

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA CON
RPA PARA UBICAR LOS POZOS CONSTRUÍDOS
EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA
DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Karl Augusto Custodio Melendez

Asesor:

Mg. Edmundo Vereau Miranda

<https://orcid.org/0000-0003-1984-1734>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	JOSE LUIS NEYRA TORRES	21454204
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	ERICK HUMBERTO RABANAL CHAVEZ	42009981
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 3	RUBEN KEVIN MANTURANO CHIPANA	46905022
	Nombre y Apellidos	N° DNI











INFORME DE SIMILITUD



Document Information

Analyzed document	Tesis_ Karl Custodio_ V8.pdf (D158193397)
Submitted	2023-02-08 22:22:00
Submitted by	Edmundo Vereau
Submitter email	edmundo.vereau@upn.edu.pe
Similarity	4%
Analysis address	edmundo.vereau.delnor@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Privada del Norte / MarinEscalante Jorge Sixto_VilelaCabada JoseWilson.docx Document MarinEscalante Jorge Sixto_VilelaCabada JoseWilson.docx (D120843386) Submitted by: yvan.huaricallo@upn.pe Receiver: yvan.huaricallo.delnor@analysis.orkund.com	 1
SA	TFG_EvaAV.pdf Document TFG_EvaAV.pdf (D142238571)	 1
W	URL: https://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia#3 Fetched: 2023-02-08 22:22:00	 5
SA	Sánchez Cidoncha, Javier (53261555H).pdf Document Sánchez Cidoncha, Javier (53261555H).pdf (D139269447)	 1
SA	1485884962_604__G2_Investigacion.docx Document 1485884962_604__G2_Investigacion.docx (D25417627)	 4
SA	TFT_Betancourt_Jumbo_URKUND.docx Document TFT_Betancourt_Jumbo_URKUND.docx (D148797338)	 2
W	URL: https://blog.foto24.com/distancia-focal-objetivo/ Fetched: 2023-02-08 22:22:00	 2
W	URL: https://volandocondrones.com/drones-mas-rapidos/ Fetched: 2023-02-08 22:22:00	 1
W	URL: https://slideplayer.es/slide/11194730/ Fetched: 2023-02-08 22:22:00	 1
SA	TMMMT_ fotogrametria aerea y terrestre_ Hammer Ojedavf.pdf Document TMMMT_ fotogrametria aerea y terrestre_ Hammer Ojedavf.pdf (D131784149)	 1

Entire Document

<https://secure.orkund.com/view/151037603-416794-472397#/>

1/24

DEDICATORIA

A Dios y a mi esposa.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1 Realidad problemática	11
1.2 Formulación del problema	39
1.3 Objetivos	39
1.4 Hipótesis	40
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	41
2.1 Ubicación y extensión	41
2.2 Variables	42
2.3 Tipo y nivel de Investigación	43
2.4 Diseño de investigación	43
2.5 Población y Muestra	43
2.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
2.7 Análisis de datos	44
2.8 Construcción de Pozos	51
2.9 Procedimiento	55

2.10	Consideraciones Éticas	60
CAPÍTULO III: RESULTADOS		62
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		74
REFERENCIAS		78
ANEXOS		80
	Anexo A. Especificaciones del RPA Phantom 4 Pro DJI	80
	Anexo B. Parámetros de procesamiento	81
	Anexo C. Matriz de Consistencia	83
	Anexo D. Exportación de puntos a formato DXF	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ubicación política de la Cuenca del Rio Pisco.</i>	14
Tabla 2 <i>Ubicación Administrativa de la Cuenca del Rio Pisco.</i>	15
Tabla 3 <i>Principales Características Geomorfológicas.</i>	15
Tabla 4 <i>Tipos de pozo en la cuenca de Pisco.</i>	23
Tabla 5 <i>Clasificación de los RPA</i>	31
Tabla 6 <i>Coordenadas de ubicación UTM.</i>	41
Tabla 7 <i>Velocidad máxima de RPA.</i>	47
Tabla 8 <i>Parámetros de vuelo.</i>	58
Tabla 9 <i>Datos iniciales.</i>	62
Tabla 10 <i>Tabla de informe de las cámaras.</i>	64
Tabla 11 <i>Tabla de coeficientes de calibración y matriz de correlación.</i>	65
Tabla 12 <i>Errores medios de las posiciones de cámaras.</i>	66
Tabla 13 <i>Nube de puntos densa.</i>	66
Tabla 14 <i>Mapa de profundidad.</i>	67
Tabla 15 <i>Parámetros de texturizado.</i>	68
Tabla 16 <i>Datos de Teselas.</i>	69
Tabla 17 <i>Datos del Modelo digital de elevación.</i>	70
Tabla 18 <i>Datos del Ortomosaico.</i>	71
Tabla 19 <i>Datos de Pozos a tajo abierto.</i>	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Localización de la Cuenca del rio Pisco</i>	12
Figura 2	<i>Ubicación de la cuenca del rio Pisco</i>	14
Figura 3	<i>Histograma de temperatura del rio Pisco</i>	16
Figura 4	<i>Precipitación acumulada del rio Pisco</i>	17
Figura 5	<i>Agua subterránea</i>	19
Figura 6	<i>Acuíferos</i>	20
Figura 7	<i>Pozo tubular</i>	21
Figura 8	<i>Pozo mixto</i>	22
Figura 9	<i>Pozo a tajo abierto</i>	22
Figura 10	<i>Fotogrametría</i>	24
Figura 11	<i>Fototeodolito-de-Laussedat</i>	25
Figura 12	<i>Restituidor Analógico</i>	26
Figura 13	<i>Restituidor Digital</i>	27
Figura 14	<i>Historia de la fotogrametría</i>	27
Figura 15	<i>Tipos y modelos de RPA</i>	28
Figura 16	<i>Software Agisoft Metashape</i>	32
Figura 17	<i>Software Pix4D</i>	35
Figura 18	<i>Área de estudio</i>	42
Figura 19	<i>Altura de vuelo</i>	44
Figura 20	<i>Traslape longitudinal y transversal de imágenes</i>	45
Figura 21	<i>Relación entre distancia focal y ángulo de visión.</i>	46
Figura 22	<i>DJI Ronin-MX Gimbal Estabilizador</i>	47
Figura 23	<i>Orientación de fotos interna</i>	48
Figura 24	<i>Orientación de fotos externa</i>	48
Figura 25	<i>Percusión directa</i>	49
Figura 26	<i>Rotación con circulación directa</i>	53
Figura 27	<i>Perforación rotatoria con circulación invertida</i>	54
Figura 28	<i>Perforación manual</i>	55
Figura 29	<i>Software DroneDeploy</i>	55
Figura 30	<i>Plan de Vuelo en Google Earth</i>	56
Figura 31	<i>Plan de Vuelo en el software DroneDeploy</i>	57
Figura 32	<i>RPA Phantom 4 Pro DJI</i>	58

Figura 33	<i>Zona de exclusión aérea</i>	59
Figura 34	<i>Vista parcial del vuelo con RPA</i>	60
Figura 35	<i>Diagrama de posproceso</i>	61
Figura 36	<i>Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.</i>	63
Figura 37	<i>Detalle de imágenes y nube de punto dispersa</i>	64
Figura 38	<i>Nube de punto densa</i>	67
Figura 39	<i>Malla</i>	68
Figura 40	<i>Textura</i>	69
Figura 41	<i>Modelo digital de elevación</i>	71
Figura 42	<i>Ortomosaico</i>	72
Figura 43	<i>Ubicación de Pozos a tajo abierto</i>	73
Figura 44	<i>Fotogrametría con RPA</i>	75
Figura 45	<i>Modelo en tres dimensiones</i>	76
Figura 46	<i>Zona de la Cuenca del río Pisco</i>	76
Figura 47	<i>Detalle de pozo encontrado</i>	77

RESUMEN

El agua subterránea es un recurso limitado que debemos cuidar sobre todo en la costa del Perú y que viene siendo sobre explotado principalmente por la agroindustria y el uso comercial.

El uso de la fotogrametría mediante vuelos de RPA modelo Phantom 4 Pro DJI equipado con cámara FC6310 a una altura de 90.00m y el posterior posprocesamiento mediante software Agisoft Metashape que construye modelos en tres dimensiones permitió ubicar ocho (8) pozos de agua subterránea en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco en un área de 78.20 Ha.

Los principales resultados fueron: Se procesaron 992 imágenes, la Resolución del terreno (GSD) de 2.35 cm/pix, error en X(Este)= 3.675m, Y(Norte)= 1.181m, Z(Altura)= 1.129 m, XY(terreno)= 3.86m, suficiente para un trabajo óptimo.

PALABRAS CLAVES: RPA (Aeronaves pilotadas a distancia), Fotogrametría, Pozos de agua subterránea, Cuenca de río.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Auge (2006) Manifiesta que el agua en general y el agua subterránea en particular es un recurso limitado en nuestro planeta, del total general alrededor del 3% lo constituyen el agua dulce de éstos el 2% se encuentran en los casquetes polares, el 0.5% del total es de agua subterránea y solo el 0.02% es de agua superficial y entre el agua del suelo y la atmosférica componen más del 0.01 % del total. Esto constituye un reto el controlar y cuidar los niveles de las aguas subterráneas y protegerlos de diversos tipos de contaminación como los pesticidas, relaves de minas, la sobreutilización y otros factores haciendo la labor muy difícil precisamente porque no se ve.

Oré, Bayer, Chiong y Rendón (2014). Explican que en el Perú donde se localiza la Cuenca del río Pisco, como vemos en la figura 1, sufrimos de una distribución irregular del agua, mientras que en la selva perteneciente a la vertiente del Océano Atlántico hay un exceso de agua, en cambio en la costa perteneciente a la vertiente del Océano Pacífico hay un déficit y sobreexplotación de agua superficial y agua subterránea esto se debe a la densidad demográfica de la población centralizada en la costa y principalmente en Lima. El 30% de la superficie del Perú corresponde a zonas áridas en ese espacio se desarrolla mayormente la agricultura comercial, y allí los ecosistemas de la costa se afectan, sobre todo, por procesos rápidos al ejecutar modelos de desarrollo no sostenibles; al desierto lo convierten en campos de cultivo, incrementando la frontera agrícola lo que les hacen más vulnerables al cambio climático. La explotación del acuífero de Ica, el más importante del Perú por su importancia agroexportador, comenzó a incrementarse en los noventa, al introducirse en el valle cultivos nuevos como el espárrago, páprika, alcachofas, uva red globe, arándanos etcétera, todos ellos productos de gran demanda en el mercado

internacional. Al operar nuevas empresas agroexportadoras nacionales e internacionales la producción necesitaba de tecnología muy moderna de riego que utiliza el agua del subsuelo, es decir agua subterránea, que tiene la propiedad de alta calidad, pureza y, en especial, por su uso permanente. Este milagro agroexportador se fue consolidando a principios del presente siglo, lo que ubicó a Ica como el principal valle agroexportador del país; y al espárrago, como su producto estrella. Un aspecto poco conocido del auge agroexportador del valle de Ica son sus efectos ambientales en el ecosistema de una zona árida de la costa —el acuífero— en la generación de nuevos tipos de conflictos socioambientales en el valle y la cuenca. El cauce del río Pisco es una opción para suplir estas necesidades, razón por la cual se hace necesario monitorear y hacer un seguimiento al uso que se le da a esta cuenca.

Figura 1

Localización de la Cuenca del río Pisco



Nota: La Cuenca del río Pisco se encuentra localizado en los departamentos de Ica y Huancavelica. Fuente: Tomado de Google Earth Pro (2022).

Río Pisco

En su informe ANA (1999), especifica que el río Pisco tiene su origen en la confluencia de los ríos Chiris y Huaytará específicamente en las lagunas de Pultoc a la altura de la localidad de Pampa. El río Chiris, que constituye el principal formador, se origina a su vez en la parte más alta de la cuenca en la unión de los ríos Santa Ana y Luicho, a su vez éstos se alimentan de las descargas de lagunas entre las que destacan las de Pultoc, Agnocochoa y Tacocochoa.

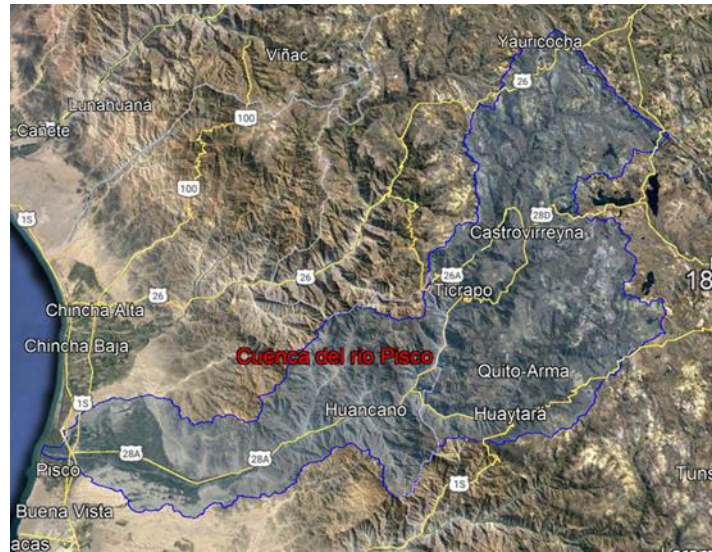
El ANA (1999), describe al río Pisco con un régimen hidrológico muy irregular, de extrema escases en los meses de estiaje (abril a diciembre) y caudaloso en los meses de máxima avenida (enero a marzo). La máxima descarga del río registrado en la estación de Letrayoc ha sido 536.04 m³/seg. Y la mínima de 0.55 m³/seg. La descarga media anual ha sido calculada en 25.61 m³/seg. Que representa un rendimiento medio anual, para la cuenca húmeda de 295,000 m³/km². La fisiografía escarpada de la cuenca receptora, así como su bajo poder de retención, a consecuencia de la escasa cobertura vegetal, determinan que la precipitación se convierta en descarga superficial.

La cuenca del río Pisco cuenta con algunas lagunas represadas que aportan caudales regulados durante el periodo de estiaje, presenta una superficie de 4,209.00 km², según el “Estudio de Delimitación y Codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú”, aprobado con Resolución Ministerial N° 033-2008-AG. Ver en la figura 1.

Constituyen fuentes de aguas superficiales (Lecho de río, canales principales y secundarios) y las fuentes de aguas subterráneas, representadas por la red de pozos, manantiales o cochas y la red de drenaje. Este sistema constituye la Cuenca del río Pisco, ubicado entre los departamentos de Huancavelica e Ica, como se observa en la figura 2.

Figura 2

Ubicación de la cuenca del río Pisco



Nota: La Cuenca del río Pisco se encuentra ubicado en los departamentos de Ica y Huancavelica. Fuente: Tomado de Google Earth Pro (2022).

Tabla 1

Ubicación política de la Cuenca del Río Pisco.

Departamento	Provincia	Distritos
Huancavelica	Castrovirreyna	Santa Ana, Cocas, Mollepampa, Castrovirreyna, Ticrapo
		Huayacundo Arma, Huaytará, Quito-Arma, San Antonio De Cusicancha, Pilpichaca
Huancavelica	Huaytará	

San Clemente,

Ica

Pisco

Independencia, Humay, Tupac

Amaru Inca, Huancano

Fuente: Tomado de “*Delimitación de la faja marginal del río Pisco*”, ANA (1999)

Tabla 2

Ubicación Administrativa de la Cuenca del Río Pisco.

Autoridad Administrativa del Agua	Administración Local del Agua
Cháparra-Chincha	Pisco

Fuente: Tomado de “*Delimitación de la faja marginal del río Pisco*”, ANA (1999)

Tabla 3

Principales Características Geomorfológicas.

