corresponds to row, col: 462, 1902  
Point N°:11 corresponds to row, col: 2060, 949  
Point N°:12 corresponds to row, col: 1388, 1293  
Point N°:13 corresponds to row, col: 1923, 2606
```

Nota: salida del código a la extracción de los puntos del archivo .shp

- 6) En este paso es para seleccionar los puntos vistos en el paso anterior, el radio varía según el cultivo y el criterio del interesado, en este caso se utiliza un radio de 20.

Figura 60

Indicador del radio para cada punto

```
# number of template images
print('Number of template images: %d'%len(surveyRowCol))
# define ratio of analysis
radio = 20

Number of template images: 14
```

Nota: se utiliza para el presente desarrollo un radio de 20 para cada punto

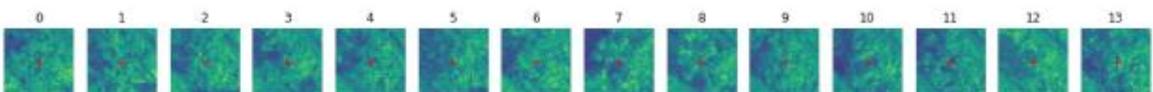
- 7) A continuación, se muestra los puntos de interés utilizados para el presente informe, así mismo, se extrae la imagen correspondiente del cultivo seleccionado por cada

Figura 61

Visualización de los puntos de Interés punto.

```
#show all the points of interest, please be careful to have a complete image, otherwise
fig, ax = plt.subplots(1, len(surveyRowCol),figsize=(20,5))

for index, item in enumerate(surveyRowCol):
    row = item[0]
    col = item[1]
    ax[index].imshow(greenBand)
    ax[index].plot(col,row,color='red', linestyle='dashed', marker='+',
        markerfacecolor='blue', markersize=8)
    ax[index].set_xlim(col-radio,col+radio)
    ax[index].set_ylim(row-radio,row+radio)
    ax[index].axis('off')
    ax[index].set_title(index)
```



Nota: segmento de la codificación para visualizar los puntos de interés.

- 8) En el presente punto, se tiene que rotar la imagen, al criterio del interesado y la cantidad de veces que sean necesarias para abarcar todos los cultivos posibles, en

mérito y para una adecuada celeridad de la presente se optó rotar la imagen en 30° durante 4 veces para obtener un resultado semejante o aproximado a la realidad.

Figura 62
Rotar las imágenes de los puntos de interés

```
# Match the image to the template

listaresultados = []

templateBandList = []
for rowCol in surveyRowCol:
    imageList = []
    row = rowCol[0]
    col = rowCol[1]
    #append original band
    imageList.append(greenBand[row-radio:row+radio, col-radio:col+radio])
    #append rotated images
    templateBandToRotate = greenBand[row-2*radio:row+2*radio, col-2*radio:col+2*radio]
    rotationList = [i*30 for i in range(1,4)]
    for rotation in rotationList:
        rotatedRaw = Image.fromarray(templateBandToRotate)
        rotatedImage = rotatedRaw.rotate(rotation)
        imageList.append(np.asarray(rotatedImage)[radio:-radio,radio:-radio])
    #plot original and rotated images
    fig, ax = plt.subplots(1, len(imageList),figsize=(12,12))
```

Nota: se rota los puntos de interes para consigo lograr tener la mayor cantidad de coincidencias al momento de comparar con los demas puntos.

- 9) Una vez obtenido las rotaciones de los puntos de interés, se procede a buscar semejanzas con dichos puntos de interés dentro del ortomosaico, para ello se cuenta con un porcentaje de aceptación del 99.96% para abarcar que sean los más parecidos posibles.

Figura 63

Buscar comparaciones de los puntos en el ortomosaico

```
: # match the template image to the orthophoto
matchXYList = []
for index, templateband in enumerate(templateBandList):
    if index%10 == 0:
        print('Match template ongoing for figure Nº %d'%index)
        matchTemplate = match_template(greenBand, templateband, pad_input=True)
        matchTemplateFiltered = np.where(matchTemplate>np.quantile(matchTemplate,0.9996))
        for item in zip(matchTemplateFiltered[0],matchTemplateFiltered[1]):
            x, y = palmRaster.xy(item[0], item[1])
            matchXYList.append([x,y])
```

```
Match template ongoing for figure Nº 0
Match template ongoing for figure Nº 10
Match template ongoing for figure Nº 20
Match template ongoing for figure Nº 30
Match template ongoing for figure Nº 40
Match template ongoing for figure Nº 50
```

Nota: Con los datos obtenidos previamente, se busca comparaciones de los demas puntos en el ortomosaico.

- 10) Una vez que se busca la comparación de los puntos de interés dentro del ortomosaico, la siguiente parte del código muestra el ortomosaico con todos los puntos que coincidieron marcados dentro de la misma.

Figura 64

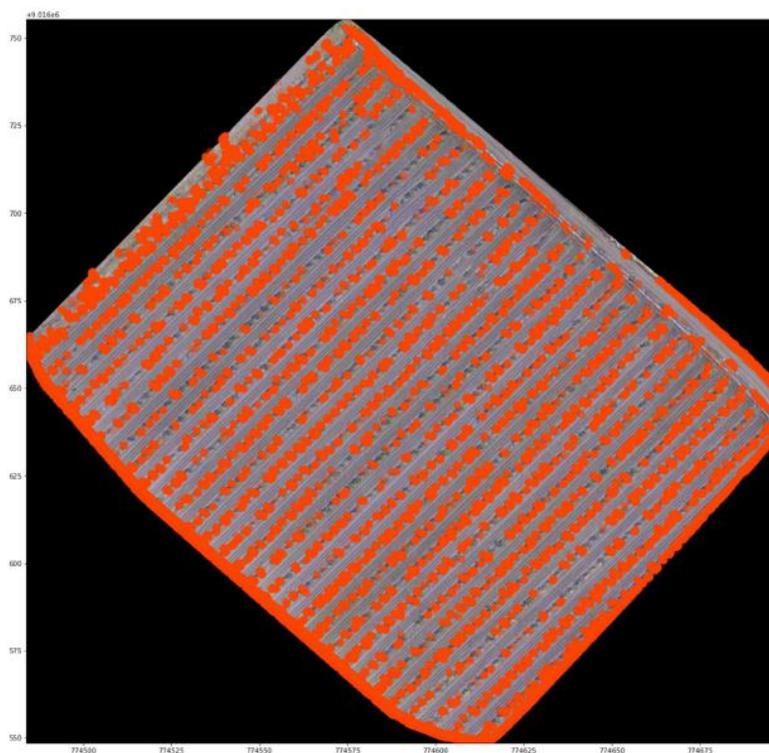
Código para mostrar las comparaciones encontradas

```
# plot interpreted points over the image
fig, ax = plt.subplots(figsize=(20, 20))
matchXYArray = np.array(matchXYList)
ax.scatter(matchXYArray[:,0],matchXYArray[:,1], marker='o',c='orangered', s=100, alpha=0.5)
show(palmRaster, ax=ax)
```

<AxesSubplot:>

Nota: En este segmento de la codificación se muestra las comparaciones encontradas dentro del ortomosaico.

Figura 65
Ortomosaico con los puntos semejantes a los puntos de interés



Nota: se genera el nuevo ortomosaico con los puntos semejantes a los puntos de interés.

- 11) Una vez obtenido el ortomosaico con los puntos semejantes y ya seleccionados, se pasa a identificar los puntos que interés den en un mismo punto u coordenada para consigo evitar la redundancia.

Figura 66
Identificar puntos repetidos y encapsularlo

```
# cluster analysis
from sklearn.cluster import Birch
brc = Birch(branching_factor=10000, n_clusters=None, threshold=2e-5, compute_labels=True)
brc.fit(matchXYArray)
birchPoint = brc.subcluster_centers_
birchPoint

array([[ 774578.02628367,  9016649.68047733],
       [ 774559.05128393,  9016631.147144   ],
       [ 774558.91199822,  9016631.04000114],
       ...,
       [ 774591.32628349,  9016555.022144   ],
       [ 774591.22628349,  9016554.997144   ],
       [ 774591.32628349,  9016554.997144   ]])
```

Nota: Se identifica los puntos repetidos y se encapsulan para evitar duplicidad.

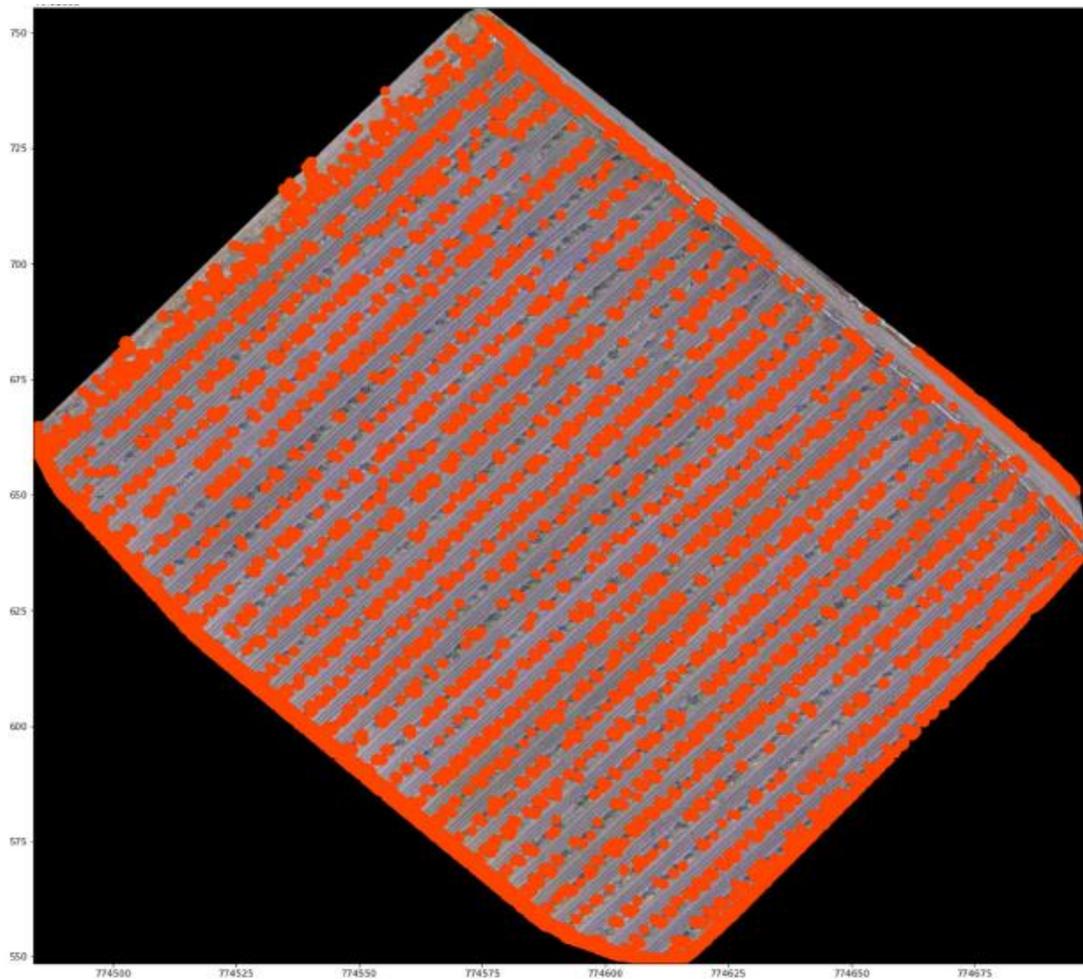
- 12) Una vez realizado el paso anterior se procede a cargar y una vez finalizado continua el presente paso donde se visualizan los puntos restantes de la depuración realizada en el punto anterior. Obteniendo consigo un resultado lo más apegado o cerca a la realidad.

Figura 67
Código para mostrar los puntos depurados

```
# plot clustered points
fig = plt.figure(figsize=(20, 20))
ax = fig.add_subplot(111)
ax.scatter(birchPoint[:,0],birchPoint[:,1], marker='o',color='orangered',s=100)
show(palmRaster, ax=ax)
plt.show()
```

Nota: Una vez encapsulado los puntos repetidos se muestra el segmento de codificación para mostrar los puntos depurados.

Figura 68
Ortomosaico con la depuración de los puntos de interés duplicado



Nota: A continuación, se muestra el nuevo ortomosaico con la depuración de los puntos de interés duplicados.

13) Para finalizar el último punto de la interfaz, es la obtención de un documento en versión .txt con las coordenadas de la ubicación de los cultivos y por ende la cantidad de cultivos que hay en dichas hectáreas (según el algoritmo son un total de 2004 cultivos).

Figura 69

Extracción de las coordenadas y cantidad de cultivos en el ortomosaico