Características Geomorfológicas de la Cuenca	Valor
Área (km ²) *	4,209.00
Perímetro (km) *	497.68
Longitud río (km) *	185.27
Pendiente cauce principal (%) **	2.53
Ancho Promedio (km) **	22.72
Rectángulo Equivalente, lado mayor (km) **	230.59
<i>Rectángulo Equivalente, lado menor (km) **</i>	<i>18.25</i>

Notas: (*) Datos extraídos de documentos oficiales. El área, de la Resolución Ministerial N° 033-2008-AG, el perímetro, de su respectivo archivo shapefile y la longitud del cauce

principal, del estudio de “Codificación de Recursos de Agua Superficial del Perú”.

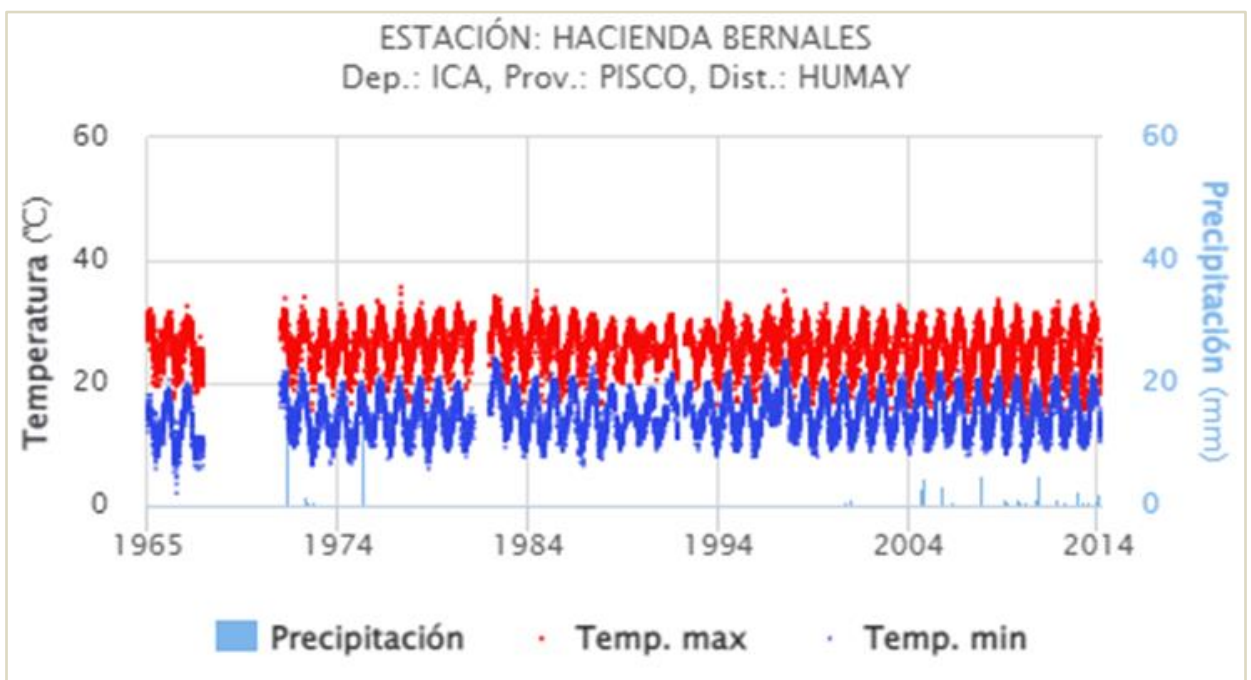
(**) Datos calculados, teniendo en consideración la información oficial.

Temperatura

El SENAMHI (2022) describe que en esta cuenca la temperatura experimenta variaciones que van desde el tipo semicálido de la Costa con un máximo extremo de 27.5 °C registrado en la estación Bernales al tipo polar de los nevados con una mínima extrema de -6.7 °C registrado en la estación de Santa Ana. Los promedios anuales en la cuenca oscilan entre 20.5 °C a 180 msnm y 2.9 °C a 4,650 msnm, como se observa en el histograma de la figura 3. El régimen de temperatura en el sector de Costa tiende a ser bastante regular y estable, tipificándose como semicálido.

Figura 3

Histograma de temperatura del río Pisco



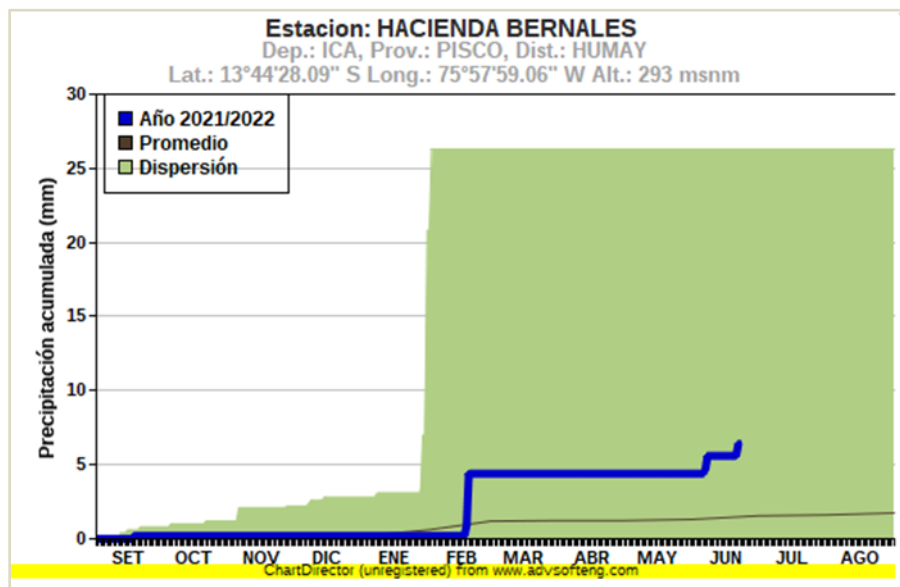
Nota: Variación de temperatura en 40 años en la Cuenca del río Pisco. Fuente: SENAMHI (2022)

Precipitación

SENAMHI (2022) La precipitación media anual va en aumento con el distanciamiento del litoral marino hacia un mayor nivel altitudinal. Mientras en la estación de Pisco, a 6 msnm, próxima al litoral registra un promedio anual de 1.60 mm de precipitación, la estación de Huancano a 1014 msnm y a 66 km del Océano Pacífico, registra un promedio de 39.30 mm, en la figura 4 se presenta la precipitación acumulada en la estación Bernales.

Figura 4

Precipitación acumulada del río Pisco



Nota: Variación de precipitación anual Estación Bernales en la Cuenca del río Pisco. Fuente: SENAMHI (2022)

Agua subterránea

Ordoñez (2011), El agua subterránea es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de

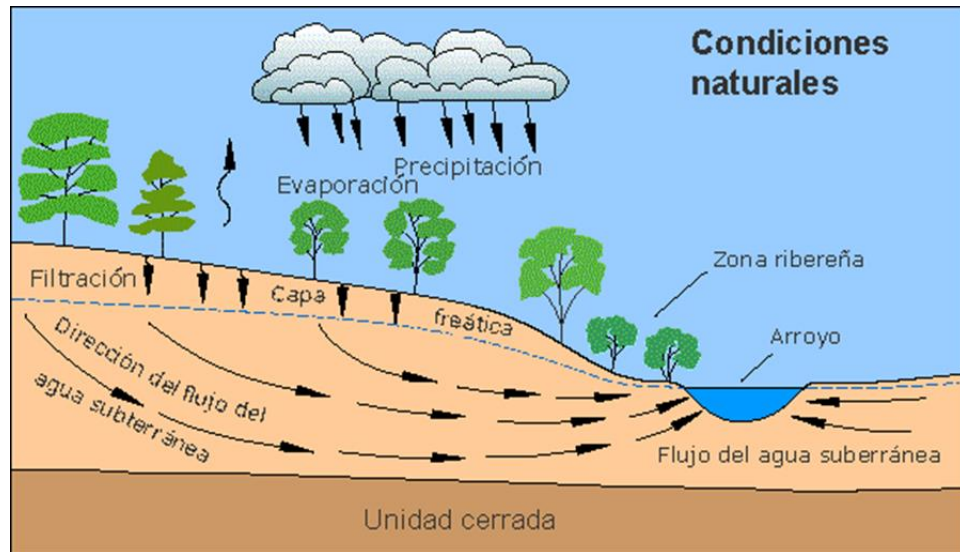
drenaje o la que fluye hacia la superficie por medio de manantiales o filtraciones a los cauces fluviales. Ver figura 5.

La UNESCO (2022) en su informe manifiesta que las aguas subterráneas – que constituyen aproximadamente el 99% de la totalidad del agua dulce en estado líquido y están repartidas por todo el planeta, si bien de forma desigual – tienen el potencial de proporcionar a las sociedades ingentes beneficios sociales, económicos y medioambientales, entre ellos la adaptación al cambio climático. Las aguas que son subterráneas forman la mitad del volumen de agua extraída para uso doméstico por la población mundial y alrededor del 25% de toda el agua extraída sirve para el riego, con las que se riegan el 38% del total de las tierras de regadío del mundo.

El INRENA (1994) en su estudio, manifiesta que el valle de Pisco, como la mayoría de los valles de la Costa, presenta características similares. La napa freática es superficial y libre, siendo sus fuentes de alimentación las aguas que se infiltran de la parte alta, de los canales de regadío a través de las áreas de cultivo, y de las aguas que discurren del río Pisco. Se entiende como fuentes de aguas subterráneas a las fuentes naturales entre las que se distinguen los manantiales y a las artificiales constituidas por la red de pozos de captación, galerías y red de drenaje.

Figura 5

Agua subterránea



Fuente: <https://water.usgs.gov/gotita/earthgwdecline.html>

Acuífero

La UNESCO (2012) define al acuífero como Formación geológica permeable capaz de almacenar, transmitir y proporcionar cantidades aprovechables de agua.

El Sistema Español De Información Sobre El Agua, clasifica a los tipos de acuíferos según las presiones hidrostáticas:

Acuíferos libres: también llamados no confinados o freáticos. Es una superficie libre del agua que está almacenada y en contacto con el aire. La superficie donde llega el agua, se llama superficie freática; esta superficie al ser interrumpida por un pozo su nivel freático es ese punto.

Acuíferos confinados: Llamados también cautivos, aquí el agua se somete a una presión superior a la atmosférica y ocupa todos los poros o huecos de la superficie geológica, saturándola en su totalidad.

Acuíferos semiconfinados: Se trata de acuíferos a presión, pero en algunas de las capas confinantes son semipermeables, acuitardos.

Acuíferos colgados: Son ocasionales y se producen por efecto de una gran recarga, asciende el nivel freático y queda retenida una porción de agua por un nivel inferior impermeable.

Acuíferos multicapas: es un caso particular y frecuente de acuíferos en los que se manifiestan niveles que tienen distintas permeabilidades.

Figura 6

Acuíferos



Fuente: <https://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia#3>

Según el ANA (2006) en el distrito de Pisco, sector Figueroa, el nivel de agua se sitúa entre 1.62 y 6.70 m de profundidad; sin embargo, en el cercado de Pisco el nivel de agua fluctúa entre 2.35 y 4.55 m, además en el sector Pachinga el nivel de agua se sitúa a 2.08 m de profundidad.

Pozos de captación de agua

El ANA (2020) define como pozo a una estructura hidráulica para el acceso al agua subterránea, realizada mediante excavación vertical que perfora la tierra, hasta una

profundidad suficiente para alcanzar una explotación sostenida del agua subterránea. Éstos pozos por lo general tienen forma de cilindro y las paredes son revestidas ya sea con ladrillo o concreto para evitar su deterioros y derrumbes.

El ANA (2020), en el valle de Pisco existen tres tipos de pozos de captación de agua:

Pozo tubular. – Estructura hidráulica de captación de agua subterránea de mediana a gran profundidad, revestida con tubería de fierro, acero o PVC, utilizado para extraer agua del subsuelo; Sirve en observaciones, pruebas de bombeo.

Figura 7

Pozo tubular



Fuente: <https://noticias.madrededios.com/articulo/local-sucesos/las-piedras-municipio-desarrolla-pozo-tubular-abastecer-agua-localidades/20171114153931012724.html>

Pozo mixto. – Estructura hidráulica de captación de agua subterránea medianamente profunda, estructuralmente conformada por un ante pozo revestido de concreto y en su interior a una mayor profundidad revestido de tubería de acero ciega, su característica es que la tubería de acero que no llega a sobre salir a la superficie.

Figura 8

Pozo mixto



Fuente: <https://noticias.madrededios.com/articulo/local-sucesos/las-piedras-municipio-desarrolla-pozo-tubular-abastecer-agua-localidades/20171114153931012724.html>

Pozo a tajo abierto. – Estructura hidráulica para la captación de agua subterránea, construida mediante excavación manual, generalmente revestido o anillado de concreto o ladrillo, son construidos en acuíferos libres someros, con diámetros promedio de 0.90 a >1.20 m.

Figura 9

Pozo a tajo abierto



Fuente: <https://noticias.madrededios.com/articulo/local-sucesos/las-piedras-municipio-desarrolla-pozo-tubular-abastecer-agua-localidades/20171114153931012724.html>

INRENA (2006), de todo este conjunto las fuentes de mayor influencia lo constituyen los pozos de captación que pueden ser pozos tubulares con diámetro entre 0.25m a 0.60m y caudal máximo de 60 l/s, profundidad varia de 58.20 m a 67.00 m, pozos a tajo abierto con diámetro entre 0.40m y 7.00m y caudal máximo de 25 l/s, profundidad varia de 23.70 m a 40.00 m y pozos mixtos con diámetro entre 0.40m y 0.50m y caudal máximo de 21 l/s, profundidad llega a 60.00m.

Tabla 4

Tipos de pozo en la cuenca de Pisco.

Distrito	Tipo de pozo			
	Tubular	Mixto	Tajo abierto	Total
Paracas	129	14	158	301
San Andrés	11	04	197	212
Pisco	0	0	21	21
Humay	13	0	08	21
Independencia	06	0	05	11
San Clemente	10	0	0	10
Tupac Amaru	01	0	21	22
Total	161	18	419	598

Nota: Tomado de “Estudio hidrogeológico del valle Pisco”. INRENA (2006)

Fotogrametría

Quirós (2014). Es la técnica que sirve para estudiar y definir con precisión las dimensiones, la forma y posición en el espacio de un objeto utilizando medidas hechas sobre una o varias fotografías. Fotogrametría significa la métrica de la luz. Es la ciencia que utiliza la fotografía para hacer medidas, y su aplicación es extensiva a numerosas áreas de conocimiento.

Figura 10

Fotogrametría



Fuente: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

Quirós (2014). El desarrollo histórico de la fotogrametría se realiza por ciclos:

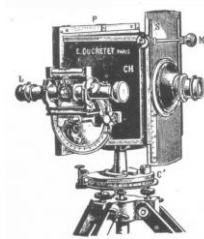
Primer Ciclo. La fotogrametría de intersecciones

Aimé Laussedat (1819-1907), contribuye con los conceptos teóricos básicos y los aplica en las fotos para elaboración de planos (con las ideas de M. A. Carpellier, que había realizado levantamientos de perspectivas dibujadas a mano, en 1726. Con las fotos tomadas desde los extremos de una base conocida y, mediante la intersección hacia delante, permitía a Laussedat obtener la posición de los objetos retratados. En la década de 1870 comienza a

aplicarse la fotogrametría terrestre en los levantamientos cartográficos. Las aplicaciones militares no tardaron en aparecer. Las fotografías aéreas más notables de la época fueron obtenidas por un fotógrafo francés, Gaspard Félix Tournachon (1820-1921), conocido como Nadar, primero en 1855 desde un globo a 80 metros de altura. Theodore Scheimpflug (1865-1911) inventa en 1898 un instrumento de restitución basado en la proyección óptica directa (el doble proyector) y propone su teoría para enderezar imágenes en un transformador fotográfico universal. Johan Carl Friedrich (1777-1855), quien propuso en 1801 el "método de los mínimos cuadrados" adoptado para la resolución de las ecuaciones a usar en la Fotogrametría Analítica.