```
# save xy to a csv file  
np.savetxt("Txt/birchPoints.csv", birchPoint, delimiter=",")
```

Nota: Se muestra el segmento de codificación donde se indica la cantidad de cultivos que se encuentra en el ortomosaico y la extracción de las coordenadas.

CAPÍTULO III MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. Tipo de Investigación

Según la Naturaleza del presente Proyecto de Tesis es **Descriptiva**, debido a que se efectuará la recolección de datos e información por medio del diagnóstico de la problemática sobre el Procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando vehículos aéreos no tripulados aplicados a la agricultura.

Según su Fin o Propósito del presente Proyecto de Tesis es **Aplicada - Tecnológica**, debido a que se empleará las teorías, leyes de investigación básica e innovación tecnológica, de tal forma que permitirá resolver de forma eficiente la problemática planteada.

3.2. Diseño de la Investigación

Según Campbell & Stanley (1963), se realiza una investigación con diseño Pre-Experimental cuando se aplica lo siguiente:

- Se verifica un grupo al que se le realiza un tratamiento experimental con otro que no se aplica dicho tratamiento.
- Se realiza mediciones al grupo o grupos ante la aplicación de nuestra variable independiente y también se realiza la misma medición después de dicha aplicación.

Por lo indicado anteriormente, se indica que el diseño del estudio para la presente investigación es Pre-Experimental, se utilizará la técnica de Pre-Test, Post-Test, con el grupo de indicadores. La cual consiste en:

- Medición previa de la Variable Dependiente a ser utilizada (Pre-Test).

- Aplicación de la Variable Independiente a los indicadores de análisis y una nueva medición de la Variable Independiente en el grupo de indicadores (Post-Test).

Esquema del Diseño:

$$GE \rightarrow O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

Donde:

GE: Grupo Experimental

O₁: Pre-Prueba (Nivel de localización de Zonas Productivas, Nivel de uso de Insumos Agropecuarios y Nivel de inversión requerida por parte de los Insumos Agropecuarios)

X: Procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando

Vehículos Aéreos no Tripulados

O₂: Post- Prueba (Nivel de localización de Zonas Productivas, Nivel de uso de Insumos Agropecuarios y Nivel de inversión requerida por parte de los Insumos Agropecuarios)

3.3. Enfoque de Investigación

Según el enfoque adoptado, la presente investigación es de tipo **cuantitativo**. De acuerdo con Flores (2019), la investigación cuantitativa se caracteriza por el uso de herramientas estadísticas que permiten una recolección y análisis de datos de manera eficiente y objetiva. Este enfoque busca cuantificar las relaciones entre variables, representándolas a través de valores numéricos para facilitar su interpretación.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

En nuestro estudio hemos considerado como parte de la población a todas las parcelas de cultivos que se encuentran dentro de la Provincia del Santa

3.4.2. Muestra

En el presente estudio se está considerando una muestra dirigida de una parcela perteneciente a la Empresa GAMA PERUVIAN COMPANY S.A.C., la cual cuenta con 11 hectáreas de terreno de cultivo, de lo cual se harán útil 1 hectáreas para un correcto funcionamiento y muestreo del presente proyecto

3.5. Operacionalización de las variables

Tabla 15

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas de Recolección de Datos	Instrumentos	Escala de Medición
Algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando Vehículos Aéreos no Tripulados	Según González y Ríos (2020), Un algoritmo de procesamiento de imágenes se define como un conjunto de instrucciones computacionales que se aplican a imágenes digitales con el propósito de analizar y extraer información relevante. Esta herramienta resulta especialmente útil en contextos agrícolas en los cuales se emplean un Vehículo Aéreo no Tripulado.	Procedimiento automatizado que permite analizar imágenes captadas por el Vehículo Aéreo no Tripulado en el espectro visible, para identificar y clasificar áreas agrícolas mediante el uso de métricas y modelos computacionales.	Procesamiento de imágenes	Grado de precisión en el conteo de cultivos	Observación	Software de procesamiento de imágenes	Cuantitativa
			Captura aérea con el Vehículo Aéreo no Tripulado	Detección precisa de áreas verdes	Observación	Reportes técnicos	Ordinal
				Frecuencia de captura y vuelo	Simulación con software de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado	Registro del plan de vuelo	

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas de Recolección de Datos	Instrumentos	Escala de Medición
Rendimiento Agrícola	Según la FAO (2021), el rendimiento agrícola se refiere a la cantidad de producto cosechado por unidad de superficie cultivada, reflejando la eficiencia del uso de recursos como tecnología, insumos y manejo del cultivo.	Eficiencia del terreno agrícola medida por unidad de superficie, en función del uso de insumos, tecnología empleada y su impacto en el rendimiento del cultivo.	Rendimiento agrícola	Grado de reducción del tiempo empleado en recorrido del cultivo y la relación con la reducción de personal	Encuestas a productores	Ficha de evaluación técnica	Cuantitativa
			Gestión de insumos	Grado de utilización de insumos agropecuarios	Revisión de registros	Reportes técnicos	Ordinal
				Grado de inversión en insumos agropecuarios	Revisión de registros	Reportes técnicos	

Nota: Representación de la matriz de operacionalización de variables para el informe de investigación

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las siguientes técnicas e instrumentos fueron utilizadas para organizar y recopilar la información para la presente investigación

Tabla 16

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Encuestas Dirigidas a los trabajadores “jornaleros” de la empresa GAMA PERUVIAN COMPANY S.A.C., para identificar el tiempo de reducción en recorrido del cultivo	Ficha de evaluación técnica
Revisión de registros Se utilizó la presente técnica como forma para verificar el grado de utilización de los insumos agropecuarios dentro de la empresa en cuestión	Cuestionario estructurado
Observación Directa Se realizó de forma constante hacia el proceso donde se realiza el estudio.	Reportes Técnicos
Simulación con Software de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado Se verifica el plan de vuelo trazado y las rutas que se tomó en cuenta para optimizar el recorrido, la captura de fotos con un tiempo estimado de acuerdo a la duración de la batería del Vehículo Aéreo no Tripulado.	Registro del plan de vuelo

Nota: Técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos.

3.7. Técnicas de análisis de resultados

Para el análisis de las variables (dependiente e independiente), en lo que respecta al análisis descriptivo, se elaboraron cuadros comparativos que incluyeron los porcentajes de variación observados durante la ejecución del algoritmo.

En cuanto al nivel de investigación relacionado con el procesamiento de imágenes RGB mediante el espectro de luz visible, se utilizó la herramienta de la **matriz de confusión** –

F1 Score para evaluar el grado de precisión y el funcionamiento del algoritmo, permitiendo determinar su eficacia con respecto a la realidad observada.

Para el estudio de la hipótesis, se empleó un análisis estadístico comparativo a través de un **Pre-Test y Post-Test**, lo que permitió evidenciar mejoras en la producción agrícola y la reducción del uso de insumos agropecuarios. Para una mejor organización y análisis de los datos, se recurrió al uso de herramientas informáticas, como **Microsoft Excel 2021**.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se menciona cuáles fueron los resultados principales de la investigación denominada “Procesamiento de Imágenes del espectro de luz visible usando Vehículos Aéreos no Tripulados aplicados a la agricultura”

- Actualmente, lo que incumbe al procesamiento de imágenes ha tenido un auge importante en diferentes ámbitos de investigación, debido a que, mediante la captura de imágenes se puede recopilar información que al ser analizadas contribuyen a tener mejoras en las diferentes necesidades que las personas puedan tener. La presente tiene un impacto favorable debido a que en el sector agrícola dentro del territorio peruano no suelen diversificar en tecnología para facilitar o aminorar la carga del trabajo manual, es debido a ello que la empresa GAMA PERUVIAN COMPANY, empresa dedicada al cultivo de hortalizas(espárragos), se encuentra interesados en innovar y mejorar sus métodos de agricultura y con ello entrando a la agricultura de precisión y así, favorecer en el cumplimiento de su visión.
- El desarrollo de la presente investigación se basa en el procesamiento de imágenes mediante el espectro de luz visible con la finalidad que mediante el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados se pueda realizar un correcto procesamiento de imágenes y consigo identificar cuáles son las zonas de cultivo que no cuentan con pigmentación adecuada según el índice GLI y mediante una red neuronal realizar un conteo de los cultivos que se encuentra dentro de las hectáreas de la empresa.
- Para el desarrollo de la presente, se optó por realizarlo mediante un algoritmo, que mediante pasos ya establecidos y redactados en el capítulo de la metodología y

aplicando consigo también la metodología SCRUM, se llegó a realizar una elaboración eficiente y funcional del presente algoritmo.

- Para el procesamiento de imágenes se empleó la banda de colores RGB así mismo para obtener el índice de vegetación y las bandas de colores que nos exigía el programa QGIS que es de software libre, se utilizó la fórmula GREEN LEEF INDEX, para tener en cuenta las bandas de colores necesarias para poder identificar las zonas con mayor concentración de vegetación y las zonas que empezaban a tener deterioro de vegetación.
- Para poder comprobar la precisión y rapidez en el procesamiento de imágenes y la identificación de las zonas que necesita mayor atención para los insumos agropecuarios se llevó a cabo dos pruebas en una hectárea la cual es lo indicado dentro de nuestra muestra para mayor detalle y fiabilidad de los datos.
 - Para el desarrollo de la Prueba A (Pre Prueba) se necesitó realizarse mediante el apoyo de la empresa y verificar como hacen los trabajos de forma normal u natural sin tener conocimiento de cuáles son las zonas afectadas, por ende, aplicar todos los insumos agropecuarios y tiempo de forma homogénea.
 - Para el desarrollo de la Prueba B (Post Prueba), la empresa aplicó el algoritmo en base a las métricas y funcionalidades indicadas para ver el tema del uso de los recursos agropecuarios y el tiempo que se emplea para la culminación de su trabajo de campo.
- Por lo expuesto anteriormente se realizaron las pruebas correspondientes por lo cual se obtuvo los siguientes resultados:

4.1. En relación a la Dimensión 1 “Procesamiento de imágenes”

a. Grado de precisión en el conteo de cultivos

Mediante la matriz de confusión se procederá indicar cuál es la exactitud, la precisión, la sensibilidad, la especificidad y por último la puntuación F1; para consigo verificar la efectividad y porcentaje de acierto que tiene el presente proyecto, así mismo se tiene que tener en cuenta lo siguiente: que los valores de 1 es equivalente a la zona de vegetación optima y que necesita cuidado y los valores de 0 significa que es un punto que no tiene cultivo o plantación. Para comprender completamente la presente matriz, debemos tener en cuenta los siguientes valores donde:

Positivo (P): Es para la observación positiva.

Negativo (N): Es para la observación negativa.

Verdadero Positivo (VP): Resultado que predice correctamente la observación positiva.

Verdadero Negativo (VN): Resultado que predice correctamente la clase negativa.

Falso Positivo (FP): Resultado que predice de forma incorrecta la observación positiva (da negativo).

Falso Negativo (NP): Resultado que predice de forma incorrecta la observación negativa (da positivo).

El detallado de los puntos y/o muestras se encuentran en el ANEXO 1 – en la Tabla 34 y Tabla 35.

Una vez concluido y revisado el ANEXO 1 y analizado los datos entregados, se obtiene la siguiente información:

Verdadero Positivo (VP): 2004

Verdadero Negativo (VN): 475

Falso Positivo (FP): 14

Falso Negativo (FN): 7

Figura 70

Matriz de Confusión (F1-Score) – Datos de la investigación

		VALORES ACTUALES	
		POSITIVO	NEGATIVO
VALORES PREDICTIVOS	POSITIVO	2004	14
	NEGATIVO	7	475

Nota: Se visualiza cual es la forma y datos que corresponder a la presente investigación.

Una vez obtenido los resultados pasamos a calcular lo necesario.

Exactitud

Es la proporción de predicciones que el proyecto identifico correctamente

$$Accuracy = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$$

$$Accuracy = \frac{2004 + 475}{2004 + 475 + 14 + 7}$$

$$Accuracy = \frac{2479}{2500}$$

$$Accuracy = 0.9916$$

$$\textit{Accuracy} = 99.16\%$$

Precisión

Podemos indicar que indica que proporción de resultados positivos fueron correctas.

$$\textit{Precision} = \frac{VP}{VP + FP}$$

$$\textit{Precision} = \frac{2004}{2004 + 14}$$

$$\textit{Precision} = \frac{2004}{2018}$$

$$\textit{Precision} = 0.9931$$

$$\textit{Precision} = 99.31\%$$

Sensibilidad

Podemos indicar que indica que proporción de positivos reales se identificó de forma correcta.

$$\textit{Recall} = \frac{VP}{VP + FN}$$

$$\textit{Recall} = \frac{2004}{2004 + 7}$$

$$\textit{Recall} = \frac{2004}{2011}$$

$$\mathbf{Recall = 0.9962}$$

$$\mathbf{Recall = 99.62\%}$$

Especificidad

Podemos indicar que indica que proporción de negativos reales se identificó de forma correcta.

$$\mathbf{Specificity = \frac{VN}{VN + FP}}$$

$$\mathbf{Specificity = \frac{475}{475 + 14}}$$

$$\mathbf{Specificity = \frac{475}{489}}$$

$$\mathbf{Specificity = 0.9714}$$

$$\mathbf{Specificity = 97.14\%}$$

Puntuación F1

La presente es la medida de precisión, es la medida armónica de la precisión y recuperación. Mientras el puntaje sea lo más cercano a 1 indica la mejor precisión y robustez del modelo.

$$F1\ Score = \frac{2VP}{2VP + FP + FN}$$

$$F1\ Score = \frac{2 * 2004}{2 * 2004 + 14 + 7}$$

$$F1\ Score = \frac{4008}{4029}$$

$$F1\ Score = 0.9948$$

$$F1\ Score = 99.48\%$$

Por todo lo mencionado anteriormente se puede concluir que el presente algoritmo cuenta con una precisión del 99.31% y un F1 Score del 99.48%, lo que hace que sea un proyecto viable y sostenible con un margen de error mejor al 1%.

b. Detección precisa de áreas verdes

Para evaluar el presente indicador, se tiene que tener en cuenta la Figura 71 denominado “Matriz de Confusión (F1-Score) – Datos de la investigación”, debido a que se tiene que considerar dos parámetros de dicha matriz los cuales son:

- Verdaderos Positivos: 2004
- Falso Positivo: 14

Para tener noción de cuantos puntos evaluados corresponden a áreas verdes dentro del ortomosaico evaluado se tiene que sumar los verdaderos positivos con el falso positivo, dando consigo un total de **2018** cultivos de espárragos.

Una vez obtenido los datos anteriores, se procedemos a utilizar la fórmula de precisión de la matriz de confusión (F1 – Score)

Precisión

Podemos indicar que indica que proporción de resultados positivos fueron correctas.

$$Precision = \frac{VP}{VP + FP}$$

$$Precision = \frac{2004}{2004 + 14}$$

$$Precision = \frac{2004}{2018}$$

$$Precision = 0.9931$$

$$Precision = 99.31\%$$

Con ello indicamos que con respecto a la identificación de precisa de áreas verdes en la investigación es de un 99.31% del total

4.2. En relación a la Dimensión 2 “Captura aérea con el vehículo Aéreo no Tripulado”

a. Frecuencia de captura y vuelo

La presente parte de la investigación se revisa con mayor detalle en los índices

2.3.2.2. Definición del plan de vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado y en

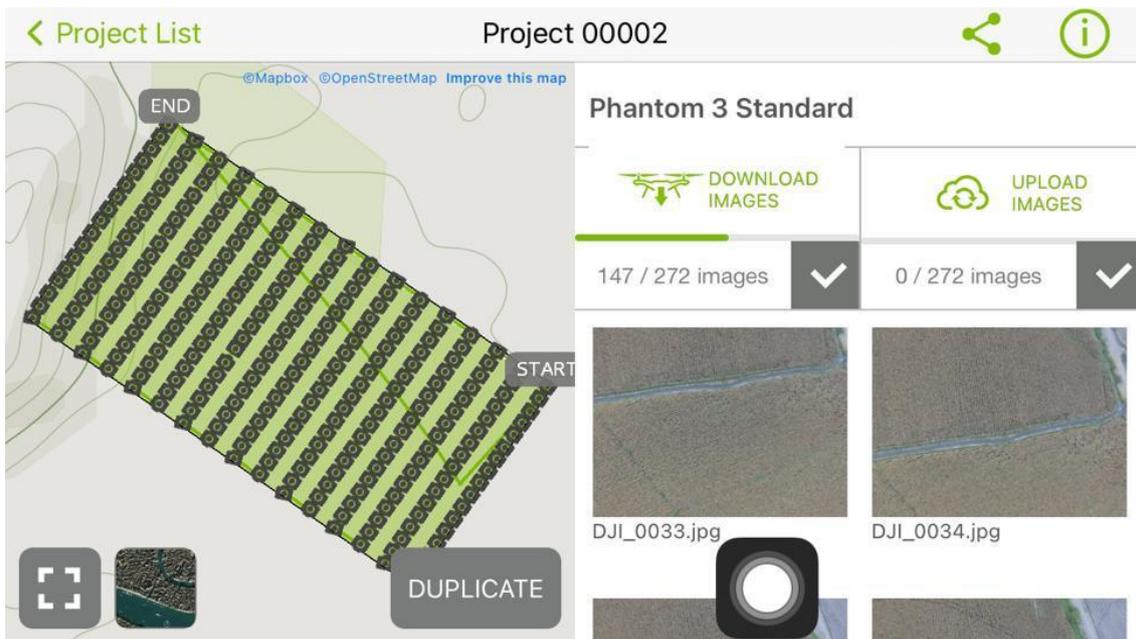
2.3.2.3. Toma de fotos durante el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado.