Figura 11

Fototeodolito-de-Laussedat



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Fototeodolito-de-Laussedat-ESPARTEL-1978_fig4_315956116

Segundo ciclo. La fotogrametría analógica-numérica.

Cheli (2012). Gracias al descubrimiento basado en el principio de la marca flotante de F. Stolze en 1892, y las investigaciones realizadas por Carlos Pulfrich (1858-1929) sobre un método práctico para la medición estereoscópica con la marca flotante, este último construye en 1901 el "estereocomparador", originándose la estereofotogrametría analítica. El austríaco Édouard Dolezal (1862-1955), se funda en 1910 en Viena, Austria, la Sociedad Internacional de Fotogrametría (ISP por su sigla en inglés, hoy ISPRS). La primera foto

aérea fue realizada por Wilbur Wright sobre la localidad de Centocelli (Italia) en 1909 y cuatro años más tarde se confeccionó en Italia el primer mapa a partir de fotos aéreas. En este ciclo existió el interés de producir otro tipo de documento: la ortofoto. En 1930 en Francia, Roberto Fevre construyó en la fábrica Gallus-Ferber, un equipo que le llamó ortofotoscopio. Mientras Charles L. Miller (MIT-Massachussets) en 1950 comenzaba a trabajar con “modelos numéricos o matemáticos del terreno” (hoy llamados DTM) a partir de modelos estéreos analógicos, Gilbert Hobrough (Canadá) desarrollaba el tema de la correlación automática de las imágenes en 1956 que sirvió para la confección de las ortoimágenes.

Figura 12

Restituidor Analógico



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Fototeodolito-de-Laussedat-ESPARTEL-1978_fig4_315956116

Tercer ciclo. Fotogrametría digital.

Cheli (2012). Surge en 1990, utilizando imágenes digitales como fuente primaria de datos (ya sean adquiridas directamente con una cámara digital o a través de la digitalización matricial de una imagen analógica (utilizando un escáner fotogramétrico de precisión). Los restituidores analíticos son reemplazados por computadoras personales repotencializadas, las que resuelven la relación entre las coordenadas de puntos, medidas sobre la imagen

digital y sus correspondientes en el terreno (haciendo uso de la ecuación de colinealidad),
que es la base para el uso de la fotogrametría en el campo satelital.

Figura 13

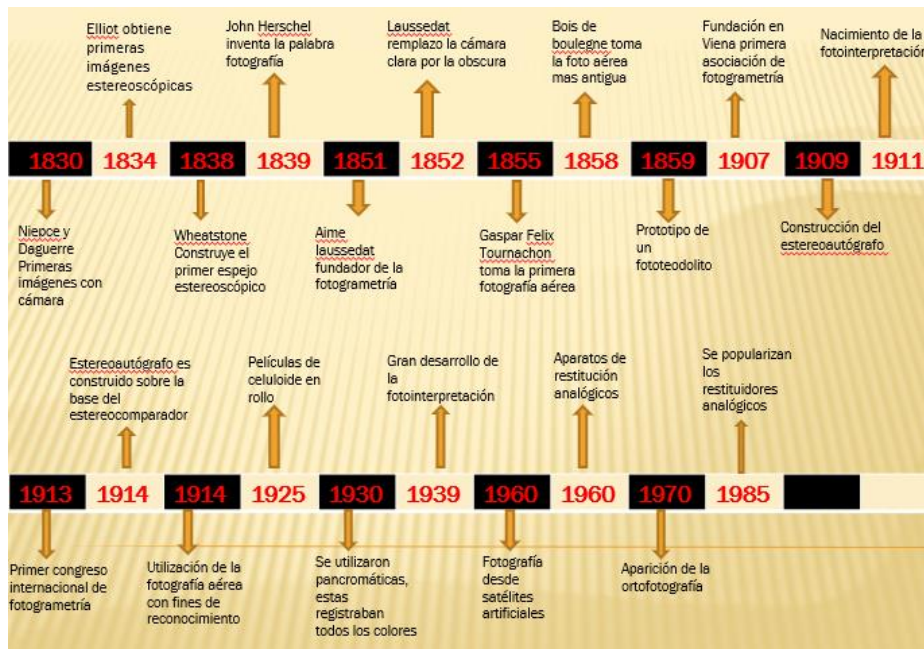
Restituidor Digital



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Fototeodolito-de-Laussedat-ESPARTEL-1978_fig4_315956116

Figura 14

Historia de la fotogrametría



Fuente: <https://pdfslide.net/download/link/historia-de-la-fotogrametría>

RPA – AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA – *Remotely Piloted Aircraft*

Ahora que la tecnología nos permite hacer trabajos que antes no se podían por lo oneroso que resultaban los RPAs se constituyen en una herramienta esencial para efectuar esta labor de monitorear áreas donde están ubicados pozos de agua en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco puesto que la población de esa zona está expuesta al desabastecimiento y cortes de agua.

El IGN (2018), define al Sistema de Aeronave Pilotada Remotamente (RPA por sus siglas en inglés *Remotely Piloted Aircraft*) como un conjunto de elementos configurables integrado por una aeronave pilotada a distancia, se sirven de estaciones de piloto remoto conexas, ya sea un Smartphone, una Tablet o los necesarios enlaces de mando que pueda requerirse en cualquier punto durante la operación de vuelo.

(Sánchez, 2017), manifiesta que también son conocidos como UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) o comúnmente llamados dron, son aeronaves que vuelan sin tripulación, reutilizables, se mantienen en forma autónoma durante un vuelo controlado son sostenible y también propulsadas por un motor ya sea de explosión, eléctrico o de reacción. Se clasifican en dos grupos: uso militar y uso civil.

Sánchez (2017), menciona que existen diferentes clasificaciones para los drones. Según su fisonomía existen tres grupos:

Multirrotores: son los más extendidos actualmente. Compuesto de varios motores independientes situados en los extremos del aparato. Se clasifican según el número de motores en tricópteros, cuadricópteros, hexacópteros y octocópteros. Éstos son los de mayor uso porque tienen una gran estabilidad, facilidad y cantidad de maniobras que pueden realizar, además de volar estáticamente en el lugar donde queremos. La desventaja es el

consumo excesivo de batería que necesita para estar volando, su autonomía está entre 15 a 30 minutos.

Ala rotatoria: su fisonomía es la de un helicóptero convencional, pero de pequeño tamaño. Se componen de un solo motor principal que le da gran capacidad de carga y autonomía. Existen modelos de combustión interna que pueden volar durante una hora sin repostar. Pero su complejidad tanto a nivel mecánico como de control no lo hacen muy accesibles que lo convierten en utilizables. Sus utilidades están en la fotogrametría, vigilancia o agricultura.

Ala fija: son aquellos cuya fisonomía es similar a la de un aeroplano, compuesto por un cuerpo principal unido a dos alas que le permiten planear y un rotor en la cola, su propulsión es eléctrica o de combustión. Es el más eficiente, aerodinámicamente y de mayor autonomía de vuelo. Tiene por inconveniente que llevan menor carga, son menos ágiles para las maniobras al no poder permanecer en un solo sitio, aparte que necesita una gran zona para despegar o aterrizar. A pesar de eso, tiene una gran autonomía que permite usarlo en trabajos de fotogrametría y agricultura de precisión.

Sánchez (2017), realizó una clasificación de los drones según el método de control:

Autónomo: porque tiene la opción de no utilizar piloto humano para que lo controle desde tierra. Son guiados mediante la programación por sus sistemas y sensores integrados.

Monitorizado: En este caso sí se necesita la figura de un técnico humano que va a proporcionar información y controlar el feedback del dron. El dron dirige su propio plan de vuelo y el técnico, aunque no puede controlar los mandos directamente, sí puede decidir qué acción llevará a cabo. Sirve para trabajos de agricultura de precisión y fotogrametría.

Supervisado: Es necesario que tenga operador que va a controlar el dron, sin embargo, el dron siempre puede efectuar algunas labores en forma autónoma.

Preprogramado: El RPA mediante una programación previa sigue un plan de vuelo y no tiene la posibilidad de cambiarlo si se desea salvo en caso de posible colisión.

Controlado remotamente(R/C): el piloto es el que controla todo el proceso de vuelo mediante un mando o consola. Sirve para trabajos de inspecciones o para necesidades audiovisuales.

Sánchez (2017), también clasificó a los drones según el uso:

RPA militares: Suelen ir armados y con capacidad de bombardeo, aunque otras veces son únicamente para espionaje.

RPA civiles: Son aquellos que no tienen uso militar y a su vez se dividen en: Drones de uso comercial: Para la venta de servicios como la fotogrametría, multimedia, etc. Drones para aficionados: Su uso se limita al ocio y hobby. Drones de uso gubernamental: Cada vez están conscientes los órganos del estado que utilizan las fuerzas del estado, policías, bomberos, rescate, etc.

Figura 15

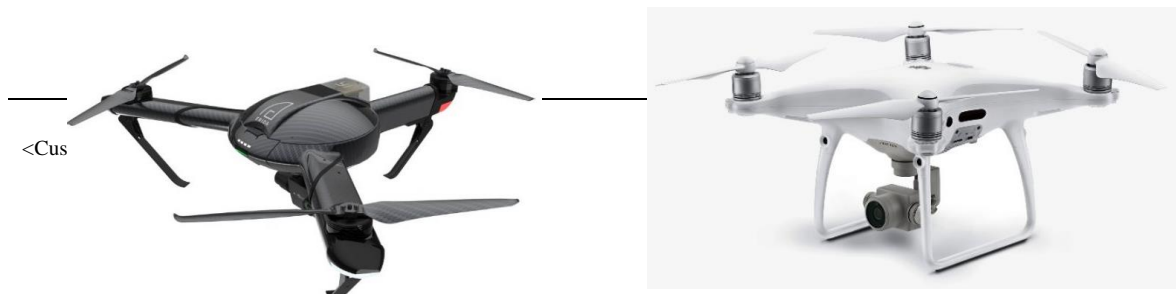
Tipos y modelos de RPA



Ala Fija: Modelo Event 384



Ala rotatoria: Modelo Flybarless 6CH



Tricóptero: Modelo Yi Erida



Cuadricóptero: Modelo Phantom 4 Pro



Hexacóptero: Modelo Heliceo Fox 6

Octocóptero: Modelo Falcón 8

Tabla 5

Clasificación de los RPA

Tabla 5(a). Según su fisonomía

RPA de ala fija

RPA de rotor único o helicóptero

RPA Multirrotores

- Tricópteros : Tres rotores
- Cuadricópteros: Cuatro rotores
- Hexacópteros: Seis rotores
- Octocóptero: Ocho rotores

Fuente: elaboración propia, 2022

Tabla 5(b). Según el método de control

- Autónomo: No necesita de un piloto que lo controle en tierra
- Monitorizado: Sí necesita de un técnico
- Supervisado: Un operador pilota el RPA

-
- Preprogramado: El RPA sigue un plan de vuelo programado.
 - Controlado remotamente (R/C): el RPA es pilotado por un técnico mediante una consola
-

Fuente: elaboración propia, 2022.

Tabla 5(c). Según su uso

RPA militares: Suelen ir armados

RPA civiles: No tienen uso militar, se dividen en:

- RPA de uso comercial: Para servicios
 - RPA para aficionados: Para hobby
 - RPA de uso gubernamental: Para las fuerzas del Estado.
-

Fuente: elaboración propia, 2022.

Tabla 5(d). Por su peso

Pequeños: Hasta diez (10) kg de peso vacío.

Medianos: De entre diez (10) y ciento cincuenta (150) kg de peso vacío.

Grandes: De más de ciento cincuenta (150) kg de peso vacío.

Fuente: elaboración propia, 2022.

Agisoft

Manual de Usuario Agisoft Metashape. Standard Edition, versión 1.5 (2019).
Agisoft Metashape es un producto de software independiente que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales, como la fotografía aérea de corto alcance, imágenes satelitales que genera datos espaciales tridimensionales que va permitir usar en aplicaciones GIS, producción de efectos visuales, también en mediciones indirectas de objetos a escalas diferentes. El software permite procesar imágenes de cámaras RGB, térmicas o multispectrales, incluidos sistemas multicámara, en información espacial en forma de nubes de puntos densas, modelos poligonales texturizados, ortomosaicos verdaderos georreferenciados y DSM/DTM. El procesamiento posterior adicional permite eliminar

sombras y artefactos de textura de los modelos, calcular índices de vegetación y extraer información para mapas de acción de equipos agrícolas, clasificar automáticamente nubes de puntos densas, etc. Metashape es capaz de procesar más de 50 000 fotos en un clúster local, gracias a la funcionalidad de procesamiento distribuido. Alternativamente, el proyecto se puede enviar a la nube para minimizar la inversión en hardware, con todas las opciones de procesamiento aún disponibles. La técnica de fotogrametría digital aplicada con métodos de visión por computadora da como resultado un sistema de procesamiento automatizado inteligente, puede ser administrado por un recién llegado en el campo de la fotogrametría, por otro lado, ofrece a un especialista funciones avanzadas como el modo estereoscópico y tener un control total sobre los resultados que son precisos, y genera un informe detallado al final del procesamiento.

El procedimiento de datos de imágenes con Agisoft Metashape consta de tres pasos principales.

El **primer paso** es la alineación. Incluye triangulación aérea (AT) y ajuste del bloque de haz (BBA). En esta etapa, Metashape busca puntos característicos en las imágenes y los empareja en imágenes en puntos de enlace. El programa también encuentra la posición de la cámara para cada imagen y estima los parámetros de calibración de la cámara (estima los parámetros de orientación de la cámara interna (IO) y externa (EO)).

Los resultados de estos procedimientos se visualizan en forma de una nube de puntos dispersa y un conjunto de posiciones de cámara. La nube de puntos dispersa representa los resultados de la alineación de la imagen y no se utilizará directamente en el procesamiento posterior (excepto por el método de reconstrucción de superficie basado en la nube de puntos dispersos, que es adecuado solo para estimaciones rápidas, por ejemplo, de la integridad de

un conjunto de datos). Pero la nube de puntos dispersa es necesaria para la determinación de los mapas de profundidad (basados en los pares estéreo seleccionados de la nube dispersa).

Sin embargo, se puede exportar para su uso posterior en programas externos, por ejemplo, un modelo de nube de puntos dispersos se puede utilizar en un editor 3D como referencia. Sin embargo, Metashape necesita el conjunto de posiciones de las imágenes para una mayor reconstrucción de la superficie en 3 dimensiones.

Segundo paso es la va a generar una superficie en 3D (malla) y/o 2.5D (DEM). Modelo poligonal (malla) se puede texturizar para una representación digital fotorrealista del objeto/escena y exportarse en numerosos formatos compatibles con software de posprocesamiento, tanto para flujos de trabajo de modelado CAD como 3D.

Para proyectos a escala de ciudad para proporcionar una respuesta de visualización de modelo rápida y permitir una visualización fluida a través de toda la escena, Metashape permite generar modelos en mosaico. Dicha representación jerárquica conserva la resolución original de las imágenes aplicadas al modelo como una textura y es compatible con visores independientes y basados en web.

Metashape puede construir una nube de puntos densa en función de las posiciones estimadas de la cámara y las propias imágenes (coincidencia estéreo densa). La nube de puntos fotogramétricos generada puede fusionarse con datos LIDAR o dividirse automáticamente en varias clases semánticas siguiendo las tareas del proyecto.

Figura 16*Software Agisoft Metashape*

Fuente: <https://www.google.com/search?q=agisoft+logo&tbm>

Pix4D

Zafra (2021). Describe al software pix4D como que permite realizar la fotogrametría de una imagen o serie de imágenes para una obtener productos cartográficos que van a tener resultados de mediciones lineales y volumétricas con alta precisión. La aportación más importante de este software es su gran capacidad para procesar datos e interpretarlos simultáneamente y elaborar ortomosaicos de muy alta resolución además de modelos digitales de elevaciones con precisión superiores a los obtenidos mediante la cartografía, este es uno de los aspectos que más interesan en este software. Permite conseguir los resultados siguientes:

Triangulación fotogramétrica.