Así mismo se indicará cuáles fueron los parámetros utilizados para realizar de forma correcta el vuelo y la captura de la imagen con el vehículo aéreo no tripulado

- Área: 1 Hectárea de cultivo de espárragos
- Altura: 50 metros (recomendado)
- Velocidad: 5 m/s
- Solapamiento: Overlap Frontal: 85% y Overlap Lateral: 70% para así conseguir un mayor emparejamiento de los Keypoints.
- Duración estimada: 75 minutos

A continuación, se muestra una captura del plan de vuelo una vez ejecutado, donde se visualiza el recorrido que se utilizó la cual es de línea recta o punto a punto, debido a que es la mejor forma de vuelo para los proyectos en la agricultura, como también se logra visualizar que en total se capturaron 272 imágenes para poder realizar la investigación de forma satisfactoria.

Figura 71
Recorrido del VANT y total de imágenes capturadas



Nota: Se muestra una captura de pantalla del aplicativo Pix4DCapture, donde se presenta el recorrido del VANT y el total de imágenes capturadas que son 272.

4.3. En relación a la Dimensión 3 “Rendimiento Agrícola”

a. Grado de reducción del tiempo empleado en recorrido del cultivo y la relación con la reducción del personal

➤ En relación a la reducción del tiempo empleado en recorrido del cultivo

Como se ha detallado en el capítulo de **Metodología**, se plantea la implementación del marco de trabajo ágil **SCRUM** como estrategia metodológica. Asimismo, se describe de manera sistemática el funcionamiento del algoritmo diseñado para el procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, mediante el uso de **Vehículos Aéreos No Tripulados**. En base a lo expuesto, y considerando el procedimiento operativo, se

establece que la duración estimada para completar la ruta de vuelo del VANT es de aproximadamente **75 minutos**, tiempo que puede variar en función de las condiciones climáticas presentes al momento de la operación. Posteriormente, el tratamiento del cultivo, una vez obtenidos los datos correspondientes, requiere un tiempo estimado de **100 minutos por hectárea**.

Conociendo estos tiempos luego de la implementación del algoritmo, y en coordinación con el representante de la empresa y el responsable del área de calidad, se obtuvo información sobre el tiempo que demanda el procedimiento tradicional. Este consiste en la identificación manual del estado de los cultivos, seguido de la dosificación de insumos agropecuarios para aquellas áreas que presenten deficiencias. Según las estimaciones proporcionadas, este proceso tradicional demanda un tiempo aproximado de **360 minutos por hectárea**, dependiendo también de las condiciones climáticas al momento de la ejecución.

Tabla 17
Comparación entre los tiempos de la Pre-prueba y Post-Prueba por hectárea

Descripción	Pre - Prueba	Post - Prueba
Tiempo para recorrer y dosificar el cultivo	360 minutos	175 minutos
Minutos de reducción		185 minutos

Nota: Se muestra una comparación que se realizó en la Pre-Prueba y Post-Prueba llegando a la conclusión de una reducción de 185 minutos.

Verificamos cuanto es el tiempo ahorrado con los datos recopilados y resumidos en la Tabla 17.

$$\% \text{ de tiempo disminuido} = 1 - \frac{175}{360}$$

$$\% \text{ de tiempo disminuido} = 1 - 0.4861$$

$$\% \text{ de tiempo disminuido} = 0.5139$$

$$\% \text{ de tiempo disminuido} = 51.39\%$$

Con los cálculos previos realizados, se indica que, la investigación con respecto a la realidad tiene un porcentaje de **reducción del 51.39%** por hectárea.

➤ **En relación a la reducción del personal**

Los resultados que se obtuvieron mediante el cuestionario aplicado al personal administrativo ver (Anexo 2), conformado por 10 participantes en total, da como resultado un nivel bajo de familiarización con el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados en las diferentes labores agrícolas, lo que infiere que estas tareas son realizadas manualmente o con una intervención significativa del recurso humano actual.

Sin embargo, al ejecutar el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, es posible reducir la dependencia del

personal en tareas de monitoreo y conteo del cultivo, optimizando consigo el tiempo y los recursos que se emplea en el recorrido de estos mismos. Tal como se infiere de los resultados, permitirá prescindir de forma parcial de personal operativo de estas actividades, manteniendo o mejorando consigo la precisión de los registros.

Pregunta 1: ¿Está familiarizado con el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) en las labores agrícolas?

Tabla 18
Anexo 2 - Pregunta 1

Pregunta 1	SI	NO
¿Está familiarizado con el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) en las labores agrícolas?	7	3

Nota: De la pregunta 1, se indica que el 70% está familiarizado con el uso de los Vehículos Aéreos no Tripulados en labores agrícolas, mientras que el 30% no conocía tanto dichos vehículos o que se podían utilizar en labores agrícolas

Pregunta 2: ¿Conoce el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro visible (RGB) que se ha implementado?

Tabla 19
Anexo 2 - Pregunta 2

Pregunta 2	SI	NO
¿Conoce el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro visible (RGB) que se ha implementado?	5	5

Nota: De la pregunta 2, se indica que el 50% está familiarizado con el uso del algoritmo de procesamiento de imágenes visibles que se está implementando, mientras que el otro 50% lo desconoce.

Pregunta 3: ¿Considera que el uso de vehículos aéreos no tripulados (drone) y algoritmos ha mejorado la precisión en la detección de zonas que requieren atención?

Tabla 20
Anexo 2 - Pregunta 3

Pregunta 3	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
¿Considera que el uso de vehículos aéreos no tripulados (drone) y algoritmos ha mejorado la precisión en la	10	0	0	0

detección de zonas

que requieren

atención?

Nota: De la pregunta 3, se indica que el % 100 del personal encuestado considera que el uso de los vehículos aéreos no tripulados ayudo a mejorar la precisión en la detección de zonas que requieren una mayor atención.

Pregunta 4: ¿Cree que el uso de esta tecnología ha reducido el tiempo necesario para identificar áreas de riego, fertilización o fumigación?

Tabla 21
Anexo 2 - Pregunta 4

Pregunta 4	SI	NO
¿Cree que el uso de esta tecnología ha reducido el tiempo necesario para identificar áreas de riego, fertilización o fumigación?	10	0

Nota: De la pregunta 4, se indica que el % 100 del personal encuestado considera que el uso de esta nueva tecnología (algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible) ha reducido el tiempo en los procesos agrícolas.

Pregunta 5: ¿Cree que el uso del algoritmo y el vehículo aéreo no tripulado (drone) ha hecho más eficiente el trabajo en campo?

Tabla 22
Anexo 2 - Pregunta 5

Pregunta 5	SI	NO
¿Cree que el uso del algoritmo y el vehículo aéreo no tripulado (drone) ha hecho más eficiente el trabajo en campo?	10	0

Nota: De la pregunta 5, se indica que el % 100 del personal encuestado considera que el uso del presente algoritmo ha hecho que el trabajo en campo sea más eficiente.

Pregunta 6: ¿Ha observado que algunas funciones que realizaban los jornaleros ahora se ejecutan mediante el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible (como el monitoreo de cultivos)

Tabla 23
Anexo 2 - Pregunta 6

Pregunta 6	SI	NO
¿Ha observado que algunas funciones que realizaban los jornaleros ahora se ejecutan mediante el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible (como el monitoreo de cultivos)	10	0

a: De la pregunta 6, se indica que el % 100 del personal encuestado ha logrado observar que algunas de las funciones que realizan los jornaleros ahora se están ejecutando mediante el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible de una forma más eficiente y a la vez ha reducido el tiempo de ejecución.

Pregunta 7: En base a su experiencia, ¿considera que el trabajo que realizaban dos jornaleros puede ser ahora cubierto con el uso de esta tecnología?

Tabla 24
Anexo 2 - Pregunta 7

Pregunta 7	SI	NO
En base a su experiencia, ¿considera que el trabajo que realizaban dos jornaleros puede ser ahora cubierto con el uso de esta tecnología?	9	1

Nota: De la pregunta 7, se indica que el % 90 del personal encuestado indica que el trabajo que realizaban dos jornaleros puede ser cubierto por el uso de la nueva tecnología y con el tiempo ahorrado los demás jornaleros cubrir los demás procesos agrícolas. No obstante, el 10% indica que no consideran dicha afirmación. Cabe resaltar que al tener el 90% del personal administrativo indicando una respuesta positiva al uso de la nueva tecnología la empresa procederá a optar con rescindir el contrato de 2 jornaleros.

Pregunta 8: ¿Está de acuerdo con que se reduzca el número de jornaleros si la tecnología garantiza la misma o mayor eficiencia?

Tabla 25
Anexo 2 - Pregunta 8

Pregunta 8	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
¿Está de acuerdo con que se reduzca el número de jornaleros si la tecnología garantiza la misma o mayor eficiencia?	10	0	0	0

Nota: De la pregunta 8, se indica que el % 100 del personal encuestado está totalmente de acuerdo que se reduzca el personal jornalero, debido que la nueva tecnología implementada obtiene una mayor eficiencia.

4.4. En relación a la Dimensión 4 “Gestión de insumos”

a. Grado de utilización de insumos agropecuarios

Para obtener los datos más cercanos a la realidad se tuvo que coordinar directamente con el gerente de la empresa y el encargado de las compras para que se pueda visualizar y revisar sus registros de compras y utilización de los insumos agropecuario dentro de la empresa. Una vez obtenido dicha información (Se puede visualizar en el **Anexo 3 – Registro de Compras año 2024 y 2025**) se realizó una comparación entre el uso de los insumos Agropecuarios antes y después de la implementación del algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando vehículos aéreos no tripulados en la agricultura.

Se tiene que tener en cuenta que los datos indicados a continuación son por año

Tabla 26
Cantidad de uso insumos Agropecuarios antes de la implementación del algoritmo por hectárea/año -Año 2024

N°	Descripción	Unidad Medida	Cantidad
1	Cloruro de Potasio	Kg	252
2	Guano Vacuno	Kg	35,000
3	Urea	Kg	819
4	Ácido Fosfórico	Kg	430.5

N°	Descripción	Unidad Medida	Cantidad
5	Fetrilon Combi	Kg	3.5
6	Azufre	Kg	34.79
7	Kocide	Kg	1,295
8	Folicur	Lt	3.045
9	Select	Lt	0.595
10	Agrotim	Lt	0.28
11	Suni-8	Lt	0.595
12	Nicronix	Kg	1.4
13	Antracol	Lt	0.42
14	Agua	M3	8,750

Nota: Se muestra un detallado brindado por el gerente de la empresa del consumo de los de los insumos agropecuarios antes de la implementación del algoritmo

Tabla 27

Cantidad de uso insumos Agropecuarios después de la implementación del algoritmo por hectárea/año – Año 2025

N°	Descripción	Unidad Medida	Cantidad
1	Cloruro de Potasio	Kg	150
2	Guano Vacuno	Kg	22,500
3	Urea	Kg	525
4	Ácido Fosfórico	Kg	240
5	Fetrilon Combi	Kg	3

6	Azufre	Kg	13.77
7	Kocide	Kg	0.51
8	Folicur	Lt	1.77
9	Select	Lt	0.45
10	Agrotim	Lt	0.1
11	Suni-8	Lt	0.42
12	Nicronix	Kg	1.20
13	Antracol	Lt	0.36
14	Agua	M3	7,500

Nota: Se muestra un detallado brindado por el gerente de la empresa del consumo de los de los insumos agropecuarios después de la implementación del algoritmo

Tabla 28
Porcentaje de la reducción de cantidades de la Pre-Prueba a la Post-Prueba por hectárea/año

N°	Descripción	Unidad de Medida	Pre – Test	Post - Test	Reducción	Porcentaje (%)
1	Cloruro de Potasio	Kg	252	150	102	40.48
2	Guano Vacuno	Kg	35,000	22,500	12,500	35.71
3	Urea	Kg	819	525	294	35.90
4	Ácido Fosfórico	Kg	430.5	240	190.5	44.25

N°	Descripción	Unidad de Medida	Pre – Test	Post - Test	Reducción	Porcentaje (%)
5	Fetrilon Combi	Kg	3.5	3	0.500	14.29
6	Azufre	Kg	34.79	13.77	21.02	60.42
7	Kocide	Kg	1,295	0.51	0.785	60.62
8	Folicur	Lt	3.045	1.77	1.275	41.87
9	Select	Lt	0.595	0.45	0.145	24.37
10	Agrotim	Lt	0.28	0.1	0.070	25.00
11	Suni-8	Lt	0.595	0.42	0.175	29.41
12	Nicronix	Kg	1.4	1.20	0.200	14.29
13	Antracol	Lt	0.42	0.36	0.060	14.29
14	Agua	M3	8,750	7,500	1,250	14.29
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN GLOBAL						32.51

Nota: Se obtiene el porcentaje promedio de todos los insumos que se redujeron por el uso del algoritmo siendo un 32.51% el porcentaje de reducción de insumos agropecuarios por hectárea/año.

Así mismo, se tiene en cuenta que la empresa en cuestión trabaja con 11 hectáreas por ende se tendría la siguiente equivalencia:

Tabla 29
Estimación de la reducción de cantidades de la Pre-Prueba a la Post-Prueba por 11 hectáreas

N°	Descripción	Unidad de Medida	Pre – Test	Post - Test	Reducción	Porcentaje (%)
1	Cloruro de Potasio	Kg	2,772	1,650	1,122	40.48

N°	Descripción	Unidad de Medida	Pre – Test	Post - Test	Reducción	Porcentaje (%)
2	Guano Vacuno	Kg	385,000	247,500	137,500	35.71
3	Urea	Kg	9,009	5,775	3,234	35.90
4	Ácido Fosfórico	Kg	4,735.5	2,640	2,095.5	44.25
5	Fetrilon Combi	Kg	38.5	33	5.5	14.29
6	Azufre	Kg	382.69	151.47	231.22	60.42
7	Kocide	Kg	14.245	5.61	8.635	60.62
8	Folicur	Lt	33.495	19.47	14.025	41.87
9	Select	Lt	6.545	4.95	1.595	24.37
10	Agrotim	Lt	3.08	2.31	0.77	25.00
11	Suni-8	Lt	6.545	4.62	1.925	29.41
12	Nicronix	Kg	15.4	13.2	2.2	14.29
13	Antracol	Lt	4.62	3.96	0.66	14.29
14	Agua	M3	96,250	82,500	13,750	14.29
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN GLOBAL						32.51

Nota: Se obtiene el porcentaje promedio de todos los insumos que se redujeron por el uso del algoritmo siendo un 32.51% el porcentaje de reducción de insumos agropecuarios por 11 hectáreas/año.

Por lo indicado anteriormente en la Tabla 29, se indica que hay un grado de reducción de los insumos agropecuarios que equivale al 32.51% por año de producción.

b. Grado de inversión en insumos agropecuario

Para obtener los datos más cercanos a la realidad se tuvo que coordinar

directamente con el gerente de la empresa y el encargado de las compras para

poder con ello ver la realidad de los gastos de insumos dentro de la empresa mediante una comparación entre el uso de los insumos Agropecuarios antes y después de la implementación del algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando vehículos aéreos no tripulados en la agricultura. Se tiene que tener en cuenta que los datos indicados a continuación son por años.

Tabla 30

Gastos de compras de Insumos Agropecuarios antes de la implementación del algoritmo por hectárea/año

N°	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Tipo de Cambio (S/.3.74)	TOTAL (S/.)
1	Cloruro de Potasio	Kg	252	0.4197	3.74	395.559
2	Guano Vacuno	Kg	35,000	0.0266	3.74	3,481.940
3	Urea	Kg	819	0.4721	3.74	1,446.071
4	Ácido Fosfórico	Kg	430.5	0.9441	3.74	1,520.067
5	Fetrilon Combi	Kg	3.5	22.9508	3.74	300.426
6	Azufre	Kg	34.79	0.4918	3.74	63.990
7	Kocide	Kg	1.295	9.8540	3.74	47.726
8	Folicur	Lt	3.045	9.4450	3.74	107.562
9	Select	Lt	0.595	73.8890	3.74	164.425
10	Agrotim	Lt	0.28	80.0460	3.74	83.824
11	Suni-8	Lt	0.595	75.5300	3.74	168.077
12	Nicronix	Kg	1.4	11.4940	3.74	60.183
13	Antracol	Lt	0.42	8.00330	3.74	12.572
14	Agua	M3	8,750	0.0257	3.74	841.033

N°	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Tipo de Cambio (S/.3.74)	TOTAL (S/.)
					TOTAL	8,693.454

Nota: Datos obtenidos previa coordinación con el gerente de la empresa y el encargado de compras que nos facilitaron dicha información indicando las cantidades, la unidad de medida y el precio en dólares.

Tabla 31

Gastos de compras de Insumos Agropecuarios después de la implementación del algoritmo por hectárea/año

N°	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Tipo de Cambio (S/.3.74)	TOTAL (S/.)
1	Cloruro de Potasio	Kg	150	0.4197	3.74	235.452
2	Guano Vacuno	Kg	22,500	0.0266	3.74	2,238.390
3	Urea	Kg	525	0.4721	3.74	926.968
4	Ácido Fosfórico	Kg	240	0.9441	3.74	847.424
5	Fetrilon Combi	Kg	3	22.9508	3.74	257.508
6	Azufre	Kg	13.77	0.4918	3.74	25.328
7	Kocide	Kg	0.51	9.8540	3.74	18.796
8	Folicur	Lt	1.77	9.4450	3.74	62.524
9	Select	Lt	0.45	73.8890	3.74	124.355
10	Agrotim	Lt	0.1	80.0460	3.74	62.868
11	Suni-8	Lt	0.42	75.5300	3.74	118.643
12	Nicronix	Kg	1.20	11.4940	3.74	51.585
13	Antracol	Lt	0.36	8.00330	3.74	10.776

N°	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Tipo de Cambio (S/.3.74)	TOTAL (S/.)
14	Agua	M3	7,500	0.0257	3.74	720.885
TOTAL						5,701.501

Nota: Datos obtenidos después de la implementación del algoritmo de procesamiento de imágenes, donde se visualiza disminución en las cantidades de algunos puntos importante dentro de los insumos agropecuarios, dichos datos fueron cotejados con el gerente de la empresa y el encargo de compras.

Tabla 32
Total y porcentaje ahorrado desde la Pre-Prueba a la Post-Prueba por hectárea/año

N°	Descripción	Total (S/.)	Porcentaje (%)
Insumos			
1	Agropecuarios antes del algoritmo	8,693.454	100.00
Insumos			
2	Agropecuarios después del algoritmo	5,701.501	65.58
REDUCCIÓN		2,991.953	34.42

Nota: se verifica que se tiene un ahorro de S/. 2,991.953 soles el cual equivale al 34.42% de los gastos anuales que realizaba la empresa en insumos agropecuarios por hectárea.

Por lo descrito anteriormente se indica que el algoritmo una vez aplicado reduce en un 32.51% en el consumo de los insumos agropecuarios y con ello equivale a una retribución económica para la empresa de un aproximado de S/. 2,991.953 que vendría a ser el 34.42% de los gastos realizados en la adquisición de los insumos por hectárea.

Tabla 33

Estimación del total y porcentaje ahorrado desde la Pre-Prueba a la Post-Prueba por 11 hectáreas/año

N°	Descripción	Total (S/.)	Porcentaje (%)
Insumos			
1	Agropecuarios antes del algoritmo	95,627.996	100.00
Insumos			
2	Agropecuarios después del algoritmo	62,716.510	65.58
REDUCCIÓN		32,991.953	34.42

Nota: se verifica que se tiene un ahorro de S/. 32,991.953 soles el cual equivale al 34.42% de los gastos anuales que realizaba la empresa en insumos agropecuarios en estimación por las 11 hectáreas.

Por todo lo expuesto anteriormente se demuestra que la hipótesis: “El algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible usando Vehículos Aéreos no Tripulados Mejora significativamente la producción agrícola”, es verdadera en merito a los indicadores antes analizados y demostrados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al desarrollar la presente investigación se concluye que mediante el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible, captadas por Vehículos Aéreos no Tripulados logró incrementar la eficiencia de la producción agrícola, teniendo resultados como la disminución en los tiempos de recorrido de cultivos y optimización de los insumos agropecuarios.

En conclusiones más detalladas se menciona lo siguiente:

- Para lograr capturar imágenes aéreas de los cultivos mediante el recorrido del Vehículo Aéreo no Tripulado se tuvo que tener en cuenta ciertos parámetros para que los datos sean los adecuados para el funcionamiento del algoritmo, como son una altura de 50 metros, una velocidad de 5 m/s, un Overlap Frontal de 85% y un Overlap Lateral del 70% indica cuales fueron los criterios considerados, logrando obtener en un recorrido alrededor de 272 imágenes del cultivo.
- Como se visualiza en el apartado 2.3. Desarrollo de la Metodología SCRUM, se aplicó el algoritmo desde la planeación del vuelo programado hasta el conteo del cultivo, en el cual en el punto 2.3.4. Procesamiento de imágenes se visualiza cual es la forma en la que se realiza el procesamiento de las imágenes del espectro de luz visible y la obtención de las zonas con necesidades agronómicas en un archivo en formato PDF (el cual se visualiza en tonalidades RGB, siendo rojo y naranja las zonas que requieren mayor atención y verde la que se encuentran bien con el cuidado actual) para que luego sean evaluadas por las áreas correspondiente para su atención según corresponda, así mismo, en el paso final del algoritmo se muestra el conteo del

cultivo, el cual son un total de 2004 cultivo de espárragos que fueron debidamente identificados con apoyo del algoritmo

- Según se visualiza en el apartado de resultados y discusión se verifica que la tercera métrica que trata sobre el ahorro de inversión y consumo de los insumos agropecuarios, se llegó a que hay un ahorro del 32.51% del total de los insumos agropecuarios el cual equivale a una ganancia para la empresa de S/. 32,991.953 (equivalente para 11 hectáreas) durante el periodo de un año el cual equivale al 34.42% de disminución a comparación de años anteriores.
- En merito a los resultados obtenidos mediante la matriz de confusión – F1 Score se indica que el desarrollo del algoritmo mencionado cuenta con una precisión del 99.31% y un F1-Score del 99.48% para el conteo de los cultivos, el cual indica que el algoritmo es funcional con un margen de error menor al 1%, es decir, al utilizar el algoritmo en cuestión tenemos fiabilidad que los datos obtenidos mediante la aplicación serán confiables con un margen de error mínimo.
- De acuerdo a los resultados obtenido en los tiempos de ejecución tanto de forma tradicional como aplicando el algoritmo, donde se indicó que se consigue un ahorro de 2035 minutos que es equivalente a 51.29% del tiempo que se emplea de forma tradicional para recorrer las 11 hectáreas que cuenta la empresa; esto debido a que de forma tradicional realizan el recorrido completo de las hectáreas mientras van dosificando a todos los cultivos de forma homogénea, mientras que el algoritmo busca identificar las zonas que necesitan mayor atención para en ello poder dosificarla con los insumos agropecuarios correspondientes.
- De acuerdo a lo obtenido en el Anexo 05 denominado "ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL ALGORITMO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL ESPECTRO DE LUZ VISIBLE", se calculó si el desarrollo del

algoritmo es factible en un entorno agrícola real, para ello se realizó el análisis en la EMPRESA GAMA PERUVIAN COMPANY S.A.C. el cual una vez que se analizaron los indicadores económicos como son: el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Beneficio/Costo, si cumplen de forma positiva los parámetros para indicar que el algoritmo que se emplea es factible económicamente, así mismo, se tiene que indicar que por cada sol invertido se tiene una ganancia de 0.22 céntimos y el periodo de recuperación es de 616 días

- La presente investigación llega a facilitar el trabajo en el campo indicando y utilizando herramientas tecnológicas para su correcto funcionamiento y consigo ayudar a enfrentar a la resiliencia del cambio a la nueva era digital que estamos afrontando y consigo acercando a más empresas como es GAMA PERUVIAN COMPANY para adentrarse en la agricultura de precisión.

5.2. Recomendaciones

Al concluirse el presente informe se recomienda que:

- Al momento de trabajar u elaborar el informe se realice en un ambiente controlado es decir sin distracciones que afecten la concentración, debido a que ello influye en el momento de llenar los datos o programar al vehículo aéreo no tripulado para el recorrido y posterior procesamiento desde el QGIS.
- Se recomienda que el recorrido del vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado se programe en base a los puntos cardinales e indique dentro del Pix4DCapture cuantas imágenes debe tomar del lugar donde realizará el recorrido en promedio para que todo funcione con normalidad es entre 800 a 900 imágenes.
- Se recomienda utilizar el índice de vegetación Green Leaf Index, debido a sus bandas de colores que son RGB permite tener una mejor diferenciación de las zonas que necesitan mayor dedicación o cuidado dentro de la empresa.
- Para futuras investigaciones, se sugiere que se utilice Vehículos Aéreos no tripulados especializados para la agricultura debido a que cuentan con cámara multi-espectral que ayuda al momento de realizar el procesamiento por las bandas RGB dentro de la agricultura.
- La presente brinda como una base sólida y concisa para futuras investigaciones que se quieran ahondar en temas de la agricultura de precisión y consigo tomar otra perspectiva para ir mejorando y a su vez encontrar mejores formas de economizar tiempo y recursos para el sector agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Acharya, T., & K. Ray, A. (2005). *Image Processing Principles and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Aranda Bastida, B. (2021). *Efectos del uso de drones en la agricultura mexicana: el caso del Valle del Mezquital, Hidalgo*. Universidad Auyónoma Metropolitana. doi:<http://hdl.handle.net/11191/7651>
- Arce, J. i. (26 de julio de 2019). *Health Big Data*. Obtenido de La matriz de confusión y sus métricas: <https://www.juanbarrios.com/la-matriz-de-confusion-y-sus-metricas/>
- Atienza Vanacloig, V. (2025). *El histograma de una imagen digital*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Balcázar Guerrero, M. (2011). *Desarrollo de un módulo SIG para el manejo de imágenes multispectrales orientado a la agricultura de precisión*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Brownlee, J. (16 de Agosto de 2014). *Machine Learning Mastery*. Obtenido de Una suave introducción a Scikit-Learn: una biblioteca de aprendizaje automático de Python: <https://machinelearningmastery.com/a-gentle-introduction-to-scikit-learn-a-python-machine-learning-library/>
- C. Gonzales, R., & E. Woods, R. (2004). *Digital Image Processing using Matlab*. New Jersey: Prentice Hall.
- C. Gonzalez, R., & E. Woods, R. (2002). *Digital Image Processing* (2da edición ed.). Prentice Hall.

- Calvo, D. (12 de Julio de 2017). *Diego Calvo*. Recuperado el 02 de Diciembre de 2019, de Definición de red neuronal artificial: <http://www.diegocalvo.es/definicion-de-red-neuronal/>
- Camacho Velasco, A., Vargas García, C., Rojas Morales, F., Castillo Castelblanco, S., & Arguello Fuentes, H. (Sep.-Dic. de 2015). Aplicaciones y retos del sensado remoto hiperespectral en la geología colombiana. *Fac. Ing, vol. 24(40)*, pp. 17-29.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Diseños experimentales y cuasi-experimentales*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Cedeño Fuentes, J. (2020). *Agro Drone - BI*. Universidad de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/184810>
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92*, 79–97. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Consesa García, C. (2004). *El empleo de los SIG y la Teledetección en Planificación Territorial* (1era ed ed.). Murcia, España: Universidad de Murcia.
- Conway, C. M. (2012). *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Obtenido de Sequential Learning: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-1428-6_72
- Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 (CC BY-SA). (s.f.). *QGIS*. Obtenido de Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto: <https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>
- dChain. (2016). *dChain tu enlace a la innovación*. Recuperado el 24 de Junio de 2019, de ¿Que és la georreferenciación?: <http://dchain.com/que-es-la-georreferenciacion/>

DILLHAY, T. D. (2022). *DE LA RECOLECCIÓN A LA AGRICULTURA EN LOS ANDES NUEVAS PERSPECTIVAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y LA ORGANIZACIÓN SOCIAL*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. doi:978-612-317-813-0

DJI. (2025). *DJI*. Obtenido de Phantom 3 Standard: <https://www.dji.com/global/downloads/products/phantom-3-standard#app>

El Tiempo. (25 de Junio de 2016). *El Tiempo*. Recuperado el 13 de Abril de 2019, de Hay más de 2 mlls de agricultores en el Perú según Censo del Inei: <https://eltiempo.pe/hay-mas-de-2-mlls-de-agricultores-en-el-peru-segun-censo-del-inei/>

FAO. (2002). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. Roma, Italia: Viale delle Terme di Caracalla.

Figuerola Arévalo, A. (1989). *La economía campesina de la sierra del Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial. doi:<https://doi.org/10.18800/HD556F53>

Flores, F. A. (2019). *Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos*. Cusco: Departamento de Psicología de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Andina del Cusco. doi:<https://orcid.org/0000-0002-0144-9892>

García, C., Herrera, F., & Erazo Mesa, E. (2015). *Usando vehículos aéreos no tripulados para la agricultura de precisión en caña de azúcar*. Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia - CENICAÑA.

- Gis&Beers. (17 de agosto de 2019). *Gis&Beers*. Obtenido de GLI, el índice de vegetación alternativo para drones: <http://www.gisandbeers.com/gli-indice-de-vegetacion-alternativo-drones/#more-7660>
- Gis&Beers. (30 de junio de 2020). *Gis&Beers*. Obtenido de Índices de vegetación para drones sin dependencia de infrarrojo: <http://www.gisandbeers.com/indices-de-vegetacion-drones-infrarrojo/>
- GISdevelopment. (2025). *OGC GeoTIFF*. Recuperado el 24 de Junio de 2019, de OGC GeoTIFF Standard: <https://www.ogc.org/publications/standard/geotiff/>
- González Marcos, A., Martínez de pisón Ascacíbar, F. J., Pernía Espinoza, A. V., Alba Elías, F., Castejón Limas, M., Ordieres Meré, J., & Vergara González, E. (2006). *Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial*. España: Universidad de la Rioja.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing (4th ed.)*. Boston: Pearson Education. Recuperado el 02 de 12 de 2019, de Modos de color RGB, CMYK y sRGB: <https://www.fotonostra.com/grafico/rgb.htm>
- Gonzalo Pajares, E. A., & de la Escalera Hueso, A. (2016). *Conceptos y Métodos en Visión por Computador*. España.
- Google. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: <https://acortar.link/yAmaf4>
- Hernández, J. &. (2020). *Drones y agricultura de precisión: Estado del arte y aplicaciones*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. doi:<https://doi.org/10.4995/riai.2020.12631>
- Highsmith, J. A. (2002). *Agile Software Development Ecosystems*. Boston: Addison-Wesley.

INEI. (2012). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Recuperado el 13 de Abril de 2019, de IV Censo Nacional Agropecuario: <http://censos.inei.gob.pe/Cenagro/redatam/?id=CensosNacionales#>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2013). *IV CENSO NACIONAL AGROPECUARIO - 2012*. Chimbote: INEI.

Jiménez Fernández, J. I., & Medina Palacios, L. E. (2022). *Implementación del sistema de control de vuelo autónomo de un dron y modelamiento de patrones de imágenes multispectrales para detección de plagas en el cultivo de mango en Piura*. Universidad Nacional de Piura. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3607>

Jiménez Rodríguez, M. J. (curso 2017 - 2018). *Procesamiento de imágenes digitales*. Sevilla, España. Recuperado el 24 de Junio de 2019, de <http://asignatura.us.es/imagendigital/Presentacion.pdf>

León Carrasco, J. C. (19 de Julio de 2016). *Agraria.pe*. Obtenido de Agricultura de precisión permite ahorrar 30% en costos de producción: <https://agraria.pe/noticias/agricultura-de-precision-permite-ahorrar-30-11598>

Manzanares, A. (3 de Octubre de 2024). *ADALAB*. Obtenido de Lenguajes de programación más usados en 2024: <https://adalab.es/blog/lenguajes-programacion-mas-usados/>

MathWorks. (s.f.). *Documentación*. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de Tipos de imágenes: https://la.mathworks.com/help/matlab/creating_plots/image-types.html

Morales, A. (2019). *MappingGIS*. Obtenido de OpenDroneMap: crea mapas con imágenes capturadas por drones: <https://mappinggis.com/2019/08/opendronemap-crea-mapas->

con-imagenes-capturadas-por-drones/#:~:text=para%20ello%3A%20WebODM-
,WebODM,a%20partir%20de%20im%C3%A1genes%20a%C3%A9reas

NVIDIA. (7 de Marzo de 2016). *NVIDIA Developer Blog*. Obtenido de Deep Learning in a Nutshell: Sequence Learning: <https://developer.nvidia.com/blog/deep-learning-nutshell-sequence-learning/>

Pajares, G. (2015). *Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs)*. Madrid: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. doi:<https://doi.org/10.14358/PERS.81.4.281>

Palmer, S. E. (1999). *Vision Science: Photons to Phenomenology*. Cambridge: MIT Press. Recuperado el 02 de 12 de 2019, de De colores: estudio del color: <https://www.fotonostra.com/grafico/elcolor.htm>

Pix4D SA. (2017). *Pix4Dmapper 4.1 USER MANUAL*. 1015 Lausanne, Switzerland: EPFL Innovation Park, Building F.