Nube densa de puntos.

Modelos digitales de elevación (MDE)

Exportación ortomosaica georreferenciada.

Modelos digitales de terreno (MDT).

Mediciones volumétricas y lineales.

Figura 17

Software Pix4D



Fuente: <https://www.sensefly.com/es/software/pix4d/>

Antecedentes internacionales

León (2019), en su tesis doctoral “Análisis de la distribución espacial de arceuthobium globosum implementando teledetección en el área de protección de flora y fauna nevado de Toluca” sostiene que los recientes avances tecnológicos, como el impacto de las técnicas de teledetección con RPA comúnmente llamados drones, los cuales por su autonomía y versatilidad reducen los costos en comparación con las técnicas de monitoreo tripuladas permiten un monitoreo de las masas forestales con una resolución espacial superior a la que ofrecen las imágenes de satélite y que brindan detalles a nivel de copa que se procesan mediante algoritmos de colorimetría para identificar la presencia de plantas parasitas.

Torres (2017), en su tesis doctoral “Monitorización 3D de cultivos y cartografía de malas hierbas mediante vehículos aéreos no tripulados para un uso sostenible de fitosanitarios” manifiesta que un sistema agrícola se compone de elementos muy diversos y que en una parcela existen variaciones que se pueden agrupar en tres tipos (Hatfield 2000): 1) natural, como el suelo y la topografía; 2) aleatoria, como las precipitaciones; y 3) manejada, como la aplicación de agroquímicos. La interacción entre estas fuentes de heterogeneidad provoca la variación que se observa en los cultivos. La teledetección es la

ciencia que se ocupa de obtener e interpretar información desde la distancia mediante sensores que no están en contacto con el objeto de observación (Jensen 2006). Esta forma de recolectar información tiene ventajas únicas (Jensen 2006) que son de gran importancia en la agricultura. Los drones, UAV o RPAS (por las siglas en inglés de Unmanned Aerial Vehicle o Remotely Piloted Aerial Systems) se convierten en grandes aliados para este fin. La tecnología RPA es capaz de proporcionar imágenes con la resolución espacial y temporal que se necesitan para la detectar a las malas hierbas en una etapa temprana. La resolución espacial de las imágenes, el área cubierta por cada una y el tiempo de vuelo necesario para abarcar una parcela completa varían en función de las especificaciones del sensor, el porcentaje de solape transversal y solape longitudinal, así como la altura de vuelo.

Antecedentes nacionales

Morales (2017), en su tesis doctoral “Percepción remota en la producción sustentable de cultivos tropicales” determina la influencia de la percepción de un panel de expertos agropecuarios sobre el futuro de los RPA en la agricultura y la conformación de comunidades de práctica relacionadas a los drones en la agricultura. En países subdesarrollados estos dispositivos son escasos porque son de alta resolución y altos costos para la captación de información espectral en pequeñas áreas de cultivos tropicales. Se requiere mejorar las técnicas de interpretación de imágenes e integrar los datos registrados de sensores remotos en diferentes resoluciones espaciales. El objetivo de la percepción remota en la agricultura es mejorar la capacidad del crecimiento vegetativo y los rendimientos probables con precisión, exactitud y bajo costo. El panel de expertos determinó que el futuro de la percepción remota está ligado no solamente a los RPA, sino a su equipamiento completo para conseguir los objetivos planteados en los trabajos que contemple el uso de RPA.

Estrada (2021), en su tesis doctoral “Comunidades vegetales y estimación de biomasa con sensores multiespectrales y sistemas aéreos no tripulados en pastizales de puna seca” identifica y estima la biomasa de las comunidades vegetales de tolar y bofedales de puna seca a través de sensores multiespectrales incorporados en los sistemas aéreos no tripulados RPA. Para programar la altura de vuelo, se consideró la recopilación de imágenes de la vegetación con sensores multiespectrales a 25, 50, 75 y 100 m de altura. Paralelamente, se recolectaron muestras de vegetación en las transectas (rectángulo situado en un lugar para medir ciertos parámetros de un determinado tipo de vegetación) fijas que formaban parte de los puntos de control en tierra. Éstas imágenes logradas se procesaron en los softwares Pix 4D y Agisoft, consiguiendo ortofotografías u ortomosaicos en RGB y NDVI de alta resolución. Concluye que la mejor altura de vuelo con drones (RPA) para separar con precisión coberturas de agua, suelo, césped, arbustos de comunidades vegetales de tolar y bofedal durante las épocas de lluvia y estiaje en ortofotografías RGB y NDVI, respectivamente, fue de 25 m, seguido de 50 m y la estimación de biomasa utilizando índices de vegetación en ortofotografías multiespectrales tomadas con RPA a 100 m de altura.

León (2016), en su tesis doctoral “Modelación matemática para estimar los requerimientos hídricos del cultivo de papa (*solanum spp.*) en Riobamba – Ecuador” manifiesta que el uso de sensores permite obtener datos y mediante el uso de RPA se obtienen datos remotos sobre el estrés hídrico de las plantas, éstos son fácilmente detectables mediante imágenes multi espectrales. Cuando se observa de cerca a las plantas se permite analizar su fortaleza y para estimar sus parámetros como el estrés hídrico, valores nutricional, térmico o sanitario. Para la ingeniería de riego en este trabajo de delimitación, los RPA son herramientas que ofrecen el potencial de monitorear la evolución de un proceso o fenómeno agrícola, que nos va a permitir la manera de aplicar el riego para mejorar su eficiencia y productividad. Se concluye

que, con la utilización de los drones y lisímetros de drenaje, se han generado expresiones matemáticas que se utilizará cuando las láminas de riego son aplicadas teniendo como base, la data del lisímetro de drenaje. Se recomienda la utilización del dron para determinar los requerimientos hídricos del cultivo de papa, con una calibración a través del lisímetro de drenaje, por tener una buena aproximación de los requerimientos hídricos.

1.2 Formulación del problema

Problema general

¿De qué manera la aplicación de la fotogrametría con RPA puede ubicar los pozos construidos en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco?

Esta pregunta general nos lleva a otras tres preguntas específicas:

Problemas específicos

¿De qué manera la generación de un modelo en tres dimensiones con el software Agisoft Metashape nos permite ubicar los pozos construidos en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco?

¿De qué manera la delimitación de la desembocadura del río Pisco utilizando el software Agisoft Metashape nos permite ubicar los pozos en la desembocadura del río Pisco?

¿De qué manera el vuelo de un RPA nos permite ubicar los pozos en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco?

1.3 Objetivos

Objetivo general

Determinar como la fotogrametría con RPA nos permite ubicar los pozos construidos en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco.

Objetivos específicos

Determinar como un modelo en tres dimensiones utilizando el software Agisoft Metashape nos permite ubicar los pozos construidos en la margen izquierda del río Pisco.

Determinar como la delimitación de la cuenca de la desembocadura del río Pisco utilizando el software Agisoft Metashape nos permite ubicar los pozos en la desembocadura del río Pisco.

Determinar como el vuelo de un RPA nos permite ubicar los pozos en la margen izquierda del río Pisco.

1.4 Hipótesis

Hipótesis principal

La aplicación de la fotogrametría con RPA se utiliza para poder ubicar los pozos en la desembocadura del río Pisco.

Hipótesis específicas

La aplicación de un modelo en tres dimensiones con el software Agisoft Metashape nos permite ubicar los pozos construidos en la margen izquierda del río Pisco.

La delimitación de la desembocadura del río Pisco nos permite ubicar los pozos en la margen izquierda de su desembocadura.

La aplicación de un vuelo con RPA permite ubicar los pozos construidos en la margen izquierda del río Pisco.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Ubicación y extensión

El sistema de coordenadas utilizadas en este estudio es el UTM (Universal Transverse Mercator) basado en el elipsoide WGS 84, Huso o Zona 18 Sur, los softwares actualmente sobre todo los formatos Gis utilizan el código de coordenadas EPSG (European Petroleum Survey Group) 32718, corresponde a Pisco.

La zona de estudio corresponde a un tramo de la margen izquierda del río Pisco en los distritos de Tupac Amaru Inca y Pisco; Provincia de Pisco; Departamento de Ica comprendido entre la Panamericana Sur y la Av. Fermín Tangüis.

Tabla 6

Coordenadas de ubicación UTM:

ESTE	NORTE
372687.67	8484483.18
375051.68	8483834.06
374926.56	8483460.10
373965.66	8483655.28
373073.71	8483950.41
373207.66	8484207.51
372609.11	8484352.31

Fuente: Google Earth Pro.

La extensión objeto del estudio es de 78.20 Ha, con altitudes entre 0 y 70 m.s.n.m.

Accesibilidad

Partiendo de Lima con dirección sur por la carretera Panamericana Sur hasta el km 233.50 (Cruce Pisco) de ahí se dirige con dirección a la ciudad de Pisco por la Av. Fermín Tangüis hasta el Trébol de la nueva Panamericana Sur. En general toda el área en estudio es transitable.

Figura 18

Área de estudio



Fuente: Google Earth Pro (2022)

2.2 Variables

Variable independiente - Causa

Aplicación de la Fotogrametría con RPA

Variable dependiente - Consecuencia

Ubicación de pozos construidos en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco.

2.3 Tipo y nivel de Investigación

Tipo de investigación

Para el caso que tratamos, el tipo de investigación a realizar es según su propósito, Aplicada, constructiva o utilitaria porque hace uso de la tecnología para encontrar la manera de lograr el objetivo.

Nivel de investigación

Por el nivel de investigación es Explicativa porque busca respuesta a una pregunta fundamental, averigua las causas de las cosas, hechos o fenómenos de la realidad, con enfoque Cuantitativo ya que usamos la medición y el cálculo Niño (2011).

2.4 Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental porque no se manipula el medio donde se investiga, de corte transversal o prevalencia ya que la recolección de datos se realizó en un solo momento se centró en comparar la cantidad de vuelos con la cantidad de pozos encontrados. La investigación se orienta en una perspectiva sincrónica porque no hace referencia al origen ni a la historia de las construcciones de los pozos.

2.5 Población y Muestra

Población

La población objetivo está centrada en todos los pozos construidos en la margen izquierda de la desembocadura del Río Pisco que tienen el propósito de abastecer de agua ya sea para uso doméstico, comercial, industrial o para la agricultura.

Muestra

La investigación se ejecutó teniendo en cuenta una muestra constituido por los pozos encontrados durante el vuelo.

2.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Para elaborar este proyecto de ubicar pozos construidos en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco mediante la aplicación de fotogrametría con RPA se estima una zona de interés ya sea mediante reconocimiento en el terreno, fuentes secundarias con la revisión de documentos, informes, publicaciones, libros sobre el tema a investigar.

Instrumentos de recolección de datos

El instrumento económico y asequible para la recolección de datos en fotogrametría es mediante vuelos de RPA, aunque tengan el limitante de la duración de baterías para el tiempo de vuelo en cubrir toda el área de interés.

2.7 Análisis de datos

Para que un proyecto de fotogrametría con RPA sea efectiva va a depender de la calidad del diseño y planificación de vuelo con el apoyo de parámetros que es necesario conocer:

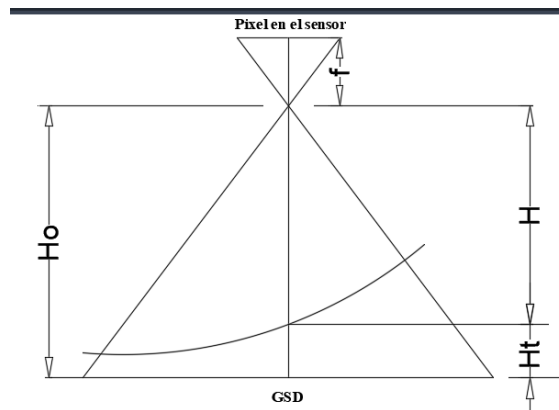
Altura de vuelo: Flores y Gonzáles (2016). Manifiesta que es importante tener conocimiento de la altura sobre el nivel del mar, porque con éste dato se va a programar la altura de vuelo. La resolución espacial y los obstáculos en el campo determinaran la altura de vuelo requerida, otra limitante va a depender del siguiente cálculo:

$$H = f * \frac{GSD}{TPS}$$

Datos: H=: altura de vuelo, TPS= Tamaño de pixel en el sensor, GSD=Tamaño de pixel en el terreno.

Figura 19

Altura de vuelo

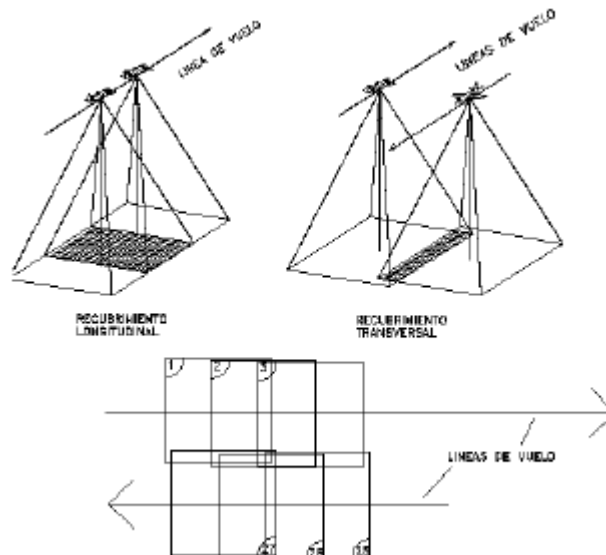


Fuente: "Operación y pilotaje de drones"

Traslape de imágenes: Es el grado de superposición entre fotografías consecutivas y se define en función de la pendiente del terreno. Las imágenes deben tener suficiente traslape, un solape longitudinal de un 80 % y de un solape transversal del 60 %.

Figura 20

Traslape longitudinal y transversal de imágenes



Fuente: "Operación y pilotaje de drones"

GSD (Ground Sample Distance): Llamada distancia de muestreo en tierra define

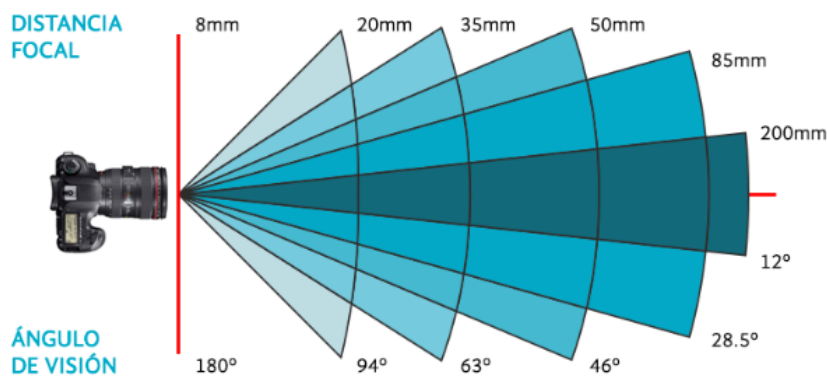
cuanto mide un pixel en la imagen final proyectada sobre el terreno. En la fotogrametría digital, la resolución va a depender de la altura de vuelo y de las características del sensor de imagen, se puede programar con la fórmula siguiente:

$$GSD = H * \frac{TPS}{f}$$

Distancia focal: Es la distancia en mm que existe entre el plano focal del sensor y el centro óptico de la lente. El centro óptico es un punto en el interior de un objetivo donde los rayos de luz que entran en él se cruzan y son dirigidos hacia el sensor de imagen de la cámara para que registre la fotografía. Este centro óptico está cerca del diafragma del objetivo. Cuanto menor sea la distancia focal mayor será el ángulo de visión del objetivo y cuanto mayor sea la distancia focal, menor es el ángulo de visión y, por tanto, disminuye el tamaño de la escena.

Figura 21

Relación entre distancia focal y ángulo de visión.