Pix4D SA. (s.f.). *Pix4D | Documentation*. Recuperado el 27 de 09 de 2020, de Pix4Dcapture - Getting Started: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557269-Pix4Dcapture-Getting-Started#label6>

Precisionmapper. (27 de Noviembre de 2018). *GLI*. Recuperado el 24 de Junio de 2019, de Índice de hoja verde: <https://support.precisionmapper.com/support/solutions/articles/6000214542-gli>

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2015). *Ingeniería de Software: Un Enfoque Práctico (8ª ed.)*. México: McGraw-Hill Education.

Raffino, M. E. (26 de Febrero de 2019). *Concepto.de*. Obtenido de Agricultura: <https://concepto.de/agricultura/>

- Righth People Group. (2025). *Los 7 tipos de metodologías ágiles*. Obtenido de los 7 tipos de metodologías ágiles: <https://rightpeoplegroup.com/es/blog/los-7-tipos-de-metodologias-agiles>
- Robinson Urtecho, P. (2015). *El Conocimiento ancestral aplicado en la agricultura*. Congreso de la República.
- Sandoval Juárez, B. A. (2020). *Implementación de un vehículo aéreo no tripulado para el apoyo en el proceso de cosecha del mango*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/2925>
- Segura Castillo, E. A. (2021). *Estudio de factibilidad del uso de drones para la fumigación en el cultivo de arroz en Daule*. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53220>
- Tello Vargas, C. A., & Herrera Victorio, E. G. (2019). *Diseño e Implementación de un DRONE de Ala Fija para el estudio de índices de vegetación para la agricultura de precisión en el fundo Altamirano - ICA*. Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2747>
- Trigas Gallego, M. (Junio de 2012). *GESTION DE PROYECTOS INFOMÁTICOS*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2019, de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/17885/1/mtrigasTFC0612memoria.pdf>
- Universidad de Alcalá. (s.f.). *Universidad de Alcalá*. Obtenido de SCIKIT-LEARN, HERRAMIENTA BÁSICA PARA EL DATA SCIENCE EN PYTHON: <https://www.master-data-scientist.com/scikit-learn-data-science/>

W. Smith, S. (1999). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego, California: California Technical Publishing.

Zeforas, M. (2018). *Paradigma*. Obtenido de ¿Es Python el lenguaje del futuro?: <https://www.paradigmadigital.com/dev/es-python-el-lenguaje-del-futuro/>

ANEXOS

ANEXO N° 01 - VALORES DEL PRE TEST Y POST TEST

El presente anexo, contiene los datos obtenidos durante un conteo de todo el cultivo indicando con valor 1 los que son cultivos de espárragos y con valor 0 lo que no es un cultivo. Así mismo, se presenta los datos del PRE TEST que es la observación que se realizó y el POST TEST que es luego de aplicar el algoritmo con el conteo automático para consigo poder estimar el grado de precisión con el que se cuenta para ejecutar dicho conteo. Obteniendo consigo los siguientes resultados:

Tabla 34

Resumen de los valores del Pre test y Post test

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Total de puntos evaluados por hectárea	2500
Total de puntos positivos	2018
Total de puntos negativos	482
Total de Verdaderos Positivos (VP)	2004
Total de Falsos Positivos (FP)	14
Total de Falsos Negativos (FN)	7
Total de Verdadero Negativos (VN):	475

Nota: Resumen de los valores del Pre Test y Post Test de la matriz de confusión (F1-Score)

Tabla 35
Detallado de los valores del Pre test y Post Test

N°	PRE TEST	POST TEST	N°	PRE TEST	POST TEST	N°	PRE TEST	POST TEST
1	1	1	42	1	1	88	1	1
2	0	0	43	1	1	89	1	1
3	1	1	44	1	1	90	1	1
4	1	0	45	1	1	91	1	1
5	1	1	46	1	1	92	1	1
6	1	1	47	1	1	93	1	1
7	1	0	48	1	1	94	0	0
8	1	0	49	1	1	95	0	0
9	0	0	50	1	1	96	0	0
10	0	0	51	1	1	97	1	1
11	1	0	52	1	1	98	1	1
12	1	0	53	1	1	99	1	1
13	0	0	54	1	1	100	1	1
14	0	0	55	0	0	101	1	1
15	1	1	56	0	0	102	1	1
16	1	1	57	1	1	103	1	1
17	1	1	58	1	1	104	1	1
18	1	1	59	1	1	105	1	1
19	1	1	60	1	1	106	1	1
20	1	1	61	1	1	107	1	1
21	1	1	62	1	1	108	1	1
22	1	1	63	1	1	109	1	1
23	1	1	64	1	1	110	1	1
24	1	1	65	1	1	111	0	0
25	0	0	66	1	1	112	0	1
26	0	0	67	1	1	113	0	1
27	1	1	68	1	1	114	0	1
28	1	1	69	1	1	115	0	1
29	1	1	70	1	1	116	1	1
30	0	0	71	1	1	117	1	1
31	1	1	72	1	1	118	1	1
32	1	1	73	1	1	119	1	1
33	1	1	74	1	1	120	1	1
34	1	1	75	1	1	121	1	1
35	1	1	76	1	1	122	1	1
36	1	1	77	1	1	123	1	1
37	1	1	78	1	1	124	1	1
38	1	1	79	0	0	125	1	1
39	1	1	80	0	0	126	1	1
40	1	1	81	1	1	127	1	1
41	1	1	82	1	1	128	1	1
			83	1	1	129	1	1
			84	1	1	130	1	1
			85	1	1	131	1	1
			86	1	1	132	1	1
			87	1	1	133	1	1
						134	1	1
						135	1	1
						136	1	1
						137	1	1
						138	1	1
						139	1	1
						140	1	1
						141	1	1
						142	1	1
						143	1	1
						144	1	1
						145	1	1
						146	1	1
						147	1	1
						148	1	1
						149	1	1
						150	1	1
						151	1	1
						152	1	1
						153	0	0
						154	0	0
						155	0	0
						156	0	0
						157	0	0
						158	0	0
						159	0	0
						160	1	1
						161	1	1
						162	1	1
						163	1	1
						164	1	1
						165	1	1
						166	1	1
						167	1	1
						168	1	1
						169	1	1
						170	1	1
						171	1	1
						172	1	1
						173	1	1
						174	1	1
						175	1	1
						176	1	1
						177	1	1
						178	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
179	1	1	225	0	0	271	1	1	317	1	1
180	1	1	226	1	1	272	1	1	318	1	1
181	1	1	227	0	0	273	1	1	319	0	0
182	1	1	228	0	0	274	1	1	320	0	0
183	1	1	229	0	0	275	1	1	321	0	0
184	0	0	230	1	1	276	1	1	322	1	1
185	1	1	231	1	1	277	1	1	323	1	1
186	1	1	232	0	0	278	1	1	324	1	1
187	0	0	233	1	1	279	1	1	325	1	1
188	1	1	234	1	1	280	1	1	326	1	1
189	1	1	235	0	0	281	1	1	327	1	1
190	0	0	236	1	1	282	1	1	328	1	1
191	1	1	237	0	0	283	1	1	329	1	1
192	0	0	238	0	0	284	1	1	330	1	1
193	1	1	239	0	0	285	1	1	331	1	1
194	0	0	240	1	1	286	1	1	332	1	1
195	1	1	241	1	1	287	1	1	333	1	1
196	1	1	242	0	0	288	1	1	334	1	1
197	1	1	243	1	1	289	1	1	335	1	1
198	1	1	244	1	1	290	1	1	336	1	1
199	1	1	245	0	0	291	1	1	337	1	1
200	1	1	246	1	1	292	1	1	338	1	1
201	1	1	247	0	0	293	1	1	339	1	1
202	1	1	248	1	1	294	1	1	340	1	1
203	1	1	249	1	1	295	1	1	341	1	1
204	1	1	250	0	0	296	1	1	342	1	1
205	1	1	251	0	0	297	1	1	343	1	1
206	1	1	252	0	0	298	1	1	344	1	1
207	1	1	253	0	1	299	1	1	345	1	1
208	1	1	254	1	1	300	1	1	346	0	0
209	1	1	255	0	1	301	1	1	347	0	0
210	1	1	256	0	1	302	1	1	348	0	0
211	1	1	257	1	1	303	1	1	349	0	0
212	1	1	258	1	1	304	1	1	350	0	0
213	1	1	259	1	1	305	1	1	351	0	0
214	1	1	260	1	1	306	1	1	352	0	0
215	1	1	261	1	1	307	1	1	353	0	0
216	1	1	262	1	1	308	1	1	354	0	0
217	1	1	263	1	1	309	1	1	355	0	0
218	1	1	264	1	1	310	1	1	356	0	0
219	1	1	265	1	1	311	1	1	357	0	0
220	1	1	266	1	1	312	1	1	358	0	0
221	1	1	267	1	1	313	1	1	359	0	0
222	1	1	268	1	1	314	1	1	360	1	1
223	1	1	269	1	1	315	1	1	361	1	1
224	0	0	270	1	1	316	1	1	362	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
363	1	1	409	1	1	455	1	1	501	1	1
364	1	1	410	1	1	456	1	1	502	0	0
365	1	1	411	1	1	457	1	1	503	0	0
366	1	1	412	1	1	458	1	1	504	0	0
367	1	1	413	1	1	459	1	1	505	0	0
368	1	1	414	1	1	460	1	1	506	0	0
369	1	1	415	1	1	461	1	1	507	0	0
370	1	1	416	1	1	462	1	1	508	0	0
371	1	1	417	1	1	463	1	1	509	0	0
372	1	1	418	1	1	464	1	1	510	1	1
373	1	1	419	1	1	465	1	1	511	1	1
374	1	1	420	1	1	466	1	1	512	1	1
375	1	1	421	1	1	467	1	1	513	1	1
376	1	1	422	1	1	468	1	1	514	1	1
377	1	1	423	1	1	469	1	1	515	1	1
378	1	1	424	1	1	470	1	1	516	1	1
379	1	1	425	1	1	471	1	1	517	1	1
380	1	1	426	1	1	472	1	1	518	1	1
381	1	1	427	1	1	473	1	1	519	1	1
382	1	1	428	0	0	474	1	1	520	1	1
383	1	1	429	0	0	475	1	1	521	1	1
384	1	1	430	1	1	476	1	1	522	1	1
385	1	1	431	1	1	477	1	1	523	1	1
386	1	1	432	0	0	478	1	1	524	1	1
387	1	1	433	0	0	479	1	1	525	1	1
388	1	1	434	1	1	480	1	1	526	1	1
389	1	1	435	1	1	481	1	1	527	1	1
390	1	1	436	1	1	482	1	1	528	1	1
391	1	1	437	1	1	483	1	1	529	1	1
392	1	1	438	1	1	484	1	1	530	1	1
393	1	1	439	1	1	485	0	0	531	1	1
394	1	1	440	1	1	486	0	0	532	1	1
395	1	1	441	1	1	487	0	0	533	1	1
396	1	1	442	1	1	488	0	0	534	1	1
397	1	1	443	1	1	489	0	0	535	1	1
398	1	1	444	1	1	490	0	0	536	1	1
399	1	1	445	1	1	491	0	0	537	1	1
400	1	1	446	1	1	492	0	0	538	1	1
401	1	1	447	1	1	493	0	0	539	1	1
402	1	1	448	1	1	494	0	0	540	1	1
403	1	1	449	1	1	495	1	1	541	1	1
404	1	1	450	1	1	496	0	0	542	1	1
405	1	1	451	1	1	497	1	1	543	1	1
406	1	1	452	1	1	498	1	1	544	1	1
407	1	1	453	1	1	499	1	1	545	1	1
408	1	1	454	1	1	500	0	0	546	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
547	1	1	593	1	1	639	1	1	685	1	1
548	1	1	594	1	1	640	1	1	686	1	1
549	1	1	595	1	1	641	1	1	687	1	1
550	1	1	596	1	1	642	1	1	688	1	1
551	1	1	597	1	1	643	1	1	689	1	1
552	1	1	598	1	1	644	1	1	690	1	1
553	1	1	599	1	1	645	1	1	691	1	1
554	1	1	600	1	1	646	1	1	692	1	1
555	1	1	601	1	1	647	1	1	693	1	1
556	1	1	602	1	1	648	1	1	694	1	1
557	1	1	603	1	1	649	1	1	695	1	1
558	1	1	604	1	1	650	1	1	696	1	1
559	1	1	605	1	1	651	1	1	697	1	1
560	1	1	606	1	1	652	1	1	698	1	1
561	1	1	607	1	1	653	1	1	699	1	1
562	1	1	608	1	1	654	1	1	700	1	1
563	1	1	609	1	1	655	1	1	701	1	1
564	1	1	610	1	1	656	1	1	702	1	1
565	1	1	611	1	1	657	1	1	703	1	1
566	1	1	612	1	1	658	1	1	704	1	1
567	1	1	613	1	1	659	1	1	705	1	1
568	1	1	614	1	1	660	1	1	706	1	1
569	1	1	615	1	1	661	1	1	707	1	1
570	1	1	616	1	1	662	1	1	708	1	1
571	1	1	617	1	1	663	1	1	709	1	1
572	1	1	618	1	1	664	1	1	710	1	1
573	1	1	619	1	1	665	1	1	711	1	1
574	1	1	620	1	1	666	1	1	712	1	1
575	1	1	621	1	1	667	1	1	713	1	1
576	1	1	622	1	1	668	1	1	714	1	1
577	1	1	623	1	1	669	1	1	715	1	1
578	1	1	624	1	1	670	1	1	716	1	1
579	1	1	625	1	1	671	1	1	717	1	1
580	1	1	626	1	1	672	1	1	718	1	1
581	1	1	627	1	1	673	1	1	719	1	1
582	1	1	628	1	1	674	1	1	720	1	1
583	1	1	629	1	1	675	1	1	721	1	1
584	1	1	630	1	1	676	1	1	722	1	1
585	1	1	631	1	1	677	1	1	723	1	1
586	1	1	632	1	1	678	1	1	724	1	1
587	1	1	633	1	1	679	1	1	725	1	1
588	1	1	634	1	1	680	1	1	726	1	1
589	1	1	635	1	1	681	1	1	727	1	1
590	1	1	636	1	1	682	1	1	728	1	1
591	1	1	637	1	1	683	1	1	729	1	1
592	1	1	638	1	1	684	1	1	730	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
731	1	1	777	0	0	823	1	1	869	1	1
732	1	1	778	0	0	824	0	0	870	1	1
733	1	1	779	0	0	825	1	1	871	1	1
734	1	1	780	0	0	826	1	1	872	1	1
735	0	0	781	0	0	827	0	0	873	1	1
736	0	0	782	1	1	828	1	1	874	1	1
737	0	0	783	1	1	829	1	1	875	1	1
738	0	0	784	1	1	830	0	0	876	1	1
739	0	0	785	1	1	831	1	1	877	1	1
740	0	0	786	1	1	832	1	1	878	1	1
741	1	1	787	1	1	833	0	0	879	1	1
742	1	1	788	1	1	834	1	1	880	1	1
743	1	1	789	1	1	835	1	1	881	1	1
744	1	1	790	1	1	836	1	1	882	1	1
745	1	1	791	1	1	837	0	0	883	0	0
746	1	1	792	1	1	838	1	1	884	1	1
747	1	1	793	1	1	839	1	1	885	1	1
748	1	1	794	1	1	840	0	0	886	1	1
749	1	1	795	1	1	841	0	0	887	1	1
750	1	1	796	1	1	842	1	1	888	1	1
751	1	1	797	1	1	843	1	1	889	1	1
752	1	1	798	1	1	844	1	1	890	1	1
753	1	1	799	1	1	845	0	0	891	1	1
754	1	1	800	1	1	846	0	0	892	1	1
755	1	1	801	1	1	847	1	1	893	1	1
756	1	1	802	1	1	848	0	0	894	1	1
757	1	1	803	1	1	849	1	1	895	1	1
758	1	1	804	1	1	850	1	1	896	1	1
759	1	1	805	1	1	851	1	1	897	1	1
760	1	1	806	1	1	852	1	1	898	1	1
761	1	1	807	1	1	853	1	1	899	1	1
762	1	1	808	1	1	854	1	1	900	1	1
763	1	1	809	1	1	855	1	1	901	1	1
764	1	1	810	1	1	856	1	1	902	1	1
765	1	1	811	1	1	857	1	1	903	1	1
766	1	1	812	1	1	858	1	1	904	1	1
767	1	1	813	1	1	859	1	1	905	1	1
768	1	1	814	0	0	860	1	1	906	1	1
769	1	1	815	1	1	861	1	1	907	1	1
770	1	1	816	0	0	862	1	1	908	1	1
771	1	1	817	1	1	863	1	1	909	1	1
772	1	1	818	0	0	864	1	1	910	1	1
773	1	1	819	0	0	865	1	1	911	1	1
774	0	0	820	0	0	866	1	1	912	1	1
775	0	0	821	1	1	867	1	1	913	1	1
776	0	0	822	0	0	868	1	1	914	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST	N°	PRE TEST	POST TEST	N°	PRE TEST	POST TEST	N°	PRE TEST	POST TEST
915	1	1	961	0	0	1007	0	0	1053	1	1
916	1	1	962	0	0	1008	0	0	1054	1	1
917	1	1	963	1	1	1009	0	0	1055	1	1
918	1	1	964	1	1	1010	0	0	1056	1	1
919	1	1	965	1	1	1011	0	0	1057	1	1
920	1	1	966	1	1	1012	0	0	1058	1	1
921	1	1	967	1	1	1013	0	0	1059	1	1
922	1	1	968	1	1	1014	0	0	1060	1	1
923	1	1	969	1	1	1015	0	0	1061	1	1
924	1	1	970	1	1	1016	0	0	1062	1	1
925	1	1	971	1	1	1017	0	0	1063	1	1
926	1	1	972	1	1	1018	0	0	1064	1	1
927	1	1	973	1	1	1019	0	0	1065	1	1
928	1	1	974	1	1	1020	0	0	1066	1	1
929	1	1	975	1	1	1021	0	0	1067	1	1
930	1	1	976	1	1	1022	0	0	1068	1	1
931	1	1	977	1	1	1023	0	0	1069	1	1
932	1	1	978	1	1	1024	0	0	1070	1	1
933	1	1	979	1	1	1025	0	0	1071	1	1
934	1	1	980	1	1	1026	0	0	1072	1	1
935	1	1	981	0	0	1027	0	0	1073	1	1
936	1	1	982	0	0	1028	1	1	1074	1	1
937	1	1	983	0	0	1029	1	1	1075	1	1
938	1	1	984	0	0	1030	1	1	1076	1	1
939	1	1	985	0	0	1031	1	1	1077	1	1
940	1	1	986	0	0	1032	1	1	1078	1	1
941	1	1	987	0	0	1033	1	1	1079	1	1
942	1	1	988	0	0	1034	1	1	1080	1	1
943	1	1	989	0	0	1035	1	1	1081	1	1
944	1	1	990	0	0	1036	1	1	1082	1	1
945	1	1	991	0	0	1037	1	1	1083	1	1
946	1	1	992	0	0	1038	1	1	1084	1	1
947	1	1	993	0	0	1039	1	1	1085	1	1
948	1	1	994	0	0	1040	1	1	1086	1	1
949	1	1	995	0	0	1041	1	1	1087	1	1
950	1	1	996	0	0	1042	1	1	1088	1	1
951	1	1	997	0	0	1043	1	1	1089	1	1
952	1	1	998	0	0	1044	1	1	1090	1	1
953	1	1	999	0	0	1045	1	1	1091	1	1
954	1	1	1000	0	0	1046	1	1	1092	1	1
955	1	1	1001	0	0	1047	1	1	1093	1	1
956	1	1	1002	0	0	1048	1	1	1094	1	1
957	0	0	1003	0	0	1049	1	1	1095	1	1
958	0	0	1004	0	0	1050	1	1	1096	1	1
959	0	0	1005	0	0	1051	1	1	1097	1	1
960	0	0	1006	0	0	1052	1	1	1098	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
1099	1	1	1145	1	1	1191	1	1	1237	1	1
1100	1	1	1146	1	1	1192	1	1	1238	1	1
1101	1	1	1147	1	1	1193	1	1	1239	1	1
1102	1	1	1148	1	1	1194	1	1	1240	1	1
1103	1	1	1149	1	1	1195	1	1	1241	1	1
1104	0	0	1150	1	1	1196	1	1	1242	1	1
1105	0	0	1151	1	1	1197	1	1	1243	1	1
1106	0	0	1152	1	1	1198	1	1	1244	1	1
1107	0	0	1153	1	1	1199	1	1	1245	1	1
1108	0	0	1154	1	1	1200	1	1	1246	1	1
1109	0	0	1155	1	1	1201	1	1	1247	1	1
1110	0	0	1156	1	1	1202	1	1	1248	1	1
1111	0	0	1157	1	1	1203	1	1	1249	1	1
1112	0	0	1158	1	1	1204	1	1	1250	1	1
1113	0	0	1159	1	1	1205	1	1	1251	1	1
1114	0	0	1160	1	1	1206	1	1	1252	1	1
1115	0	0	1161	1	1	1207	1	1	1253	1	1
1116	0	0	1162	1	1	1208	1	1	1254	1	1
1117	0	0	1163	1	1	1209	1	1	1255	1	1
1118	0	0	1164	1	1	1210	1	1	1256	1	1
1119	0	0	1165	1	1	1211	1	1	1257	1	1
1120	0	0	1166	1	1	1212	1	1	1258	1	1
1121	0	0	1167	1	1	1213	1	1	1259	1	1
1122	0	0	1168	1	1	1214	1	1	1260	1	1
1123	0	0	1169	1	1	1215	1	1	1261	1	1
1124	0	0	1170	1	1	1216	1	1	1262	1	1
1125	0	0	1171	1	1	1217	1	1	1263	1	1
1126	0	0	1172	1	1	1218	1	1	1264	1	1
1127	1	1	1173	1	1	1219	1	1	1265	0	0
1128	1	1	1174	1	1	1220	1	1	1266	0	0
1129	1	1	1175	1	1	1221	1	1	1267	0	0
1130	1	1	1176	1	1	1222	1	1	1268	0	0
1131	1	1	1177	1	1	1223	1	1	1269	0	0
1132	1	1	1178	1	1	1224	1	1	1270	1	1
1133	1	1	1179	1	1	1225	1	1	1271	1	1
1134	1	1	1180	1	1	1226	1	1	1272	1	1
1135	1	1	1181	1	1	1227	1	1	1273	1	1
1136	1	1	1182	1	1	1228	1	1	1274	1	1
1137	1	1	1183	1	1	1229	1	1	1275	1	1
1138	1	1	1184	1	1	1230	1	1	1276	1	1
1139	1	1	1185	1	1	1231	1	1	1277	1	1
1140	1	1	1186	1	1	1232	1	1	1278	1	1
1141	1	1	1187	1	1	1233	1	1	1279	1	1
1142	1	1	1188	1	1	1234	1	1	1280	1	1
1143	1	1	1189	1	1	1235	1	1	1281	1	1
1144	1	1	1190	1	1	1236	1	1	1282	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
1283	1	1	1329	0	0	1375	1	1	1421	1	1
1284	1	1	1330	0	0	1376	1	1	1422	1	1
1285	1	1	1331	0	0	1377	1	1	1423	1	1
1286	1	1	1332	1	1	1378	1	1	1424	1	1
1287	1	1	1333	0	0	1379	1	1	1425	1	1
1288	1	1	1334	0	0	1380	1	1	1426	1	1
1289	1	1	1335	0	0	1381	1	1	1427	1	1
1290	1	1	1336	0	0	1382	1	1	1428	1	1
1291	0	0	1337	0	0	1383	1	1	1429	1	1
1292	0	0	1338	0	0	1384	1	1	1430	1	1
1293	0	0	1339	0	0	1385	1	1	1431	1	1
1294	0	0	1340	0	0	1386	1	1	1432	1	1
1295	0	0	1341	0	0	1387	1	1	1433	1	1
1296	0	0	1342	0	0	1388	1	1	1434	1	1
1297	0	0	1343	0	0	1389	1	1	1435	1	1
1298	1	1	1344	0	0	1390	1	1	1436	1	1
1299	1	1	1345	0	0	1391	1	1	1437	1	1
1300	1	1	1346	0	0	1392	1	1	1438	1	1
1301	1	1	1347	0	0	1393	1	1	1439	1	1
1302	1	1	1348	0	0	1394	1	1	1440	1	1
1303	1	1	1349	0	0	1395	1	1	1441	1	1
1304	1	1	1350	0	0	1396	1	1	1442	1	1
1305	1	1	1351	0	0	1397	1	1	1443	1	1
1306	1	1	1352	1	1	1398	1	1	1444	1	1
1307	1	1	1353	1	1	1399	1	1	1445	1	1
1308	1	1	1354	1	1	1400	1	1	1446	1	1
1309	1	1	1355	1	1	1401	1	1	1447	1	1
1310	1	1	1356	1	1	1402	1	1	1448	1	1
1311	1	1	1357	1	1	1403	1	1	1449	1	1
1312	1	1	1358	1	1	1404	1	1	1450	1	1
1313	1	1	1359	1	1	1405	1	1	1451	1	1
1314	1	1	1360	1	1	1406	1	1	1452	1	1
1315	1	1	1361	1	1	1407	1	1	1453	1	1
1316	1	1	1362	1	1	1408	1	1	1454	1	1
1317	1	1	1363	1	1	1409	1	1	1455	1	1
1318	1	1	1364	1	1	1410	1	1	1456	1	1
1319	1	1	1365	1	1	1411	1	1	1457	1	1
1320	1	1	1366	1	1	1412	1	1	1458	1	1
1321	1	1	1367	1	1	1413	1	1	1459	1	1
1322	1	1	1368	1	1	1414	1	1	1460	1	1
1323	1	1	1369	1	1	1415	1	1	1461	1	1
1324	1	1	1370	1	1	1416	1	1	1462	1	1
1325	0	0	1371	1	1	1417	1	1	1463	1	1
1326	0	0	1372	1	1	1418	1	1	1464	1	1
1327	0	0	1373	1	1	1419	1	1	1465	1	1
1328	0	0	1374	1	1	1420	1	1	1466	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
1467	1	1	1513	1	1	1559	1	1	1605	1	1
1468	1	1	1514	1	1	1560	1	1	1606	1	1
1469	1	1	1515	1	1	1561	1	1	1607	1	1
1470	1	1	1516	1	1	1562	1	1	1608	1	1
1471	1	1	1517	1	1	1563	1	1	1609	1	1
1472	1	1	1518	1	1	1564	1	1	1610	1	1
1473	1	1	1519	1	1	1565	1	1	1611	1	1
1474	1	1	1520	1	1	1566	1	1	1612	1	1
1475	1	1	1521	1	1	1567	1	1	1613	1	1
1476	1	1	1522	1	1	1568	1	1	1614	1	1
1477	1	1	1523	1	1	1569	1	1	1615	1	1
1478	1	1	1524	1	1	1570	1	1	1616	1	1
1479	1	1	1525	1	1	1571	1	1	1617	1	1
1480	1	1	1526	1	1	1572	1	1	1618	1	1
1481	1	1	1527	1	1	1573	1	1	1619	1	1
1482	1	1	1528	1	1	1574	1	1	1620	1	1
1483	1	1	1529	1	1	1575	1	1	1621	1	1
1484	1	1	1530	1	1	1576	1	1	1622	1	1
1485	1	1	1531	1	1	1577	1	1	1623	1	1
1486	1	1	1532	1	1	1578	1	1	1624	1	1
1487	1	1	1533	1	1	1579	1	1	1625	1	1
1488	1	1	1534	1	1	1580	1	1	1626	1	1
1489	1	1	1535	1	1	1581	1	1	1627	1	1
1490	1	1	1536	1	1	1582	1	1	1628	1	1
1491	1	1	1537	1	1	1583	1	1	1629	1	1
1492	1	1	1538	1	1	1584	1	1	1630	1	1
1493	1	1	1539	1	1	1585	1	1	1631	1	1
1494	1	1	1540	1	1	1586	1	1	1632	1	1
1495	1	1	1541	1	1	1587	1	1	1633	1	1
1496	1	1	1542	1	1	1588	1	1	1634	1	1
1497	1	1	1543	1	1	1589	1	1	1635	1	1
1498	1	1	1544	1	1	1590	1	1	1636	1	1
1499	1	1	1545	1	1	1591	1	1	1637	1	1
1500	1	1	1546	1	1	1592	1	1	1638	1	1
1501	1	1	1547	1	1	1593	1	1	1639	1	1
1502	1	1	1548	1	1	1594	1	1	1640	1	1
1503	1	1	1549	1	1	1595	1	1	1641	1	1
1504	1	1	1550	1	1	1596	1	1	1642	1	1
1505	1	1	1551	1	1	1597	1	1	1643	1	1
1506	1	1	1552	1	1	1598	1	1	1644	1	1
1507	1	1	1553	1	1	1599	1	1	1645	1	1
1508	1	1	1554	1	1	1600	1	1	1646	1	1
1509	1	1	1555	1	1	1601	1	1	1647	1	1
1510	1	1	1556	1	1	1602	1	1	1648	1	1
1511	1	1	1557	1	1	1603	1	1	1649	1	1
1512	1	1	1558	1	1	1604	1	1	1650	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
1651	1	1	1697	1	1	1743	1	1	1789	0	0
1652	1	1	1698	1	1	1744	1	1	1790	0	0
1653	1	1	1699	1	1	1745	1	1	1791	0	0
1654	1	1	1700	1	1	1746	1	1	1792	0	0
1655	1	1	1701	1	1	1747	1	1	1793	0	0
1656	1	1	1702	1	1	1748	1	1	1794	0	0
1657	1	1	1703	1	1	1749	1	1	1795	0	0
1658	1	1	1704	1	1	1750	1	1	1796	0	0
1659	1	1	1705	1	1	1751	1	1	1797	0	0
1660	1	1	1706	1	1	1752	1	1	1798	0	0
1661	1	1	1707	1	1	1753	1	1	1799	0	0
1662	1	1	1708	1	1	1754	1	1	1800	0	0
1663	1	1	1709	1	1	1755	1	1	1801	0	0
1664	1	1	1710	1	1	1756	1	1	1802	0	0
1665	1	1	1711	1	1	1757	1	1	1803	0	0
1666	1	1	1712	1	1	1758	1	1	1804	0	0
1667	1	1	1713	1	1	1759	1	1	1805	0	0
1668	1	1	1714	1	1	1760	1	1	1806	0	0
1669	1	1	1715	1	1	1761	1	1	1807	0	0
1670	1	1	1716	1	1	1762	1	1	1808	0	0
1671	1	1	1717	1	1	1763	1	1	1809	0	0
1672	1	1	1718	1	1	1764	1	1	1810	0	0
1673	1	1	1719	1	1	1765	1	1	1811	0	0
1674	1	1	1720	1	1	1766	1	1	1812	0	0
1675	1	1	1721	1	1	1767	1	1	1813	0	0
1676	1	1	1722	1	1	1768	1	1	1814	0	0
1677	1	1	1723	1	1	1769	1	1	1815	0	0
1678	1	1	1724	1	1	1770	1	1	1816	1	1
1679	1	1	1725	1	1	1771	1	1	1817	1	1
1680	1	1	1726	1	1	1772	1	1	1818	1	1
1681	1	1	1727	1	1	1773	1	1	1819	1	1
1682	1	1	1728	1	1	1774	1	1	1820	1	1
1683	1	1	1729	1	1	1775	0	0	1821	1	1
1684	1	1	1730	1	1	1776	0	0	1822	1	1
1685	1	1	1731	1	1	1777	0	0	1823	1	1
1686	1	1	1732	1	1	1778	0	0	1824	1	1
1687	1	1	1733	1	1	1779	0	0	1825	1	1
1688	1	1	1734	1	1	1780	0	0	1826	1	1
1689	1	1	1735	1	1	1781	0	0	1827	1	1
1690	1	1	1736	1	1	1782	0	0	1828	1	1
1691	1	1	1737	1	1	1783	0	0	1829	1	1
1692	1	1	1738	1	1	1784	0	0	1830	1	1
1693	1	1	1739	1	1	1785	0	0	1831	1	1
1694	1	1	1740	1	1	1786	0	0	1832	1	1
1695	1	1	1741	1	1	1787	0	0	1833	1	1
1696	1	1	1742	0	0	1788	0	0	1834	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
1835	1	1	1881	1	1	1927	1	1	1973	1	1
1836	1	1	1882	1	1	1928	1	1	1974	1	0
1837	1	1	1883	1	1	1929	1	1	1975	1	1
1838	1	1	1884	1	1	1930	1	1	1976	1	1
1839	1	1	1885	1	1	1931	1	1	1977	1	1
1840	1	1	1886	1	1	1932	1	1	1978	1	1
1841	1	1	1887	1	1	1933	1	1	1979	1	1
1842	1	1	1888	1	1	1934	1	1	1980	1	1
1843	1	1	1889	1	1	1935	1	1	1981	1	1
1844	1	1	1890	1	1	1936	1	1	1982	1	1
1845	1	1	1891	1	1	1937	1	1	1983	1	1
1846	1	1	1892	1	1	1938	1	1	1984	1	1
1847	1	1	1893	1	1	1939	1	0	1985	1	1
1848	1	1	1894	1	1	1940	0	0	1986	1	1
1849	1	1	1895	1	1	1941	0	0	1987	1	1
1850	1	1	1896	1	1	1942	1	1	1988	1	1
1851	1	1	1897	1	1	1943	1	1	1989	1	1
1852	1	1	1898	1	1	1944	1	1	1990	0	0
1853	1	1	1899	1	1	1945	1	1	1991	1	1
1854	1	1	1900	1	1	1946	1	1	1992	1	1
1855	1	1	1901	1	1	1947	1	1	1993	1	1
1856	1	1	1902	1	1	1948	1	1	1994	1	1
1857	1	1	1903	1	1	1949	1	1	1995	1	1
1858	1	1	1904	1	1	1950	1	1	1996	1	1
1859	1	1	1905	1	1	1951	1	1	1997	1	1
1860	1	1	1906	1	1	1952	1	1	1998	1	1
1861	1	1	1907	1	1	1953	1	1	1999	1	1
1862	1	1	1908	0	0	1954	1	1	2000	1	1
1863	1	1	1909	0	0	1955	1	1	2001	1	1
1864	1	1	1910	0	0	1956	1	1	2002	0	0
1865	1	1	1911	0	0	1957	1	0	2003	0	0
1866	1	1	1912	0	0	1958	1	0	2004	0	0
1867	1	1	1913	0	0	1959	1	1	2005	0	0
1868	1	1	1914	0	0	1960	1	1	2006	0	0
1869	1	1	1915	0	0	1961	1	1	2007	0	0
1870	1	1	1916	1	1	1962	1	1	2008	0	0
1871	1	1	1917	1	1	1963	1	1	2009	0	0
1872	1	1	1918	1	1	1964	1	1	2010	1	1
1873	1	1	1919	1	1	1965	1	1	2011	1	1
1874	1	1	1920	1	1	1966	1	1	2012	1	1
1875	1	1	1921	1	1	1967	1	1	2013	1	1
1876	1	1	1922	1	1	1968	1	1	2014	1	1
1877	1	1	1923	1	1	1969	1	1	2015	1	1
1878	1	1	1924	0	0	1970	1	1	2016	1	1
1879	1	1	1925	0	0	1971	1	1	2017	1	1
1880	1	1	1926	1	0	1972	1	1	2018	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
2019	1	1	2065	1	1	2111	1	1	2157	1	1
2020	1	1	2066	1	1	2112	1	1	2158	1	1
2021	1	1	2067	1	1	2113	1	1	2159	1	1
2022	1	1	2068	1	1	2114	1	1	2160	1	1
2023	1	1	2069	1	1	2115	1	1	2161	1	1
2024	1	1	2070	1	1	2116	1	1	2162	1	1
2025	1	1	2071	1	1	2117	1	1	2163	1	1
2026	1	1	2072	1	1	2118	1	1	2164	1	1
2027	1	1	2073	1	1	2119	1	1	2165	1	1
2028	1	1	2074	1	1	2120	1	1	2166	1	1
2029	1	1	2075	1	1	2121	1	1	2167	1	1
2030	1	1	2076	1	1	2122	1	1	2168	1	1
2031	1	1	2077	1	1	2123	1	1	2169	1	1
2032	1	1	2078	1	1	2124	1	1	2170	1	1
2033	1	1	2079	1	1	2125	1	1	2171	1	1
2034	1	1	2080	1	1	2126	1	1	2172	1	1
2035	1	1	2081	1	1	2127	1	1	2173	1	1
2036	1	1	2082	1	1	2128	1	1	2174	1	1
2037	1	1	2083	1	1	2129	1	1	2175	1	1
2038	1	1	2084	1	1	2130	1	1	2176	1	1
2039	1	1	2085	1	1	2131	1	1	2177	1	1
2040	1	1	2086	1	1	2132	1	1	2178	1	1
2041	1	1	2087	1	1	2133	1	1	2179	1	1
2042	1	1	2088	1	1	2134	1	1	2180	1	1
2043	1	1	2089	1	1	2135	1	1	2181	1	1
2044	1	1	2090	1	1	2136	1	1	2182	1	1
2045	1	1	2091	1	1	2137	1	1	2183	1	1
2046	1	1	2092	1	1	2138	1	1	2184	1	1
2047	1	1	2093	1	1	2139	1	1	2185	1	1
2048	1	1	2094	1	1	2140	1	1	2186	1	1
2049	1	1	2095	1	1	2141	1	1	2187	1	1
2050	1	1	2096	1	1	2142	1	1	2188	1	1
2051	1	1	2097	1	1	2143	1	1	2189	1	1
2052	1	1	2098	1	1	2144	1	1	2190	1	1
2053	1	1	2099	1	1	2145	1	1	2191	1	1
2054	1	1	2100	1	1	2146	1	1	2192	1	1
2055	1	1	2101	1	1	2147	1	1	2193	1	1
2056	1	1	2102	1	1	2148	1	1	2194	1	1
2057	1	1	2103	1	1	2149	1	1	2195	1	1
2058	1	1	2104	1	1	2150	1	1	2196	1	1
2059	1	1	2105	1	1	2151	1	1	2197	1	1
2060	1	1	2106	1	1	2152	1	1	2198	1	1
2061	1	1	2107	1	1	2153	1	1	2199	1	1
2062	1	1	2108	1	1	2154	1	1	2200	1	1
2063	1	1	2109	1	1	2155	1	1	2201	1	1
2064	1	1	2110	1	1	2156	1	1	2202	1	1

N°	PRE TEST	POST TEST									
2203	1	1	2249	1	1	2295	0	0	2341	0	0
2204	1	1	2250	1	1	2296	0	0	2342	0	0
2205	1	1	2251	1	1	2297	0	0	2343	0	0
2206	1	1	2252	1	1	2298	0	0	2344	0	0
2207	1	1	2253	1	1	2299	0	0	2345	1	1
2208	1	1	2254	1	1	2300	1	1	2346	0	0
2209	1	1	2255	0	0	2301	1	1	2347	0	0
2210	1	1	2256	0	0	2302	1	1	2348	1	1
2211	1	1	2257	0	0	2303	1	1	2349	1	1
2212	1	1	2258	0	0	2304	1	1	2350	1	1
2213	1	1	2259	0	0	2305	1	1	2351	1	1
2214	0	0	2260	0	0	2306	1	1	2352	1	1
2215	0	0	2261	0	0	2307	0	0	2353	1	1
2216	0	0	2262	0	0	2308	1	0	2354	1	1
2217	0	0	2263	0	0	2309	1	1	2355	1	1
2218	0	0	2264	0	0	2310	0	0	2356	1	1
2219	0	0	2265	0	0	2311	1	1	2357	1	1
2220	0	0	2266	0	0	2312	0	0	2358	1	1
2221	0	0	2267	0	0	2313	0	0	2359	1	1
2222	0	0	2268	0	0	2314	1	1	2360	0	0
2223	0	0	2269	0	0	2315	1	1	2361	0	0
2224	0	0	2270	0	0	2316	1	1	2362	0	0
2225	0	0	2271	0	0	2317	0	0	2363	1	1
2226	0	0	2272	0	0	2318	1	0	2364	1	1
2227	0	0	2273	0	0	2319	1	1	2365	1	1
2228	0	0	2274	0	0	2320	1	1	2366	1	1
2229	1	1	2275	0	0	2321	1	1	2367	1	1
2230	1	1	2276	0	0	2322	1	1	2368	1	1
2231	1	1	2277	0	0	2323	1	0	2369	1	1
2232	1	1	2278	0	0	2324	0	0	2370	1	1
2233	1	1	2279	0	0	2325	1	1	2371	1	1
2234	1	1	2280	0	0	2326	0	0	2372	1	1
2235	1	1	2281	0	0	2327	1	1	2373	1	1
2236	1	1	2282	0	0	2328	1	1	2374	1	1
2237	1	1	2283	0	0	2329	1	1	2375	1	1
2238	1	1	2284	0	0	2330	1	1	2376	1	1
2239	1	1	2285	0	0	2331	1	1	2377	1	1
2240	1	1	2286	0	0	2332	1	1	2378	1	1
2241	1	1	2287	0	0	2333	0	0	2379	1	1
2242	1	1	2288	0	0	2334	0	0	2380	1	1
2243	1	1	2289	0	0	2335	0	0	2381	1	1
2244	1	1	2290	0	0	2336	0	0	2382	1	1
2245	1	1	2291	0	0	2337	0	0	2383	0	0
2246	1	1	2292	0	0	2338	0	0	2384	0	0
2247	1	1	2293	0	0	2339	0	0	2385	0	0
2248	1	1	2294	0	0	2340	0	0	2386	0	0

N°	PRE TEST	POST TEST	N°	PRE TEST	POST TEST	N°	PRE TEST	POST TEST
2387	0	0	2433	1	1	2479	0	0
2388	0	0	2434	1	1	2480	0	0
2389	1	1	2435	1	1	2481	0	0
2390	0	0	2436	1	1	2482	0	0
2391	0	0	2437	1	1	2483	0	0
2392	0	0	2438	0	0	2484	0	0
2393	0	0	2439	0	0	2485	0	0
2394	0	0	2440	1	1	2486	0	0
2395	0	0	2441	0	0	2487	0	0
2396	0	0	2442	0	0	2488	0	0
2397	0	0	2443	0	0	2489	0	0
2398	0	0	2444	0	0	2490	0	0
2399	0	0	2445	0	0	2491	0	0
2400	0	0	2446	0	0	2492	0	0
2401	0	0	2447	0	0	2493	0	0
2402	0	0	2448	0	0	2494	0	0
2403	0	0	2449	0	0	2495	0	0
2404	0	0	2450	0	0	2496	0	0
2405	0	0	2451	0	0	2497	0	0
2406	1	1	2452	0	0	2498	0	0
2407	1	1	2453	0	0	2499	0	0
2408	1	1	2454	0	0	2500	0	0
2409	1	1	2455	0	0			
2410	1	1	2456	0	0			
2411	1	1	2457	0	0			
2412	1	1	2458	0	0			
2413	1	1	2459	0	0			
2414	1	1	2460	0	0			
2415	0	0	2461	0	0			
2416	0	0	2462	0	0			
2417	0	0	2463	0	0			
2418	0	0	2464	0	0			
2419	0	0	2465	0	0			
2420	0	0	2466	0	0			
2421	0	0	2467	0	0			
2422	0	0	2468	0	0			
2423	0	0	2469	0	0			
2424	0	0	2470	0	0			
2425	0	0	2471	0	0			
2426	0	0	2472	0	0			
2427	1	0	2473	0	0			
2428	0	0	2474	0	0			
2429	0	0	2475	0	0			
2430	1	1	2476	0	0			
2431	1	1	2477	0	0			
2432	1	1	2478	0	0			

ANEXO N° 02 - CUESTIONARIO SOBRE LA OPINIÓN DEL USO DE LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN EN LA AGRICULTURA Y SU IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE PERSONAL

Objetivo: Recopilar la información sobre la percepción del personal administrativo sobre el uso del algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados en la mejora de los procesos agrícolas y su relación con la reducción de la cantidad de jornaleros en campo.

Sección N°01: Uso de la Tecnología en los procesos agrícolas

1. ¿Está familiarizado con el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) en las labores agrícolas?
 - a) Si
 - b) No

2. ¿Conoce el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro visible (RGB) que se ha implementado?
 - a) Si
 - b) No

3. ¿Considera que el uso de vehículos aéreos no tripulados (drone) y algoritmos ha mejorado la precisión en la detección de zonas que requieren atención?
 - a) Totalmente de acuerdo
 - b) De acuerdo
 - c) En desacuerdo
 - d) Totalmente en desacuerdo

4. ¿Cree que el uso de esta tecnología ha reducido el tiempo necesario para identificar áreas de riego, fertilización o fumigación?
 - a) Si
 - b) No

Sección N°02: Impacto del uso de la tecnología en el personal del campo

5. ¿Cree que el uso del algoritmo y el vehículo aéreo no tripulado (drone) ha hecho más eficiente el trabajo en campo?
 - a) Si
 - b) No

6. ¿Ha observado que algunas funciones que realizaban los jornaleros ahora se ejecutan mediante el algoritmo de procesamiento de imágenes del espectro de luz visible (como el monitoreo de cultivos)?
 - a) Si
 - b) No

7. En base a su experiencia, ¿considera que el trabajo que realizaban dos jornaleros puede ser ahora cubierto con el uso de esta tecnología?
 - a) Si
 - b) No

8. ¿Está de acuerdo con que se reduzca el número de jornaleros si la tecnología garantiza la misma o mayor eficiencia?
 - a) Totalmente de acuerdo
 - b) De acuerdo
 - c) En desacuerdo
 - d) Totalmente en desacuerdo

ANEXO N° 03 - REGISTRO DE COMPRAS AÑO 2023, 2024 Y 2025

Figura 72.

COMPRAS DE INSUMOS AGROPECUARIOS - AÑO 2023

COMPRAS DE INSUMOS AGROPECUARIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ESPARRÁGOS X
HECTARÍA - AÑO 2023

N°	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Tipo de Cambio (S/.3.67)	TOTAL (S/.)
1	Cloruro de Potasio	Kg	251.000	0.420	3.74	393.989
2	Guano Vacuno	Kg	35000.000	0.027	3.74	3481.940
3	Urea	Kg	830.000	0.472	3.74	1465.493
4	Ácido Fosfórico	Kg	441.500	0.944	3.74	1558.907
5	Fetrilon Combi	Kg	3.900	22.951	3.74	334.760
6	Azufre	Kg	34.790	0.492	3.74	63.990
7	Kocide	Kg	1.295	9.854	3.74	47.726
8	Folicur	Lt	3.049	9.445	3.74	107.704
9	Select	Lt	0.595	73.889	3.74	164.425
10	Agrotim	Lt	0.380	80.046	3.74	113.761
11	Suni-8	Lt	0.595	75.530	3.74	168.077
12	Nicronix	Kg	1.400	11.494	3.74	60.183
13	Antracol	Lt	0.450	8.003	3.74	13.470
14	Agua	M3	8750.000	0.026	3.74	841.033
TOTAL						8,815.458

Unidad Medida	Cantidad	costo
Kg	36,564	7,406.989
Lt	5.069	567.437
M3	8,750	841.033
TOTAL		8,815.458

GAMA PERUVIAN COMPANY S.A.C.

 Nelson Duilio Guibovich Villanueva
 GERENTE GENERAL

Nota: Compras de insumos agropecuarios para la producción de Esparragos x Hectarea del año 2023 visado por el Gerente General Guibovich Villanueva Nelson Duilio

Figura 73.

COMPRAS DE INSUMOS AGROPECUARIOS - AÑO 2024

**COMPRAS DE INSUMOS AGROPECUARIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ESPARRÁGOS X
HECTARÍA - AÑO 2024**

Nº	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Tipo de Cambio (S/.3.74)	TOTAL (S/.)
1	Cloruro de Potasio	Kg	252.000	0.420	3.74	395.559
2	Guano Vacuno	Kg	35000.000	0.027	3.74	3481.940
3	Urea	Kg	819.000	0.472	3.74	1446.071
4	Ácido Fosfórico	Kg	430.500	0.944	3.74	1520.067
5	Fetrilon Combi	Kg	3.500	22.951	3.74	300.426
6	Azufre	Kg	34.790	0.492	3.74	63.990
7	Kocide	Kg	1.295	9.854	3.74	47.726
8	Folicur	Lt	3.045	9.445	3.74	107.562
9	Select	Lt	0.595	73.889	3.74	164.425
10	Agrotim	Lt	0.280	80.046	3.74	83.824
11	Suni-8	Lt	0.595	75.530	3.74	168.077
12	Nicronix	Kg	1.400	11.494	3.74	60.183
13	Antracol	Lt	0.420	8.003	3.74	12.572
14	Agua	M3	8750.000	0.026	3.74	841.033
TOTAL						8,693.454

Unidad Medida	Cantidad	costo
Kg	36,542	7,315.961
Lt	4.935	536.460
M3	8,750	841.033
TOTAL		8,693.454

GAMA PERUVIAN COMPANY S.A.C.

Nelson Duilio Guibovich Villanueva
Gerente General

Nota: Compras de insumos agropecuarios para la producción de Esparragos x Hectarea del año 2024 visado por el Gerente General Guibovich Villanueva Nelson Duilio

Figura 74.**COMPRAS DE INSUMOS AGROPECUARIOS - AÑO 2025****COMPRAS DE INSUMOS AGROPECUARIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ESPARRÁGOS X
HECTARÍA - AÑO 2025**

Nº	Descripción	Unidad Medida	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Tipo de Cambio (S/3.74)	TOTAL (S/.)
1	Cloruro de Potasio	Kg	150.000	0.420	3.74	235.452
2	Guano Vacuno	Kg	22500.000	0.027	3.74	2,238.39
3	Urea	Kg	525.000	0.472	3.74	926.968
4	Acido Fosfórico	Kg	240.000	0.944	3.74	847.424
5	Fetrilon Combi	Kg	3.000	22.951	3.74	257.508
6	Azufre	Kg	13.770	0.492	3.74	25.328
7	Kocide	Kg	0.510	9.854	3.74	18.796
8	Folicur	Lt	1.770	9.445	3.74	62.524
9	Select	Lt	0.450	73.889	3.74	124.355
10	Agrotim	Lt	0.100	80.046	3.74	62.868
11	Sumi-8	Lt	0.420	75.530	3.74	118.643
12	Nicronix	Kg	1.200	11.494	3.74	51.585
13	Antracol	Lt	0.360	8.003	3.74	10.776
14	Agua	M3	7500.000	0.026	3.74	720.885
TOTAL						5,701.502

Unidad Medida	Cantidad	costo
Kg	23,433	4,601.451
Lt	3.1	379.166
M3	7,500	720.885
TOTAL		5,701.502

GAMA PERUVIAN COMPANY S.A.C.

 Nelson Duilio Guibovich Villanueva
 GERENTE GENERAL

Nota: Compras de insumos agropecuarios para la producción de Esparragos x Hectarea del año 2025 visado por el Gerente General Guibovich Villanueva Nelson Duilio

ANEXO N° 04 - CÓDIGO FUENTE DEL CONTEO DE CULTIVOS MEDIANTE RED NEURONAL

El siguiente código implementa una Red Neuronal Convolutiva o mejor representada por sus siglas CNN, ha sido entrenada para detectar y contar cultivos a partir de ortomosaicos que fueron generadas previamente con las imágenes que captura el Vehículo Aéreo no Tripulado.

El código ha sido desarrollado utilizando bibliotecas de Visión Computacional y aprendizaje profundo, y se aplica en específico a las parcelas agrícolas delimitadas con coordenadas por GPS.

Los resultados obtenidos permiten identificar la ubicación y el número aproximado de cultivos que se encuentran presentes, lo cual facilita en la gestión con más precisión del terreno que se analiza.