Fuente: <https://blog.foto24.com/distancia-focal-objetivo/>

Velocidad de vuelo: La velocidad promedio pueden estar entre 8 a 12 m/s. Varía dependiendo la altura de vuelo.

Tabla 7*Velocidad máxima de RPA.*

Nombre	Velocidad Máxima
DJI Mavic Mini	30 mph
Parrot Anafi	35 mph
DJI Mavic Air	42 mph
Autel EVO	40 mph
DJI Mavic 2 Pro	45 mph

Fuente: <https://volandocondrones.com/drones-mas-rapidos/>

Gimbal: Dispositivo que reduce las vibraciones cuando se va a capturar una imagen ya que en la toma se producen movimientos no previstos. El estabilizador necesita de acelerómetros y giroscopios para una mayor eficiencia que le van a indicar el movimiento, dirección y posición de la aeronave.

Figura 22*DJI Ronin-MX Gimbal Estabilizador*

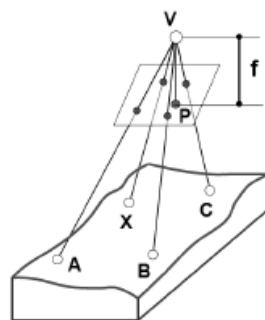
Fuente: <https://dronetecperu.com/drones-peru/87-dji-ronin-m-x-gimbal-estabilizador-drones-peru.html>

La cartografía según Ontiveros, Robles, Flores y Gonzáles (2016), procedimiento gráfico único donde se obtiene una representación del espacio geográfico mediante escalas con sistemas de proyección. El resultado son Mapas y Planos escalados, ya que los mapas son una interpretación gráfica simplificada de la realidad. Los formatos con que se procesa la información son varios, desde formato vectorial (puntos, líneas o polígonos), formato ráster u ortoimágenes, todos ellos en dos dimensiones. Es posible la visualización de los resultados en tres dimensiones, con la creación de modelos 3D. El proceso general de la fotogrametría y el proceso de búsqueda de los rayos homólogos, se le denomina restitución y consta de:

Orientación de fotos interna: Consta en reproducir el haz perspectivo de rayos definidos por los puntos de la imagen y el centro de proyección. Ésta reproducción se da si se conoce los datos de orientación de la cámara, la distancia focal y la distorsión. La orientación interior u orientación interna determina el centro perspectivo interior de la fotografía aérea, como estaba en el instante de la toma de imagen; con esto cada fotograma o imagen se situará de idéntica manera que estuvo la cámara con relación al objetivo en el momento de la captación de la imagen.

Figura 23

Orientación de fotos interna



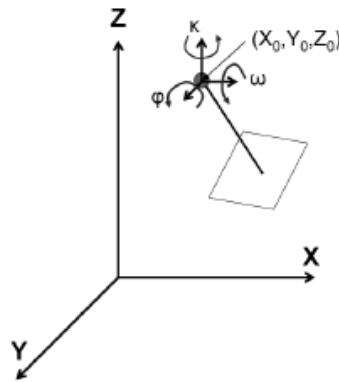
Fuente: “Principios de cartografía, fotogrametría y sistemas de posicionamiento por satélite”

Las variables son: V= vértice del haz, P= punto principal, f= distancia focal.

Orientación de fotos externa: Mediante la orientación externa se obtienen los parámetros de posicionamiento correcto del haz de rayos de la imagen con respecto al sistema de referencia del terreno. La orientación externa no es más que relacionar dos sistemas de referencia, el de la imagen y el sistema de referencia vinculado al terreno. La relación entre el sistema de coordenadas de la imagen y el terreno es un cambio de sistema de referencia donde existe una traslación y un cambio de base es decir tres rotaciones que bien hacer las bases de los dos sistemas ortonormales que debe guardar la misma escala en ambos sistemas.

Figura 24

Orientación de fotos externa



Fuente: “Principios de cartografía, fotogrametría y sistemas de posicionamiento por satélite”

Las variables $(X_0; Y_0; Z_0)$ son las coordenadas del centro de proyección de la imagen en el sistema de coordenadas del terreno.

Las rotaciones (ω, ϕ, κ) se encuentran en torno a los ejes del sistema de coordenadas de la imagen, que se referirán al sistema de coordenadas del terreno.

El objetivo principal de las imágenes obtenidas a través de los RPA es realizar diferentes tipos de análisis cualitativos y cuantitativos. Consiste el análisis cualitativo en estimar los elementos físicos de la superficie que pueden ser diferenciados la cobertura terrestre, estimar características físicas o químicas de la vegetación, suelo, entre otros. En

cambio, las imágenes rectificadas evalúan cuantitativamente los elementos de la superficie terrestre, siendo posible derivar a partir de una imagen mediciones de distancias, áreas y volúmenes de los objetos. En el procesamiento de imágenes obtenidas con RPA, se obtienen:

Nube de puntos densa: Es el conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional. Estos vértices se identifican como coordenadas X, Y, la altura Z y son representaciones de la superficie externa de un objeto.

MDE (modelo digital de elevaciones): Estos modelos se crean a partir de una nube de puntos generada y procesada en el software del procesamiento fotogramétrico, correspondiendo cada punto a unas coordenadas x, y, z. Luego se transfieren los datos a un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) que es capaz de georreferenciar. El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con el proceso de rasterización representa, el relieve de la superficie del terreno incluidos las infraestructuras, edificaciones, vegetación, etc. Los modelos, aportan la altitud de cada punto, información útil para analizar el terreno que se obtiene a partir del cálculo de variables propios del álgebra de mapas, como es la pendiente, la orientación, la curvatura, la rugosidad, la visibilidad o la dirección del flujo.

Malla 3D: Se puede usar una nube de puntos para crear una malla 3D, que conecta los puntos con triángulos para formar un diagrama 3D del área con un aspecto realista. El resultado final es una imagen tridimensional navegable.

Modelo 3D: Modelos que se han agregado una tercera dimensión de profundidad. Las formas tridimensionales tienen profundidad o altura, longitud y ancho.

Orto mosaico: Las imágenes corregidas tanto en su geometría y posicionadas en un sistema de referencia, por medio de la restitución digital, se genera un mosaico rectificado u ortomosaico de la zona levantada con imágenes. Los ortomosaicos han sufrido un proceso

de corrección de los errores por desplazamiento y por elevación, y se encuentran concatenados a un sistema de referencia, Esto hace que la unión entre imágenes sea más rápida y el mosaico que resulte corresponda a una proyección horizontal del terreno.

2.8 Construcción de Pozos

Luego de la etapa de diseño del pozo viene el proceso de construcción que comprende la perforación, desarrollo del pozo, desinfección y limpieza y selección del equipo de bombeo.

Métodos de perforación

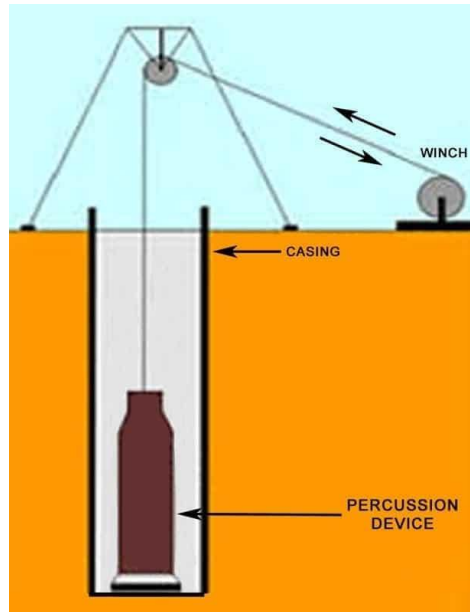
(Vélez, 2011), Según el tipo de roca que conforma la formación, existen métodos de perforación dependiendo de la profundidad y el diámetro del pozo, tipo de formación a ser penetrada y el uso que vaya a dar al pozo. Los métodos de perforación principales son:

Percusión por cable

(Vélez, 2011) Con este método se realiza la perforación mediante el movimiento de subida y bajada de un peso muy pesado que al caer en caída libre fractura o disgrega la roca, que después son extraídos por medio de una cuchara de limpieza. Los elementos que intervienen en la construcción de un pozo por este procedimiento son:

- La columna de perforación.
- El cable, que le imprime a la columna el movimiento de vaivén que le comunica el balancín de la sonda.
- La sonda o máquina de perforación que desde la superficie del terreno proporciona a la sarta (por medio de un balancín), el movimiento de vaivén.

Figura 25
Percusión directa



Fuente: <https://www.massenzaperforadoras.es/la-perforacion-de-percusion/>

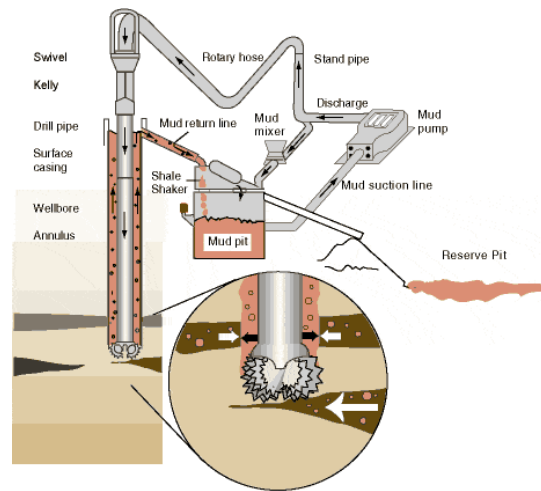
Rotación con circulación directa

(Vélez, 2011). Menciona que los elementos fundamentales que intervienen en la realización de un pozo a rotación con circulación directa, son:

- La columna de perforación.
- La máquina de perforar que, desde la superficie, produce en la columna el movimiento de giro y avance que se transmite a la broca.
- El fluido de perforación que es básicamente un lodo bentonítico, con aditivos permite adecuar sus características a las necesidades de la perforación.

Figura 26

Rotación con circulación directa



Fuente: <https://www.massenzaperforadoras.es/perforacion-mediante-circulacion-directa/>

Perforación rotatoria con circulación invertida

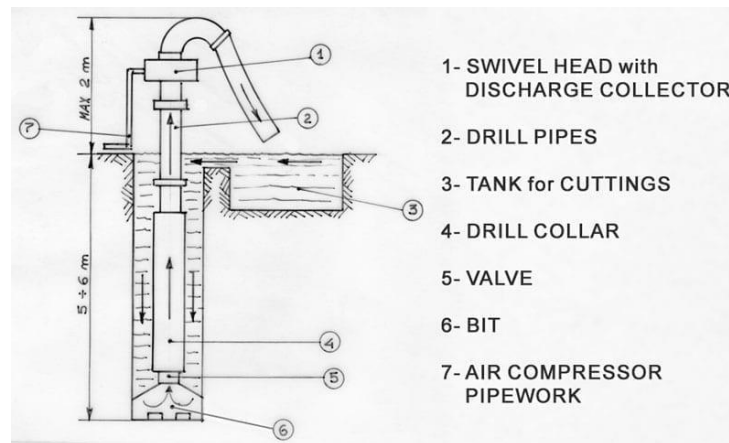
(Vélez, 2011). En el caso que el diámetro de una perforación sea grande, la velocidad del lodo en el anular ubicado entre la pared del varillaje y el terreno, es muy pequeña e insuficiente para elevar el detrito o ripio a la superficie, esto hace lenta y peligrosa la perforación. ¿Se procede a invertir el sentido de circulación del lodo; se hace descender por el anular y retorna por el interior del varillaje que, es de mayor diámetro. Las ventajas principales son:

- Una capacidad muy grande de extracción de detrito debido a la alta velocidad del lodo en el interior del varillaje.
- Poca velocidad de descenso del lodo por el anular, mínima erosión de las paredes del terreno, disminuido aún más por tratarse de lodo limpio, sin partículas de detritus.

- Se puede emplear, si la formación se sostiene, lodos de baja densidad y viscosidad, por la capacidad de arrastre del detritus puesto que tiene una alta velocidad en el interior del varillaje. Éstos lodos ligeros, que pueden ser agua limpia, tiene la ventaja de no correr riesgos de impermeabilizar acuíferos de escasa presión.

Figura 27

Perforación rotatoria con circulación invertida



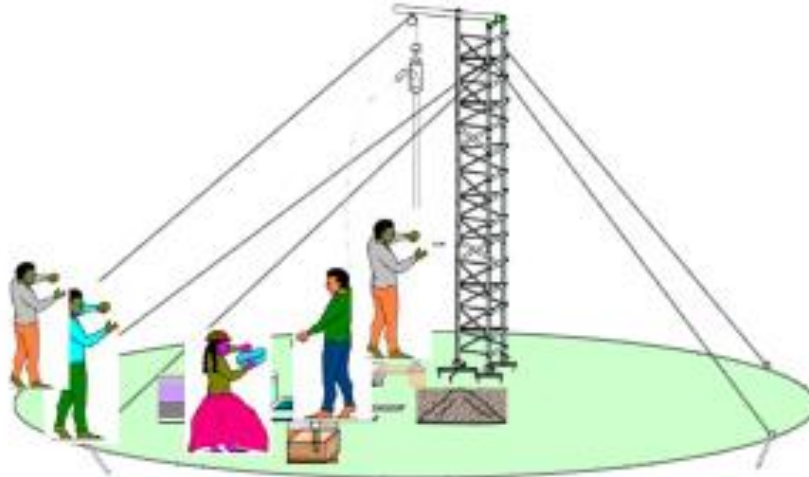
Fuente: <https://www.massenzaperforadoras.es/perforacion-mediante-circulacion-inversa/>

Perforación manual

Se construyen utilizando herramientas manuales como picos, palas, etc., o equipo para excavación como cucharones de arena. De poca profundidad y se usan donde el nivel freático está cerca de la superficie. La ventaja principal es que se construyen herramientas manuales, su gran diámetro hace posible que su reserva de agua sea considerable dentro del pozo.

Figura 28

Perforación manual



Fuente: <https://slideplayer.es/slide/11194730/>

2.9 Procedimiento

Software de planificador de vuelo

Usamos el software DroneDeploy plataforma en línea que permite la captura de imágenes desde vehículos aéreos no tripulados o RPA, procesa mapas y crea modelos en 3D.

Se basa en dos componentes:

1. Automatización de vuelo y captura de imágenes mediante el RPA Phantom 4 DJI.
2. Procesa y analiza los datos adquiridos en sus servidores para obtener mapas en dos dimensiones (ortofotos) o modelos en tres dimensiones, para exportar al formato requerido.

Figura 29

Software DroneDeploy



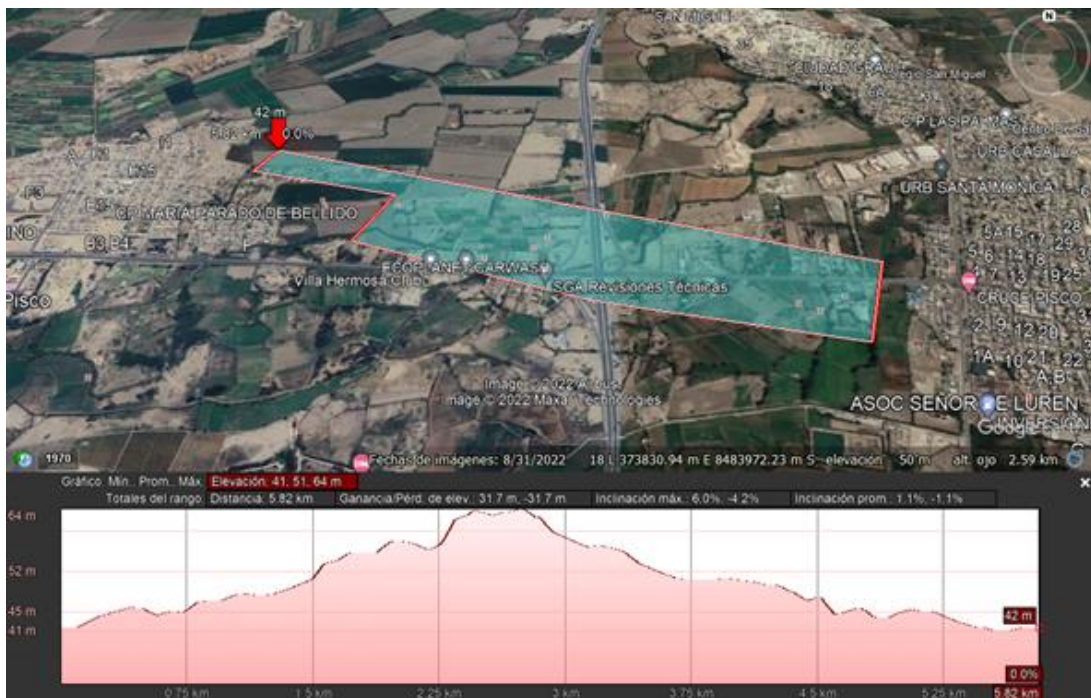
Fuente: https://terradron.cat/planificar_vuelo_drones_dronedeploy/

Plan de Vuelo

Se delimitó la zona de vuelo se utilizando una imagen georreferenciada en el Google Earth, en coordenadas UTM y las alturas del perímetro del terreno luego fue exportada al software DroneDeploy.