```
# Importación de librerías necesarias
```

```
%matplotlib inline
```

```
import matplotlib.pyplot as plt      # Visualización de datos
```

```
import geopandas as gpd            # Manejo de datos geoespaciales (shapefiles)
```

```
import rasterio                    # Lectura de archivos raster geográficos (imágenes  
georreferenciadas)
```

```
from rasterio.plot import show      # Herramientas de visualización de raster
```

```
from skimage.feature import match_template # Algoritmo de template matching  
(coincidencia de patrones)
```

```
import numpy as np                 # Manipulación de arreglos numéricos
```

```
from PIL import Image              # Procesamiento de imágenes
```

```

# Carga del dataset geoespacial de puntos (shapefile)

# Este archivo 'pointData.shp' fue generado a partir de la digitalización manual de los cultivos
# visibles en el ortomosaico generado por dron. Se utiliza como referencia para el
entrenamiento del algoritmo.

pointData = gpd.read_file('Shp/pointData.shp')

print('CRS of Point Data: ' + str(pointData.crs)) # Sistema de referencia de coordenadas del
shapefile

# Carga del ortomosaico generado por el dron DJI Phantom 3 Standard

# Este archivo .tif representa una imagen aérea georreferenciada del terreno de cultivo.

palmRaster = rasterio.open('Rst/odm_orthophoto.tif')

print('CRS of Raster Data: ' + str(palmRaster.crs))

print('Number of Raster Bands: ' + str(palmRaster.count))

print('Interpretation of Raster Bands: ' + str(palmRaster.colorinterp))

# Visualización conjunta de los puntos de referencia y el ortomosaico

fig, ax = plt.subplots(figsize=(18,18))

pointData.plot(ax=ax, color='orangered', markersize=100)

show(palmRaster, ax=ax)

# Selección de la banda verde (índice 2) para análisis de vegetación

greenBand = palmRaster.read(2)

```

```
# Conversión de las coordenadas geográficas de cada punto de referencia a índices de
filas/columnas en el raster
```

```
surveyRowCol = []
```

```
for index, values in pointData.iterrows():
```

```
    x = values['geometry'].xy[0][0]
```

```
    y = values['geometry'].xy[1][0]
```

```
    row, col = palmRaster.index(x,y)
```

```
    print("Point N°:%d corresponds to row, col: %d, %d"%(index,row,col))
```

```
    surveyRowCol.append([row,col])
```

```
# Número de imágenes de plantilla que se usarán para el reconocimiento
```

```
print('Number of template images: %d'%len(surveyRowCol))
```

```
# Definición del radio (en píxeles) del área que se extraerá alrededor de cada punto de
referencia
```

```
radio = 20
```

```
# Visualización de cada una de las áreas seleccionadas como referencia dentro de la imagen
```

```
fig, ax = plt.subplots(1, len(surveyRowCol),figsize=(20,5))
```

```
for index, item in enumerate(surveyRowCol):
```

```
    row = item[0]
```

```
    col = item[1]
```

```
    ax[index].imshow(greenBand)
```

```

ax[index].plot(col,row,color='red', linestyle='dashed', marker='+',
              markerfacecolor='blue', markersize=8)

ax[index].set_xlim(col-radio,col+radio)

ax[index].set_ylim(row-radio,row+radio)

ax[index].axis('off')

ax[index].set_title(index)

# Generación de plantillas de imagen (original y rotadas) para aplicar el algoritmo de
coincidencia

listarResultados = []

templateBandList = []

for rowCol in surveyRowCol:

    imageList = []

    row = rowCol[0]

    col = rowCol[1]

    # Imagen central del cultivo

    imageList.append(greenBand[row-radio:row+radio, col-radio:col+radio])

    # Rotaciones de la misma imagen (simulación de variaciones de orientación del cultivo)

    templateBandToRotate = greenBand[row-2*radio:row+2*radio, col-2*radio:col+2*radio]

    rotationList = [i*30 for i in range(1,4)] # Rotaciones de 30°, 60° y 90°

    for rotation in rotationList:

```

```

rotatedRaw = Image.fromarray(templateBandToRotate)

rotatedImage = rotatedRaw.rotate(rotation)

imageList.append(np.asarray(rotatedImage)[radio:-radio,radio:-radio])

# Se agrega la lista de imágenes (original + rotadas) para cada punto de entrenamiento

fig, ax = plt.subplots(1, len(imageList),figsize=(12,12))

templateBandList.append(imageList)

# Aplicación del algoritmo de coincidencia de plantillas en la imagen original

# Este paso busca encontrar cultivos similares en toda la imagen

matchXYList = []

for index, templateband in enumerate(templateBandList):

    if index%10 == 0:

        print('Match template ongoing for figure N° %d'%index)

        matchTemplate = match_template(greenBand, templateband, pad_input=True)

        matchTemplateFiltered = np.where(matchTemplate>np.quantile(matchTemplate,0.9996))

        for item in zip(matchTemplateFiltered[0],matchTemplateFiltered[1]):

            x, y = palmRaster.xy(item[0], item[1])

            matchXYList.append([x,y])

# Visualización de los puntos encontrados por el algoritmo sobre el ortomosaico

fig, ax = plt.subplots(figsize=(20, 20))

```

```

matchXYArray = np.array(matchXYList)

ax.scatter(matchXYArray[:,0],matchXYArray[:,1], marker='o',c='orangered', s=100,
alpha=0.5)

show(palmRaster, ax=ax)

# Aplicación del algoritmo de clustering BIRCH para eliminar duplicados y agrupar
detecciones cercanas

from sklearn.cluster import Birch

brc = Birch(branching_factor=10000, n_clusters=None, threshold=2e-5,
compute_labels=True)

brc.fit(matchXYArray)

birchPoint = brc.subcluster_centers_ # Resultado final: coordenadas únicas por cultivo
identificado

# Visualización de los puntos agrupados (conteo final de cultivos)

fig = plt.figure(figsize=(20, 20))

ax = fig.add_subplot(111)

ax.scatter(birchPoint[:,0],birchPoint[:,1], marker='o',color='orangered',s=100)

show(palmRaster, ax=ax)

plt.show()

# Exportación de los puntos detectados a un archivo .csv para análisis posterior

np.savetxt("Txt/birchPoints.csv", birchPoint, delimiter=",")

```

ANEXO N° 05- ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL ALGORITMO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL ESPECTRO DE LUZ VISIBLE

Para analizar la factibilidad económica del algoritmo en un ambiente real se tiene que tener en cuenta el costo de Inversión, los costos operativos y los beneficios, con dichos datos se tiene que calcular los siguientes indicadores económicos: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), y el Beneficio/Costo; para considerar que es económicamente factible se tiene que cumplir lo siguiente:

- * $VAN > 0$
- * $TIR > i$
- * $B/C > 1$

Considerando todo lo anterior, procederemos a realizar el análisis de factibilidad económica.

1. Costos de Inversión

A. Hardware

Tabla 36
Costo de Hardware

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB - TOTAL (S/.)
Computadora de Escritorio: Lenovo V530s	1	S/. 2,399.00	S/. 2,399.00
Celular Xiaomi Mi 12 T PRO	1	S/. 2,399.26	S/. 2,399.26

Vehículo	Aéreo	no			
Tripulado:	Phanton	3	1	S/. 1,799.00	S/. 1,799.00
Proffesional					
Impresora	Epson		1	S/. 450.00	S/. 450.00
Workforce WF-2630WF					
Estabilizador			1	S/. 79.59	S/. 79.59
TOTAL (S/.)					S/. 7,126.85

Nota: Se visualiza en costo del hardware que se requiere para la realización del algoritmo.

B. Software

Tabla 37
Costo del Software

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO	
		UNITARIO (S/.)	SUB - TOTAL (S/.)
Licencia del Sistema Operativo Windows 10 Home(Free).	1	S/. 00.00	S/. 00.00
Licencia del LTSC Office 2021.	1	S/. 00.00	S/. 00.00
TOTAL (S/.)			S/. 00.00

Nota: Se indica en la presente tabla el costo del software que es necesario para la implementación del algoritmo.

C. Mobiliario

No se generan costos por departe de los mobiliarios, debido a que la empresa cuanta con mobiliarios disponibles para el hardware.

D. Costo de Desarrollo

- **Costo de Recursos Humanos**

Tabla 38

Investigador	Cantidad	Monto	<i>Costo Recursos Humanos</i>
Leo Yair Campos Amaya	1	S/. 1,000.00	
Reinjar Andree Velarde Zimic	1	S/. 1,000.00	
TOTAL (S/.)		S/. 2,000.00	

Nota: En la presente table se indica el costo por recursos humanos por parte de los investigadores.

- **Costo de Insumos**

Tabla 39
Costo Insumo

Recurso	Unidad	Cantidad	Costo	Sub – Total
			Unitario (S/.)	(S/.)
Papel Bond A4	Millar	1	S/. 18.00	S/. 18.00
Tóner HP	Unidad	1	S/. 21.00	S/. 21.00
Memoria USB	Unidad	1	S/. 32.00	S/. 32.00
Otros	Material	1	S/. 50.00	S/. 50.00
			Total (S/.)	S/. 121.00

Nota: Se presenta los costó de los insumos necesarios para un correcto desarrollo del algoritmo.

- **Costo de Energía**

Tabla 40
Costo Energía

Equipo	Cantidad	Hora / Día	Kw/ Hora	Días al año	Sub – Total (S/.)
Computadora de Escritorio	1	8	0.4	40	S/. 128.00
Celular Huawei Xiaomi MI 12T PRO	1	1	0.3	40	S/. 12.00

Vehículo					
Aéreo no					
Tripulado:	1	1	0.6	40	S/. 12.00
Phanton 3					
Profesional					
Impresora					
Epson	1	8	0.2	40	S/. 64.0
Workforce					
WF-2630WF					
Total (S/.)					S/. 216.00

Nota: Consumo de energía de cada instrumento utilizado para la realización del algoritmo

- **Costo de Servicio**

Tabla 41
Costo Servicio

Equipo	Proveedor	Mb	Costo Unitario (S/.)	Cantidad de meses	Total (S/.)
Internet	Claro	100	S/. 00.00	6	S/. 00.00

Nota: Costo por servicios(internet)

E. Resumen del Costo de Inversión

Tabla 42
Costo de Inversión Total

RUBRO	SUB – TOTAL (S/.)
Hardware	S/. 7,126.85
Software	S/. 00.00
Mobiliario	S/. 00.00
Costo de desarrollo	
• C. Recursos Humanos	S/. 2,000.00
• C. Insumos	S/. 121.00
• C. Energía	S/. 216.00
• C. Servicios	S/. 00.00
TOTAL	S/. 9,463.85

Nota: Cuadro resumen de la inversión Total

2. Costos Operativos

A. Costo de Recursos Humanos

Tabla 43
C.O. Recursos Humanos

Descripción	Costo Mensual (S/.)	Meses por Año	Total
Técnico Externo	S/. 600.00	3	S/. 1800.00
Técnico Operador y analista de Información	S/. 2,150.00	12	S/.25,800.00

TOTAL S/. 27,600.00

Nota: Cuadro de los costos operativos de Recursos Humanos

B. Costo de Insumos

Tabla 44
C.O. Costo de Insumos

Recurso	Unidad	Cantidad	Costo	Sub – Total
		Anual	Unitario (S/.)	(S/.)
Papel Bond A4	Millar	2	S/. 18.00	S/. 36.00
Tóner HP (Recarga)	Unidad	3	S/. 21.00	S/. 63.00
Total (S/.)				S/. 99.00

Nota: Cuadro de los costos operativos de los costos por insumos

C. Costo de Energía

Tabla 45
C.O. Energía

Equipo	Cantidad	Hora / Día	Kw/ Hora	Días al año	Sub – Total (S/.)
Computadora de Escritorio	1	8	0.4	265	S/. 848.00
Celular Huawei Xiaomi MI 12T PRO	1	1	0.3	265	S/. 79.5.00
Vehículo Aéreo no Tripulado: Phanton 3 Proffesional	1	1	0.6	265	S/. 159.00

Impresora	Epson					
Workforce	WF-	1	8	0.2	265	S/. 424.00
2630WF						
Total (S/.)						S/. 1,510.50

Nota: Cuadro de los costos operativos de los costos por consumo de energía.

D. Costo de Mantenimiento

Tabla 46
C.O. Mantenimiento

Descripción	Costo		Cantidad	Meses por Año	Sub- Total
	Mensual (S/.)				
Computadora de Escritorio	S/. 00.00		1	3	S/. 00.00
Celular Huawei Y7 2019	S/. 00.00		1	3	S/. 00.00
Vehículo Aéreo no Tripulado: Phantom 3	S/. 00.00		1	3	S/. 00.00
Profesional					
Impresora Epson Workforce WF- 2630WF	S/. 00.00		1	3	S/. 00.00
Total					S/. 00.00

Nota: Cuadro de los costos operativos de los costos por mantenimiento de los equipos

E. Depreciación

Tabla 47
Depreciación

Descripción	Costo (S/.)	Cantidad	Depreciación	Sub – Total (S/.)
Computadora de				
Escritorio: Lenovo V530s	1	S/. 2,399.00	0.10	S/. 239.90
Celular Xiaomi Mi 12 T PRO	1	S/. 2,399.26	0.10	S/. 239.93
Vehículo Aéreo no Tripulado: Phantom 3 Proffesional	1	S/. 1,799.00	0.10	S/. 179.90
Impresora Epson Workforce WF- 2630WF	1	S/. 450.00	0.20	S/. 90.0
Estabilizador	1	S/. 79.59	0.05	S/. 3.98
Total (S/.)				S/. 753.71

Nota: Cuadro de los costos operativos de los costos por depreciación de los activos

3. Beneficios

A. Beneficios Tangibles

- Se considera la reducción de personal (jornalero) debido a que se contrataba de forma constante a 5 jornaleros durante el periodo de 6 meses durante 2 periodos al año para realizar toda la labor del cuidado del cultivo, así mismo con la implementación del algoritmo se vio que la necesidad de reducir 2 jornaleros

para realizar dichas labores, por lo cual se refleja como un beneficio para la empresa, así como se indica en la Tabla 18.

- Tal como se muestra en la Tabla 33, se considera una reducción de los insumos agropecuarios en un 34.42 % el cual equivale a S/. 32,991.953 soles peruanos, el cual es un beneficio para la empresa en el periodo de un año.

Tabla 48
Beneficios Tangibles

Concepto	Cantidad	Costo por Mes (S/.)	Meses al Año	Gasto Anual (S/.)
Reducción de Personal (jornalero)	2 und	S/. 900.00	6	S/. 10,800.00
Insumos agropecuarios	El detallado del ahorro de los insumos agropecuarios se visualiza en el punto 4.4. En relación a la Dimensión 4 “Gestión de Insumos”			S/. 32,991.953
TOTAL				S/. 43,791.953

Nota: Cuadro de los beneficios tangibles que recibe la empresa.

B. Beneficios Intangibles

- Reduce el tiempo requerido para realizar el recorrido y cuidado correspondiente a los cultivos.
- Aumenta la eficacia del uso de los insumos agropecuarios y su correcta optimización para economizar en su utilización.
- Lograr que la empresa esté utilizando de forma más eficiente las herramientas tecnológicas que se aplica en la agricultura (agricultura de precisión)
-

4. Flujo de Caja

Tabla 49
Flujo de caja

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2
1. INVERSIÓN			
1.1. Hardware	S/. 7,126.85		
1.2. Software	S/. 00.00		
1.3. Mobiliario	S/. 00.00		
1.4. Costo de Desarrollo			
1.4.1. C. Recursos Humanos	S/. 2,000.00		
1.4.2. C. Insumos	S/. 121.00		
1.4.3. C. Energía	S/. 216.00		
1.4.4. C. Servicios	S/. 00.00		
TOTAL COSTO DE INVERSIÓN	S/. 9,463.85		
2. BENEFICIOS			
2.1. Reducción de Personal		S/. 43,791.953	S/. 43,791.953
TOTAL DE BENEFICIOS		S/. 43,791.953	S/. 43,791.953
3. COSTOS OPERACIONALES			
3.1. C.O. Recursos Humanos		S/. 27,600.00	S/. 27,600.00
3.2. C.O. Insumos		S/. 99.00	S/. 99.00
3.3. C.O. Energía		S/. 1,510.50	S/. 1,510.50
3.4. C.O. Mantenimiento		S/. 00.00	S/. 00.00
3.5. C.O. Depreciación		S/. 753.71	S/. 89.95
TOTAL DE COSTOS OPERACIONALES		S/. 29,963.21	S/. 29,963.21
BENEFICIO NETO	(9,463.85)	13,828.74	13,828.74

Nota: Se visualiza el flujo de caja al terminar de detallar todos los gastos y beneficios que se obtiene al término del desarrollo del algoritmo

5. Indicadores Económicos

5.1. Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN), se encarga de comparar los ingresos con los egresos del proyecto, según como se muestra en la Tabla 26 del presente proyecto se consideró la evaluación por 2 años. con una tasa anual del 18%, que es el Interés por defecto del Sistema Económico Peruano.

$$VAN = -I_0 + \frac{(B - C)}{(1 + I)^1} + \frac{(B - C)}{(1 + I)^2} + \dots + \frac{(B - C)}{(1 + I)^n}$$

Reemplazando Datos

$$VAN = -9463.85 + \frac{(43791.953 - 29963.21)}{(1 + 0.18)^1} + \frac{(43791.953 - 29963.21)}{(1 + 0.18)^2}$$

$$VAN = -9463.85 + \frac{(13828.743)}{1.18} + \frac{(13828.743)}{1.39}$$

$$VAN = -9463.85 + 11719.27 + 9948.74$$

$$VAN = S/. 12204.16$$

5.2. Valor Presente de Beneficio

$$VpB = \frac{(B)}{(1 + i)^1} + \frac{(B)}{(1 + i)^2} + \dots + \frac{(B)}{(1 + i)^n}$$

Reemplazando Datos

$$VpB = \frac{(43791.953)}{(1 + 0.18)^1} + \frac{(43791.953)}{(1 + 0.18)^2}$$

$$VpB = \frac{(11383.34)}{1.18} + \frac{(11383.34)}{1.39}$$

$$VpB = 37111.82 + 31505.00$$

$$VpB = S/.68616.82$$

5.3. Valor Presente de Costo

$$VpC = I_0 \frac{(C)}{(1+i)^1} + \frac{(C)}{(1+i)^2} + \dots + \frac{(C)}{(1+i)^n}$$

Reemplazando Datos

$$VpC = 9463.85 + \frac{(29963.21)}{(1+0.18)^1} + \frac{(29963.21)}{(1+0.18)^2}$$

$$VpC = 9463.85 + \frac{(29963.21)}{1.18} + \frac{(29963.21)}{1.39}$$

$$VpC = 9463.85 + 25392.55 + 21556.27$$

$$VpC = S/.56412.67$$

Beneficio / Costo

$$\frac{VpB}{VpC}$$

Reemplazando Datos

$$\frac{S/.68616.83}{S/.56412.67} = S/.1.22$$

Calculando el beneficio sobre costo se puede entender que por cada sol que se va a invertir se obtendrá una ganancia de S/. 0.22

5.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Tabla 50
Calculo del TIR

AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2
-9,463.85	13,828.74	13,828.74

Nota: Se calculo el TIR mediante archivo .xlsx

TIR = 114%

Figura 75
Calculo de la Tasa Interna de Retorno

	A	B	C
1			
2			
3			
4		-9463.85	
5		13828.74	
6		13828.74	
7		114%	
8			
9			
10			

Nota: Para calcular el TIR nos apoyamos de los cálculos en Excel en base a los datos obtenidos en la Tabla 49 que se denomina Flujo de Caja

5.5. Periodo de Recuperación

$$PERIODO = \frac{(1 + TIR)^N - 1}{TIR(1 + TIR)^N}$$

Reemplazando Datos

$$PERIODO = \frac{(1 + 0.114)^2 - 1}{0.114(1 + 0.114)^2}$$

$$PERIODO = \frac{(1.114)^2 - 1}{0.114(1.114)^2}$$

$$PERIODO = \frac{1.24 - 1}{0.114 * 1.24}$$

$$PERIODO = \frac{0.24}{0.14}$$

$$PERIODO = 1.71 \text{ años}$$

$$1.70 \text{ años} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 616 \text{ días}$$

El presente proyecto es factible económicamente si cumple lo siguiente:

- * VAN > 0
- * TIR > i
- * B/C > 1

Verificamos los ítems:

- * VAN = S/. 12204.16 > 0
- * TIR = 114% > 18%
- * B/C = 1.22 > 1

Una vez los ítems anteriores se verifican que cumplen, entonces pasaremos a decir que el presente proyecto es económicamente factible.

ANEXO N° 06 – IMÁGENES DE LAS CAPTURAS QUE REALIZO EL VEHICULO AÉREO NO TRIPULADO

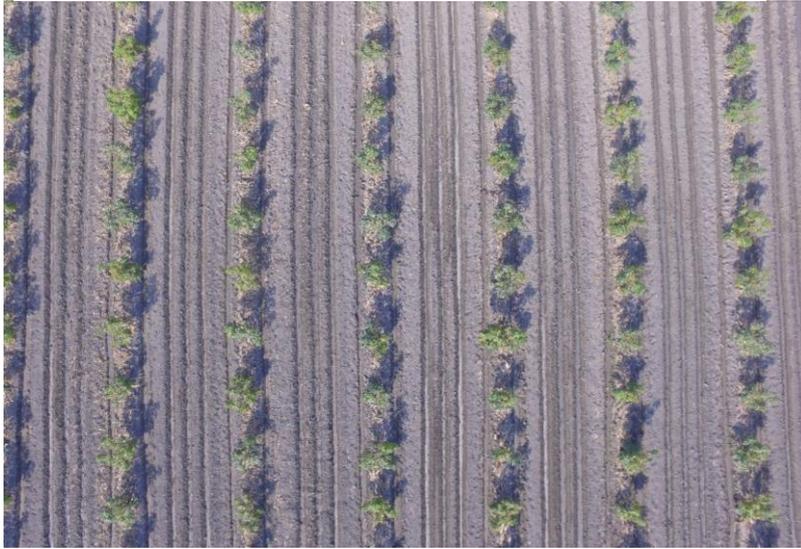
En el presente anexo se muestra algunas de las imágenes tomadas desde el Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT) al realizar su recorrido sobre el cultivo, estas imágenes que son tomadas por el VANT corresponden a un total de 272 imágenes, para fines del presente anexo se está considerando 7 imágenes de las tomas áreas que se realizó en campo.

Figura 76
Imagen Georreferencia del Cultivo N°01



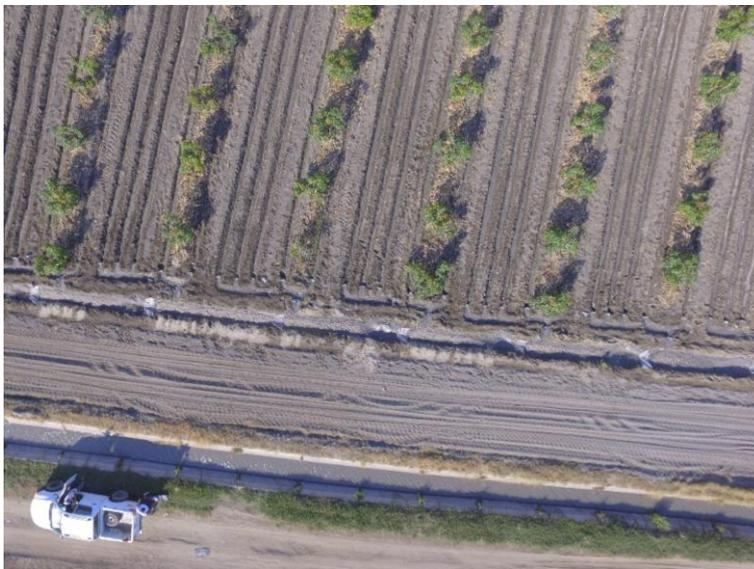
Nota: Imagen tomada desde el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado, en las pruebas de funcionamiento del algoritmo

Figura 77
Imagen Georreferencia del Cultivo N°02



Nota: Imagen tomada desde el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado, en las pruebas de funcionamiento del algoritmo

Figura 78
Imagen Georreferencia del Cultivo N°02



Nota: Imagen tomada desde el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado, en las pruebas de funcionamiento del algoritmo

Figura 79
Imagen Georreferencia del Cultivo N°03



Nota: Imagen tomada desde el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado, en las pruebas de funcionamiento del algoritmo

Figura 80
Imagen Georreferencia del Cultivo N°04



Nota: Imagen tomada desde el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado, en las pruebas de funcionamiento del algoritmo

Figura 81
Imagen Georreferencia del Cultivo N°04



Nota: Imagen tomada desde el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado, en las pruebas de funcionamiento del algoritmo

Figura 82
Imagen Georreferencia del Cultivo N°04



Nota: Imagen tomada desde el vuelo del Vehículo Aéreo no Tripulado, en las pruebas de funcionamiento del algoritmo