Figura 30

Plan de Vuelo en Google Earth

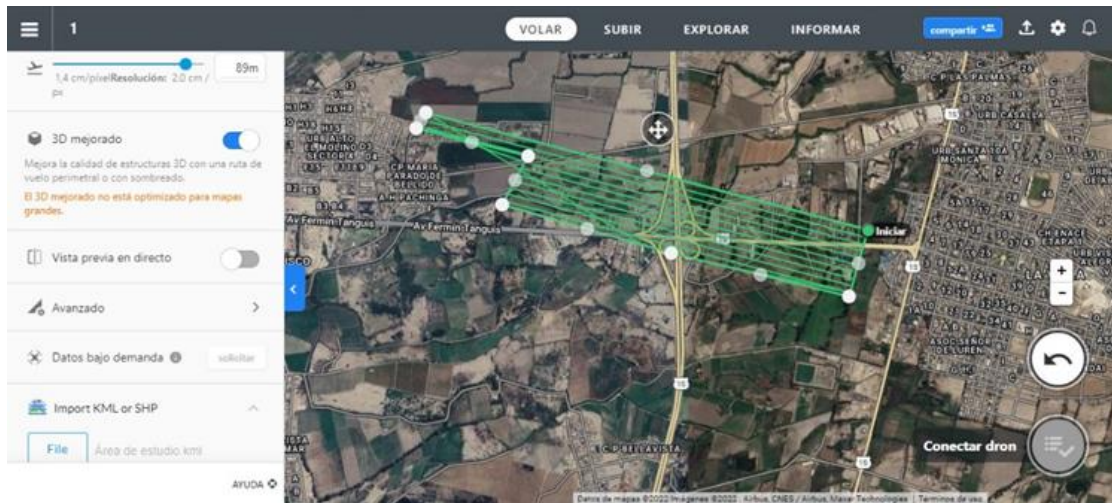


Fuente: Google Earth Pro

La planificación de vuelo en el programa Drone Deploy se efectúa con la delimitación del área a fotografiar resultante que se importó de Google Earth.

Figura 31

Plan de Vuelo en el software DroneDeploy



Fuente: Software DroneDeploy (2022)

Se va al gestor de vuelo que permite cargar imágenes de la cámara a una altura similar. El programa detecta la distancia focal de la cámara y la resolución. Al seleccionar la altura de vuelo el programa calcula el número de pasadas necesarias para cubrir la zona a fotografiar. Se puede variar el porcentaje de solape de las imágenes tanto en transversal como en longitudinal. Estos datos son enviados al RPA por medio de la telemetría instalado tanto en el RPA como en la PC. El RPA hace un despegue vertical siguiendo esta ruta que se ha asignado.

Con los datos extraídos vemos que la altura varía entre las cotas 33 y 63 m.s.n.m. En este caso la altura de vuelo es de 90.00m.

En el programa DroneDeploy se elige los parámetros de: solapamiento de imágenes transversal y longitudinal, la altura de vuelo, número de pasadas, distancia a recorrer.

Tabla 8*Parámetros de vuelo.*

Superposición frontal o solapamiento de imágenes transversal	75%
Superposición lateral o solapamiento de imágenes longitudinal	65%
Velocidad de vuelo	15 m/s
Perímetro a recorrer	5.75 km

Fuente: Software DroneDeploy

Instrumento de Vuelo – RPA

El RPA DJI Phantom 4 Pro se mueve en la dirección que el software Dronedeploy a establecido en el modo Estándar que sigue la ruta a una velocidad constante con la cámara orientada en la dirección del vuelo. Al terminar el vuelo en el modo Regreso a casa puede elegir automáticamente la mejor ruta para regresar a casa dependiendo de las condiciones ambientales.

Figura 32*RPA Phantom 4 Pro DJI*

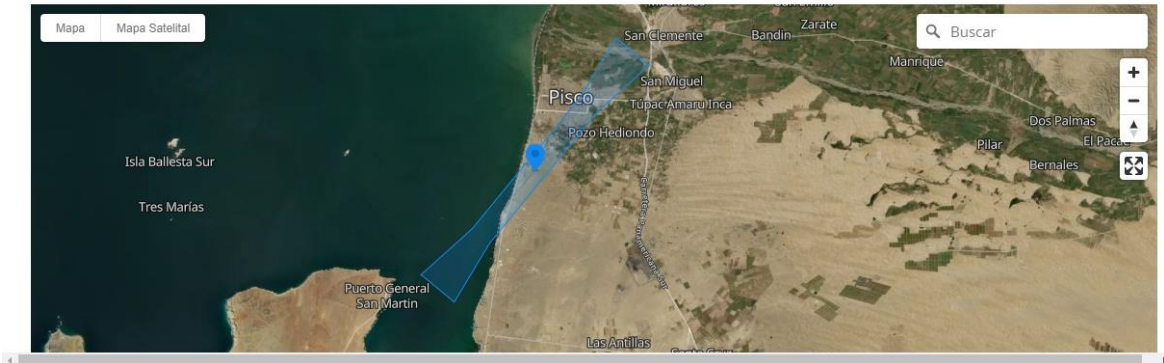
Nota: Modelo usado en el estudio. Tomado de: <https://www.dji.com/phantom-4>

Inicialmente el área en estudio era de 90 Ha, pero debido a la zona de exclusión en que se encuentra Pisco se redujo a 78.20 Ha.

Figura 33

Zona de exclusión aérea

El sistema GEO es únicamente consultivo. Cada usuario es responsable de verificar las fuentes oficiales y determinar qué leyes o regulaciones podrían aplicarse a su vuelo. En algunos casos, DJI ha seleccionado parámetros generales ampliamente recomendados sin determinar si esta guía coincide con las regulaciones que pueden aplicarse específicamente a usted.



Fuente: <https://www.dji.com/flysafe/geo-map>

Pasos en campo

Se inicia con el armado de las hélices del Phantom 4, teniendo en cuenta el sentido de giro, seguidamente se arma el mando con la Tablet conectando ambos mediante un cable para proceder a encender. El modo (A) de Actitud desactiva la estabilización de satélites y mantiene la altitud, el modo deportivo (S) del mando agrega agilidad adicional y mayor velocidad y el modo de posición (P) es para vuelos apoyados en satélites detección de obstáculos y posicionamiento, opción que se elige porque vamos a efectuar vuelos autónomos con lo cual el joystick no se utilizará sin olvidar que las antenas estén siempre extendidas para que haya una buena telemetría entre la nave y el mando, comprobar si las dos baterías están cargados completamente para finalmente proceder al encendido.

Una vez encendido abrimos el aplicativo Dronedeploy hasta que reconozca al RPA Phantom 4 que estamos utilizando y despegamos. El vuelo se efectuó en la mañana para evitar el sol que nos da sombras y brillos que puede inducirnos a error en los análisis de las fotos y los vientos fuertes, Al ser el vuelo autónomo no se manipula el RPA tanto al despegar

como al finalizar el vuelo, pero si es necesario que dicha área este despejada en un radio aproximado de 5 m. Se saca las hélices y el micro USB para descargar las fotos en la PC, dando por terminado el trabajo en campo.

Figura 34

Vista parcial del vuelo con RPA

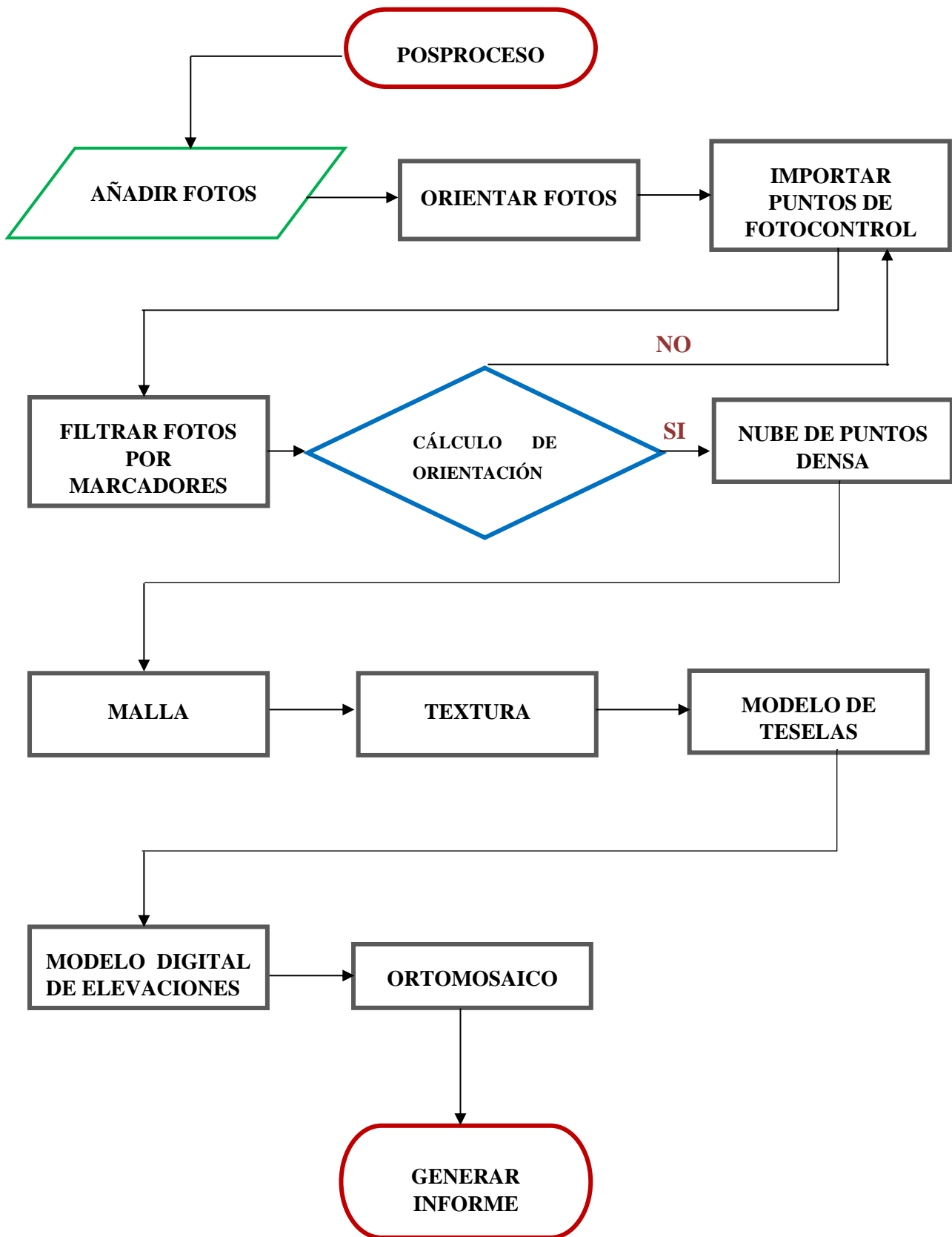


Nota: Elaboración propia. Tomado del RPA Phantom 4 Pro DJI (2022)

2.10 Consideraciones Éticas

Se tendrá en cuenta los siguientes aspectos éticos en el desarrollo de la investigación: La obtención de información, opiniones buscará ser lo más objetivo posible. Se ha considerado respetar el conjunto de estándares creados por la Asociación Psicológica Americana-APA, con el objetivo de agrupar las formas que se siguen para los trabajos de investigación las cuales se encuentran estandarizadas de manera global, así como también el uso de citas y referencias textuales, mediante el cual deben estar completamente justificado.

Figura 35
Diagrama de posproceso



CAPÍTULO III: RESULTADOS

Los resultados se da gracias al proceso fotogramétrico mediante el software Agisoft Metashape Professional, tiene como característica un módulo para procesamiento automatizado utilizando Python y un procesamiento de imágenes de sensores multispectrales en su versión 1.7.3 build 12115.

Determinar como el vuelo de un RPA nos permite ubicar los pozos en la margen izquierda del rio Pisco.

El vuelo de un RPA nos permite ubicar los pozos en la margen izquierda del rio Pisco generando un informe producto del procesamiento de fotografías con los resultados siguientes:

Tabla 9

Datos iniciales.

Número de imágenes	992
Imágenes alineadas	992
Altitud media de vuelo	88.70 m
Resolución en terreno - GSD	2.35 cm/pix
Área cubierta	0.782 km ²
Puntos de paso	646,936
Proyecciones	4,269,051
Error de reproyección	0.611 pix

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

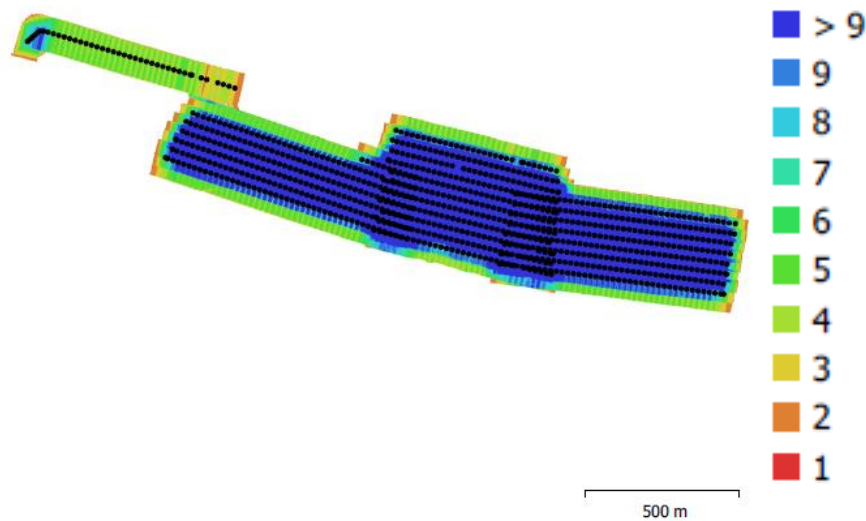
El número de imágenes es igual al número de imágenes alineadas o cámaras orientadas lo que representa 100% de orientación interna.

La altura que se programó en el software es de 90.00 m, pero vemos en el reporte que nos da una altitud media de 88.70 m, debido a la distancia focal de la cámara.

La resolución en terreno o GSD de 2.35 cm/pix, indica que en cada píxel de la imagen tenemos 2.35 cm de terreno.

Figura 36

Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.



Nota: Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

En el informe del traslape, los mejores valores están a partir del 7, con lo cual el traslape del estudio es óptimo.

Tabla 10

Tabla de informe de las cámaras.

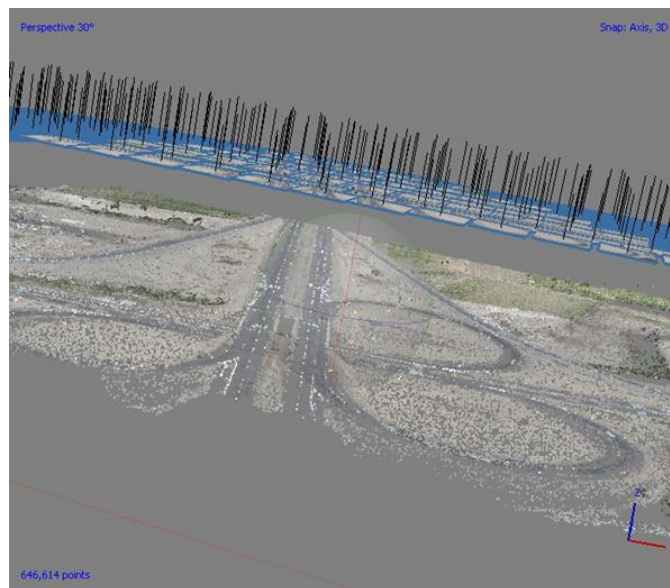
Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal (mm)	Tamaño de píxel (micras)	Precalibrada
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.80	2.61 x 2.61	No

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

Importación de imágenes: Dado la extensión del proyecto de 78.20 Ha, se programó cinco vuelos con una altura de 90.00m, el primer resultado del paso del RPA son la importación de imágenes, alineación de imágenes para buscar puntos comunes en las fotografías para hacerlos coincidir y formar una nube de puntos dispersos. Los datos se encuentran en la Tabla 9 y Tabla 10.

Figura 37

Detalle de imágenes y nube de punto dispersa



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

Determinar como un modelo en tres dimensiones utilizando el software Agisoft Metashape nos permite ubicar los pozos construidos en la margen izquierda del río Pisco.

El software Agisoft Metashape genera un modelo en tres dimensiones X (Este), Y (Norte), y la altura Z, con los siguientes cálculos:

Tabla 11

Tabla de coeficientes de calibración y matriz de correlación.

	Valor	Error	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3372.58											
Cx	14.096	0.021	1.00	0.01	-0.03	0.02	-0.00	0.00	-0.01	0.01	0.21	-0.00
Cy	28.46	0.019		1.00	-0.02	-0.02	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.18
B1	-0.218	0.0093			1.00	-0.00	0.01	-0.02	0.02	-0.01	-0.00	0.01
B2	0.123	0.0094				1.00	0.02	0.00	0.00	-0.00	-0.01	-0.00
K1	0.0118	2.4e-05					1.00	-0.79	0.76	-0.73	-0.11	0.06
K2	-0.049	9.1e-05						1.00	-0.99	0.96	0.01	0.00
K3	0.083	0.0002							1.00	-0.99	-0.01	-0.00
K4	-0.048	0.0001								1.00	0.01	0.00
P1	0.002	5.9e-07									1.00	-0.02
P2	0.001	4.7e-07										1.00

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

El valor $F=3372.58$ es la distancia focal calculada en píxeles. Efectuando los cálculos.

$$3372.58 \times 2.61 = 8,802.4338 \rightarrow 0.0088024338 \text{ Distancia focal en metros}$$

$$F= 8.80243 \text{ mm}$$

En la base de datos la distancia focal es de 8.8mm

$$8.80243 / 8.8 = 1.00027$$

La variación es de 0.8% Se recomienda que esta variación no sea superior al 3%

Tabla 12

Errores medios de las posiciones de cámaras.

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
3.67515	1.181	1.12902	3.86025	4.02196

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

Generación de nube de puntos densa.

Tabla 13

Nube de puntos densa.

Puntos	414,209,354 de 711021
Tamaño promedio de puntos característicos	3.16765 pix
Colores de puntos	3 bandas

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

También se obtiene el mapa de profundidad con los siguientes parámetros:

Tabla 14

Mapa de profundidad.

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Numero	992

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

Nivel de filtrado agresivo significa que el software va a reconocer el terreno natural y las elevaciones de elementos existentes en dichos terrenos además depura esos puntos. Estos puntos se pueden exportar a varios formatos entre ellos a dxf, las, etc.

Nube de punto densa: En esta etapa se genera una nube de puntos densa producto de las posiciones estimadas de la cámara y la nube dispersa.

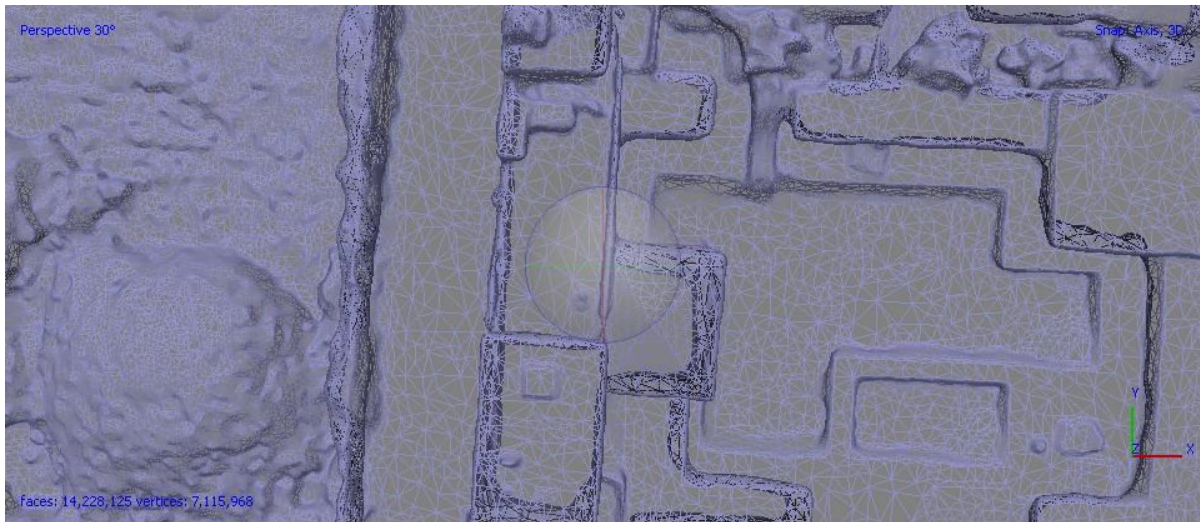
Figura 38
Nube de punto densa



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

Creación de Malla: Tomando como base la nube de punto densa se crea la malla con 14228125 caras que viene hacer la base del modelo.

Figura 39
Malla



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

Creación de Textura: Con base a la malla elaborado se continua con las opciones de flujo de trabajo se crear la textura que va sobrepuesta en la malla, y tiene los parámetros registrado:

Tabla 15

Parámetros de texturizado.

Modo de mapeado	Genérico
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096
Habilitar el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	Sí

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

Figura 40
Textura



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

Creación de Teselas: Éste proceso ayuda a liberar al procesador de la computadora porque coloca la textura a la malla creada. El resultado es:

Tabla 16

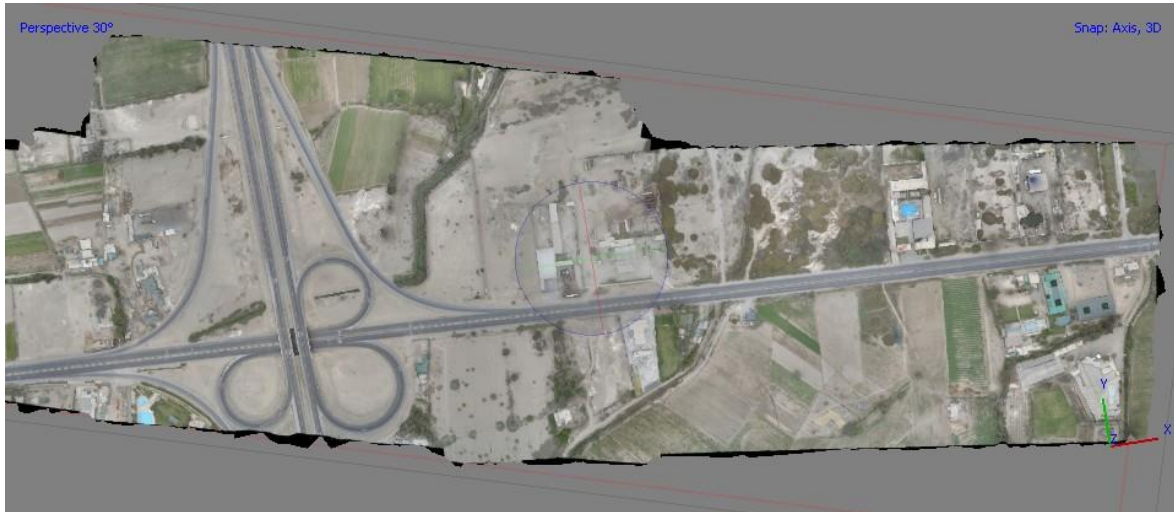
Datos de Teselas.

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Textura	3 bandas

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

Figura 40

Teselas



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

Determinar como la delimitación de la cuenca de la desembocadura del río Pisco utilizando el software Agisoft Metashape nos permite ubicar los pozos en la desembocadura del río Pisco.

Un sector de la cuenca de la desembocadura del río Pisco en su margen izquierda ha sido delimitado en el software Agisoft Metashape el Modelo Digital de Elevación con las siguientes características:

Tabla 17

Datos del Modelo digital de elevación.

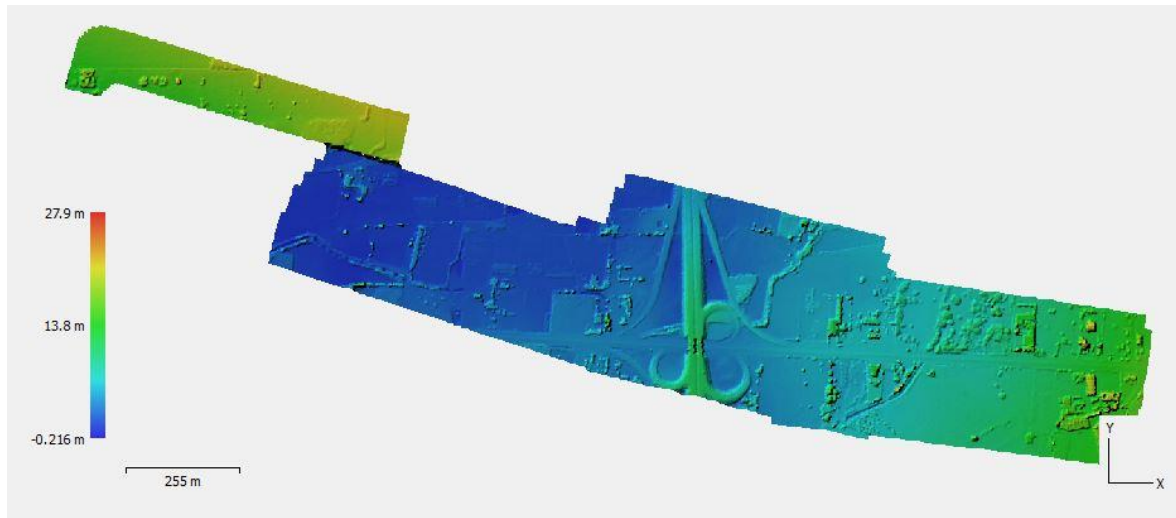
Resolución	96.70 cm/pix
Densidad de puntos	1.07 puntos/m ²
Tamaño	2613x1202

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

Modelo Digital de Elevación: El Modelo Digital de Elevación es una matriz de datos que representa la elevación, tiene una representación matricial y una representación de imagen.

Figura 41

Modelo digital de elevación



Nota: Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

Ortomosaico: La ortofoto procede de una proyección cilíndrico ortogonal con características métricas donde se puede tomar medidas. Los resultados fueron:

Tabla 18

Datos del Ortomosaico.

Tamaño	91609 x 37261
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG:32718)
Colores	3 bandas

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

Figura 42

Ortomosaico



Nota: Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

Determinar como la fotogrametría con RPA nos permite ubicar los pozos construidos en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco.

Pozos: Teniendo como referencia la ubicación aproximada en el área en estudio de pozos inscritos en el Ministerio de Agricultura y con base de datos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se encontró ocho pozos a tajo abierto.

Tabla 19

Datos de Pozos a tajo abierto.

POZO	Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Total (m)	Imagen (pix)
IRHS-11-05-06-26	-0.731608	-0.197417	0.0104741	0.757848	0.914(13)
IRHS-11-05-06-194	-0.207008	-0.334065	-0.750009	0.846737	3.117(9)
IRHS-11-05-06-193	2.60244	0.449532	0.257933	2.65355	0.164(8)
IRHS-11-05-01-19	-0.005895	0.015432	-0.0164569	0.023318	1.579(11)

IRHS-11-05-01-20	0.028534	0.0240255	-0.153131	0.157609	0.056(12)
IRHS-11-05-01-17	-0.660438	-0.139374	-1.37339	1.53029	3.619(9)
IRHS-11-05-01-18	-0.277081	0.486124	-0.94066	1.0945	0.159(13)
IRHS-11-05-01-22	0.355215	0.101913	-0.508396	0.628515	2.161(14)
TOTAL	0.999424	0.278297	0.678451	1.23959	1.865

Nota: Tomado del software Agisoft Metashape

Figura 43

Ubicación de Pozos a tajo abierto



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

Este trabajo con fotogrametría se puede utilizar no solo para ubicar pozos formales sino también para ubicar pozos clandestinos ya que en zona existen restaurantes campestres con piscina que requieren gran cantidad de agua que se alimentan con pozos que no están registrados en la Autoridad Nacional del Agua.

El área en estudio evaluada con la fotogrametría mediante vuelos con RPA abarca parte de zona agrícola, zona con desertificación, zona de autovías y parte de zona poblada con propiedades privadas y propiedades estatales. En la zona agrícola los vuelos con RPA, se puede usar para monitorear y supervisar los sembríos y la calidad de las plantaciones. La desertificación es un problema latente de las ciudades debido al cambio climático que las autoridades tanto locales como nacionales están obligados a monitorear y el vuelo con RPA es ideal para hacerlo. Los accesos caminos y carreteras propicia que los pueblos estén intercomunicados y sobretodo circulen productos y personas de un lugar a otro y el estado de los mismos debe ser optimo, los vuelos con RPA permiten este monitoreo. Al estar en la periferia de la ciudad es propicia para invasiones de terrenos y construcciones clandestinas que se pueden evitar con los vuelos en RPA.

La fotogrametría es un tema muy amplio y el vuelo con RPA al volar a una altura de 80 a 100m, nos puede dar una capacidad de visualizar cosas que no se pueden ver a simple vista.

Esta investigación lo que nos demuestra es que el uso de la fotogrametría con RPA es ideal para poder trabajar y ubicar los pozos.

El limitante principal de este trabajo de investigación se debe a que la ciudad de Pisco tiene un aeropuerto y su zona de exclusión que no hace posible efectuar vuelos de RPA en todas las zonas que uno desea.

Para una correcta georreferenciación se necesita puntos de control en tierra tomados con RTK o GPS topográfico que no disponemos. El GPS toma la altura en base al elipsoide, pero las alturas del software son alturas orto métricas geoidales es otro motivo de error que se observan en las tablas de resultados sin embargo es suficiente para que nuestro análisis tenga un resultado óptimo.

Conclusiones

1. Determinar como la fotogrametría con RPA nos permite ubicar los pozos construidos en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco.

La fotogrametría con RPA permitió ubicar pozos construidos en la margen izquierda de la desembocadura del río Pisco gracias a que mediante el posproceso del software Agisoft Metashape se consigue orientar fotos para elaborar nube de puntos densa, malla, textura, modelo de teselas, MDE (Modelo Digital de Elevación), Ortomosaico, estos parámetros permite contrastar y crear un modelo en tres dimensiones de la zona de estudio que permitió ubicar los pozos a tajo abierto contrastan con los pozos que tiene la ANA (Autoridad Nacional del Agua).

Figura 44

Fotogrametría con RPA



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

2. Determinar como un modelo en 3 dimensiones utilizando Agisoft Metashape nos permite ubicar los pozos construidos en la margen izquierda del río Pisco.

Según los resultados obtenidos para dar respuesta al objetivo, se concluye que el software mencionado realiza modelos en tres dimensiones 3D, en los ejes X, Y y la altura Z como podemos apreciar en la Tabla 11, nos va a permitir tener curvas de nivel, cálculo de volumen y otros parámetros donde obtener más información de acuerdo a las necesidades.

Figura 45
Modelo en tres dimensiones



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

- Determinar cómo la delimitación de la cuenca de la desembocadura del río Pisco utilizando el software Agisoft Metashape nos permite ubicar los pozos en la desembocadura del río Pisco.

Se concluye que la delimitación de un sector de la cuenca a explorar observando en el Modelo Digital de Elevación y la Ortofoto debe ir acompañado de un reconocimiento en tierra de la zona además de vuelos de reconocimiento para ubicar la zona probable donde podrían ubicarse los pozos de agua.

Figura 46
Zona de la Cuenca del río Pisco



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

4. Determinar como el vuelo de un RPA nos permite ubicar los pozos en la margen izquierda del río Pisco.

Se concluye que el vuelo de un RPA permitió ubicar pozos en la margen izquierda del río Pisco.

Utilizando un vuelo con RPA nos va a permitir tener una mayor amplitud y visión y poder identificar mejor los pozos en la margen izquierda del río Pisco.

Figura 47

Detalle de pozo encontrado



Nota: Elaboración propia. Tomado del software Agisoft Metashape (2022)

REFERENCIAS

- ANA (1999) *Delimitación de la faja marginal del río Pisco*. Ministerio de Agricultura.
- ANA (2006) *Estudio Hidrogeológico del valle Pisco*. Ministerio de Agricultura.
- ANA (2012) *Estudio de Delimitación y Codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú*. Ministerio de Agricultura.
- ANA (2020) *Guía para realizar inventarios de fuentes de agua subterránea*. Ministerio de Agricultura.
- Auge, M. (2006) *Agua subterránea deterioro de calidad y reserva*. Universidad de Buenos Aires.
- Cheli, A. (2012) *Introducción a la Fotogrametría y su evolución*. Ediciones Hespérides
- Estrada, A. (2021) *Comunidades vegetales y estimación de biomasa con sensores multiespectrales y sistemas aéreos no tripulados en pastizales de puna seca* [Tesis doctoral. Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional
- Flores, J., Gonzáles, A. y Ontiveros, R. (2016) *Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico*. Instituto Mexicano de Tecnología del agua, Coordinación de riego y drenaje.
- IGN (2018) *Obtención de productos cartográficos generados a partir de imágenes RPA escala 1:1000*. Ministerio de Defensa.
- INRENA (1994) *Diagnostico del aprovechamiento de aguas subterráneas del valle de Pisco*. Ministerio de Agricultura.
- León, J. (2016) *Modelación matemática para estimar los requerimientos hídricos del cultivo de papa (solanum spp.) en Riobamba – Ecuador* [Tesis doctoral. Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional
- León, L. (2019) *Análisis de la distribución espacial de arceuthobium globosum implementando teledetección en el área de protección de flora y fauna nevado de Toluca* [Tesis doctoral. Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional.
- Manual de Usuario Agisoft Metashape(2019). Standard Edition, versión 1.5

- Morales, R. (2017) *Percepción remota en la producción sustentable de cultivos tropicales* [Tesis doctoral. Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional.
- Niño, V. (2011) *Metodología de la Investigación*. Editorial Ediciones de la U.
- Ordoñez, J. (2011) *Aguas Subterráneas- Acuíferos*. Sociedad Geográfica de Lima
- Oré, M. Bayer, D. Chiong, J. y Rendón, E. (2014) *Emergencia hídrica y conflictos por el agua en una cuenca peruana: la cuenca del río Ica*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Quirós, E. (2014) *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Universidad de Extremadura.
- Resolución Ministerial N° 033-2008-AG, Ministerio de Agricultura.
- Sánchez, M. (2017) *Uso y aplicaciones de drones en minería*. Ingeniería de Minas
- Torres, J. (2017) *Monitorización 3D de cultivos y cartografía de malas hierbas mediante vehículos aéreos no tripulados para un uso sostenible de fitosanitarios* [Tesis doctoral. Universidad de Córdoba]. Repositorio Institucional.
- UNESCO (2012) *Glosario Hidrológico Internacional*. Organización Meteorológica Mundial
- UNESCO (2022) *Aguas subterráneas hacer visible el recurso invisible*. División de Ciencias del Agua, UNESCO
- Vélez (2011), *Hidráulica de aguas subterráneas*. Universidad de Colombia
- Zafra, Y. (2021) *Manual para el postproceso de imágenes obtenidas a partir de una aeronave tripulada remotamente (drone) en los softwares Agisoft Photoscan y Pix4D*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

ANEXOS

Anexo A. Especificaciones del RPA Phantom 4 Pro DJI



Especificaciones

<ul style="list-style-type: none"> • Aeronave Peso (batería incluida) Velocidad de ascenso máx. Velocidad de descenso máx. Velocidad máx. Altitud de vuelo máx. por encima del nivel del mar Tiempo de vuelo máx. Rango de temperaturas de funcionamiento Sistemas de satélite • Gimbal Rango controlable • Sistema de detección de obstáculos Rango de detección de obstáculos Entorno de funcionamiento • Sistema de posicionamiento visual Rango de velocidad Rango de altitud Rango de funcionamiento Entorno de funcionamiento • Cámara Sensor Objetivo Intervalo de ISO Velocidad de obturador electrónico Tamaño de imagen máx. Modos de fotografía fija Modos de grabación de vídeo Tasa bits máx. vídeo Sistemas de archivos compatibles Fotografía Vídeo Tarjetas SD admitidas Temperatura de funcionamiento • Control remoto Frecuencia de funcionamiento Distancia transmisión máx.: Temperatura de funcionamiento Batería Potencia de transmisión (EIRP) Tensión de funcionamiento • Cargador Voltaje Potencia nominal • Batería de vuelo inteligente (PH4 - 5360 mAh - 15,2 V) Capacidad Voltaje Tipo de batería Energía Peso neto Temperatura de funcionamiento Potencia de carga máx. 	<p>1380 g</p> <p>6 m/s (modo Sport)</p> <p>4 m/s (modo Sport)</p> <p>20 m/s (modo Sport)</p> <p>6000 m (19 685 pies)</p> <p>(límite de altitud del software: 120 m (400 pies) por encima del punto de despegue)</p> <p>Aprox. 25 minutos</p> <p>de 0° a 40 °C (de 32° a 104 °F)</p> <p>GPS/GLONASS</p> <p>Inclinación: de -90° a +30°</p> <p>de 0,7 a 15 m (de 2 a 49 pies)</p> <p>Superficies con patrón claro e iluminación adecuada (lux > 15)</p> <p>≤ 10 m/s (2 m sobre el nivel del suelo)</p> <p>de 0 a 10 m (de 0 a 33 pies)</p> <p>de 0 a 10 m (de 0 a 33 pies)</p> <p>Superficies con un patrón claro e iluminación adecuada (lux > 15)</p> <p>1/2" Píxeles efectivos: 12 M</p> <p>FOV (campo de visión) 94° 20 mm (equivalente a formato de 35 mm) enfoque f2.8 a ∞</p> <p>de 100 a 3200 (vídeo); de 100 a 1600 (fotografía)</p> <p>de 8 a 1/8000 s</p> <p>4000x3000</p> <p>Disparo único</p> <p>Disparo en ráfagas: 3 / 5 / 7 fotografías</p> <p>Horquilla de exposición automática (AEB): 3 / 5 fotografías horquilladas con sesgo de 0,7 EV</p> <p>Lapso de tiempo, HDR</p> <p>UHD: 4096x2160 (4K) 24 / 25p</p> <p>3840x2160 (4K) 24 / 25 / 30p</p> <p>2704x1520 (2.7K) 24 / 25 / 30p</p> <p>FHD: 1920x1080 24 / 25 / 30 / 48 / 50 / 60 / 120p</p> <p>HD: 1280x720 24 / 25 / 30 / 48 / 50 / 60p</p> <p>80 Mbps</p> <p>FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)</p> <p>JPEG, DNG (RAW)</p> <p>MP4 / MOV (MPEG-4 AVC / H.264)</p> <p>Micro SD; capacidad máx.: 64 GB Se necesita clasificación clase 10 o UHS-1</p> <p>de 0° a 40 °C (de 32° a 104 °F)</p> <p>de 2,400 GHz a 2,480 GHz</p> <p>conforme con FCC: 5 km (3,1 mi); conforme con CE: 3,5 km (2,2 mi) (sin obstáculos, libre de interferencias)</p> <p>de 0° a 40 °C (de 32° a 104 °F)</p> <p>6000 mAh LiPo 2S</p> <p>FCC: 20 dBm; CE: 17 dBm</p> <p>7,4 V a 1,2 A</p> <p>17,4 V</p> <p>100 W</p> <p>5360 mAh</p> <p>15,2 V</p> <p>LiPo 4S</p> <p>81,3 Wh</p> <p>482 g</p> <p>de -10° a 40 °C (de 14° a 104 °F)</p> <p>100 W</p>	

Descargue el manual de usuario para obtener más información:
<http://www.dji.com/product/phantom-4>



Este guía de inicio rápido puede modificarse sin necesidad de notificarlo con antelación.

CE 1313

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:
 (1) This device may not cause harmful interference, and
 (2) This device must accept any interference received, including interference that may cause unintended operation.

© 2016 DJI Todos los Derechos Reservados. Designed by DJI. Printed in China.

Anexo B. Parámetros de procesamiento

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	992
Cámaras orientadas	992
Marcadores	13
Sistema de coordenadas	Peru96 / UTM zone 18S (EPSG::5387)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	645,841 de 709,998
RMS error de reproyección	0.305777 (0.890747 pix)
Error de reproyección máximo	4.95176 (31.4908 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.16989 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	6.86146

Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	50,000
Puntos de paso por foto	4,500
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	44 minutos 47 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	5.54 GB
Tiempo de orientación	16 minutos 37 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	481.31 MB

Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo de optimización	36 segundos
Versión del programa	1.7.3.12115
Tamaño de archivo	91.28 MB

Mapas de profundidad

Número	992
--------	-----

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	23 horas 3 minutos
Uso de memoria	6.86 GB
Versión del programa	1.7.3.12115
Tamaño de archivo	6.32 GB

Nube de puntos densa

Puntos	414,941,781
Colores de puntos	Ninguno

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	23 horas 3 minutos
Uso de memoria	6.86 GB

Parámetros de generación de la nube densa

Tiempo de procesamiento	2 horas 50 minutos
Uso de memoria	8.42 GB
Versión del programa	1.7.3.12115
Tamaño de archivo	3.73 GB

Sistema

Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1.7.3 build 12115
OS	Windows 64 bit
RAM	15.87 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU @ 3.60GHz
GPU(s)	Intel(R) HD Graphics 630

Anexo C. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN						
APLICACIÓN DE LA FOTOGAMETRÍA CON RPA PARA UBICAR LOS POZOS CONSTRUIDOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
¿DE QUÉ MANERA LA APLICACIÓN DE LA FOTOGAMETRÍA CON RPA PUEDE UBICAR LOS POZOS CONSTRUIDOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO?	DETERMINAR COMO LOS POZOS CONSTRUIDOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO PISCO	LA APLICACIÓN DE LA FOTOGAMETRÍA CON RPA SE UTILIZA PARA PODER UBICAR LOS POZOS EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO	Variable Independiente: Aplicación de la Fotogrametría con RPA Los RPA, equipados con cámaras fotográficas digitales permite realizar tomas a partir de las cuales llevar a cabo el proceso de obtención cartográfica, además realizan vuelos de grandes extensiones de terreno en poco tiempo y con niveles de precisión óptimos. Las imágenes captadas por las cámaras del RPA son procesadas mediante programas y herramientas específicas que permiten obtener nubes de puntos más o menos densas (millones de puntos) que son un fiel reflejo de la realidad. Cristina Diego Sotro (2020).	<ul style="list-style-type: none"> Fotogrametría con RPA Fotogrametría con Cámara Digital 	<ul style="list-style-type: none"> Altura de vuelo Traslape De imágenes GSD Distancia focal Velocidad de vuelo Gimbal 	<p>Tipo de investigación: Aplicada porque hace uso de la tecnología</p> <p>Nivel de Investigación: Explicativa con enfoque Cuantitativo</p> <p>Explicativa: porque busca respuesta a una pregunta fundamental.</p> <p>Cuantitativo: Su medio es la medición y el cálculo.</p> <p>Diseño de Investigación: No Experimental de corte Transversal. No experimental: no manipula el medio. Transversal: Se centran en la comparación de determinadas características o situaciones en diferentes sujetos en un momento concreto, compartiendo todos los sujetos la misma temporalidad.</p> <p>Perspectiva: Sinóptica. Orienta el estudio como algo actual, sin referencia a su pasado o a etapas sucesivas en el tiempo</p> <p>Área de estudio: Margen izquierda de la desembocadura del río Pisco</p> <p>Población: Todos los pozos construidos en la desembocadura del Río Pisco</p> <p>Muestra: Constituido por los pozos encontrados durante el vuelo.</p> <p>Instrumentos: RPA, Agisoft, Pix4d, ArcGis, Autocad</p>
¿DE QUÉ MANERA LA DELIMITACIÓN DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO UTILIZANDO AGISOFT NOS PERMITE UBICAR LOS POZOS EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO?	DETERMINAR COMO LA DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO UTILIZANDO EL SOFTWARE AGISOFT NOS PERMITE UBICAR LOS POZOS EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO	LA DELIMITACIÓN DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO NOS PERMITE UBICAR LOS POZOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DE SU DESEMBOCADURA	VARIABLE DEPENDIENTE Ubicación de pozos construidos Pozo tubular. - Estructura hidráulica de captación de agua subterránea de mediana a gran profundidad, revestida con tubería de fierro, acero o PVC	<ul style="list-style-type: none"> Pozos Construidos con perforadoras 	<ul style="list-style-type: none"> Pozos con Perímetro construido con ladrillo. Pozos con Perímetro construido utilizando concreto armado 	<p>Área de estudio: Margen izquierda de la desembocadura del río Pisco</p> <p>Población: Todos los pozos construidos en la desembocadura del Río Pisco</p> <p>Muestra: Constituido por los pozos encontrados durante el vuelo.</p> <p>Instrumentos: RPA, Agisoft, Pix4d, ArcGis, Autocad</p>
¿DE QUÉ MANERA EL VUELO DE UN RPA NOS PERMITE UBICAR LOS POZOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PISCO?	DETERMINAR COMO EL VUELO DE UN RPA NOS PERMITE UBICAR LOS POZOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO PISCO	LA APLICACIÓN DE UN VUELO CON RPA PERMITE UBICAR LOS POZOS CONSTRUIDOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO PISCO	VARIABLE DEPENDIENTE Ubicación de pozos construidos Pozo mixto. - Estructura hidráulica de captación de agua subterránea medianamente profunda, estructuralmente conformada por un ante pozo revestido de concreto y en su interior a una mayor profundidad revestido de tubería de acero ciega y ranurada hasta un nivel suficiente para alcanzar una explotación sostenida de agua subterránea, se caracteriza por el emplazamiento de la tubería de acero que no llega a sobre salir a la superficie.	<ul style="list-style-type: none"> Pozos artesanales 	<ul style="list-style-type: none"> Pozos artesanales con una tubería de fierro para extraer el agua. Pozos artesanales sin revestimiento 	<p>Área de estudio: Margen izquierda de la desembocadura del río Pisco</p> <p>Población: Todos los pozos construidos en la desembocadura del Río Pisco</p> <p>Muestra: Constituido por los pozos encontrados durante el vuelo.</p> <p>Instrumentos: RPA, Agisoft, Pix4d, ArcGis, Autocad</p>

Anexo D. Exportación de puntos a formato DXF

