

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“ESTUDIO FOTOGRAMÉTRICO Y BATIMÉTRICO EN LA  
DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE CUATRO  
LAGUNAS ALTOANDINAS EN CERRO DE PASCO, PERÚ”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**ANGEL LEONARDO CÓNDOR RAMOS**

**LIMA - PERÚ**

**2023**

# TSP FINAL Angel Leonardo C3ndor Ramos

## ESTUDIO FOTOGRAM3TRICO Y BATIM3TRICO EN LA DETERMINACI3N DE LA DISPONIBILIDAD H3DRICA DE CUATRO LAGUNAS ALTOANDINAS EN CERRO DE PASCO, PER3

### INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://www.ptolomeo.unam.mx:8080">www.ptolomeo.unam.mx:8080</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://etd.cput.ac.za">etd.cput.ac.za</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://riunet.upv.es">riunet.upv.es</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://cdck-file-uploads-global.s3.dualstack.us-west-2.amazonaws.com">cdck-file-uploads-global.s3.dualstack.us-west-2.amazonaws.com</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://rodin.uca.es">rodin.uca.es</a> Fuente de Internet	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“ESTUDIO FOTOGRAMÉTRICO Y BATIMÉTRICO EN LA  
DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE CUATRO  
LAGUNAS ALTOANDINAS EN CERRO DE PASCO, PERÚ”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. ANGEL LEONARDO CÓNDOR RAMOS**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dra. LIA RAMOS FERNÁNDEZ  
Presidente

Mestre. JORGE LUIS DÍAZ RIMARACHIN  
Asesor

Dr. JOSUÉ ELIEZER ALATA REY  
Miembro

Mg. Sc. JOSÉ ANTONIO ORELLANA PARDAVÉ  
Miembro

LIMA – PERÚ

2023

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a todas las personas que luchan y sueñan con un mundo más justo. A aquellos que nunca se rinden, incluso cuando todo parece perdido o carece de sentido. A quienes encuentran fuerza en lo más profundo de sí mismos y siguen luchando. Gracias, nunca se rindan.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia que a pesar de todo siempre me han apoyado.

A mi hermano Rafael que siempre ha estado conmigo y lucha por entenderme.

A mis amigos.

A mis compañeros del trabajo y participantes del proyecto de batimétrica, que sin su colaboración y esfuerzo este trabajo no se hubiera podido lograr.

Al ingeniero Jorge L. Díaz Rimarachín por su paciencia y mentoría en el proceso de redacción de este trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. PROBLEMÁTICA .....	3
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos .....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	5
2.2. LEVANTAMIENTO GEODÉSICO .....	5
2.2.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS) .....	6
2.2.2. Equipo Geodésicos Receptores GPS Diferenciales.....	6
2.3. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO.....	7
2.3.1. Percepción remota .....	7
2.3.2. Aeronaves pilotadas Remotamente RPA.....	8
2.3.3. Fotogrametría con drones .....	8
2.4. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO .....	9
2.4.1. Batimetría por sonar .....	9
2.5. EQUIPOS BATIMÉTRICOS.....	11
2.5.1. Acoustic Doppler Current Profile M9 (ADCP) .....	11
2.6. BALANCE HÍDRICO EN LAGOS.....	12
<b>III. DESARROLLO DEL TRABAJO .....</b>	<b>13</b>
3.1. CONSIDERACIONES PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO.....	13
3.1.1. Tipo de proyecto .....	13
3.1.2. Ubicación de los levantamientos topográfico batimétrico - fotogramétricos...	13
3.1.3. Fases de ejecución del proyecto .....	14
3.1.4. Consideraciones técnicas .....	18
3.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO .....	22
3.2.1. Levantamiento topográfico con GNSS/GNS - GPS Diferencial .....	22
3.2.2. Levantamiento topográfico con dron mediante fotografías aéreas y puntos	

de control .....	33
3.2.3. Levantamiento batimétrico con Ecosonda ADCP M9.....	44
3.3. GENERACIÓN DE PLANOS Y CÁLCULO DE VOLUMENES .....	54
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>56</b>
4.1. RESULTADOS OBTENIDOS .....	56
4.1.1. Levantamiento GPS Diferencial .....	56
4.1.2. Levantamiento Fotogramétrico.....	69
4.1.3. Levantamiento batimétrico .....	97
4.1.4. Integración entre información Batimétrica y Fotogramétrica .....	102
4.1.5. Planos de Levantamiento Batimétrico .....	106
4.1.6. Volumen útil y curva de capacidad .....	110
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>119</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>122</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación, área y coordenadas de las lagunas .....	13
Tabla 2: Resumen del itinerario de la campaña de campo .....	17
Tabla 3: Alcance del proyecto de topografía y batimetría.....	18
Tabla 4: Características del GNSS DIFERENCIAL TRIMBLE R8 GNSS SYSTEM.....	22
Tabla 5: Nombre y tiempo de estacionamiento por cada punto base de cada laguna .....	24
Tabla 6: Datos técnicos del punto de orden 0 - “PA01” .....	26
Tabla 7: Especificaciones técnicas del dron DJI PHANTON 4 PRO .....	33
Tabla 8: Cuadro resumen de errores en X, Y, Z y error por pixel del procesamiento de la laguna Huicra.....	42
Tabla 9: Especificaciones técnicas de la Ecosonda ADCP M9 .....	44
Tabla 10: Cota y volumen de la laguna Huicra .....	55
Tabla 11: Punto de control Geodésico – proyecto topografía y batimetría .....	56
Tabla 12: Característica de los puntos de control Geodésicos .....	56
Tabla 13: Ficha Monográfica del punto PAS-01417 ubicado en la laguna Huicra.....	58
Tabla 14: Ficha Monográfica del punto BM-04 ubicado en la laguna Acococha.....	60
Tabla 15: Ficha Monográfica del punto BM-01 ubicado en la laguna Huahuacocha .....	62
Tabla 16: Ficha Monográfica del punto PAS-01417 ubicado en la laguna Huicra.....	64
Tabla 17: Cantidad de puntos de fotocontrol ubicados en cada laguna.....	65
Tabla 18: Errores generados por el modelo de la laguna Huicra.....	74
Tabla 19: Tabla de errores generados por el modelo de laguna Acococha .....	85
Tabla 20: Errores generados por el modelo en la laguna Huahuacocha.....	89
Tabla 21: Errores generados por el modelo en la laguna Alcacocha.....	95
Tabla 22: Volumen calculado de las lagunas .....	110
Tabla 23: Tabla de cota y volumen de la laguna Huicra .....	110
Tabla 24: Tabla de cota y volumen de la laguna Acococha .....	111
Tabla 25: Tabla de cota y volumen de la laguna Huahuacocha .....	114
Tabla 26: Tabla de cota vs volumen de la laguna Alcacocha.....	115



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación de la superficie de la tierra según la geodesia teórica .....	6
Figura 2: Diagrama de los elementos del proceso de percepción remota .....	8
Figura 3: Esquema de la directividad de un transductor .....	10
Figura 4: Esquema del funcionamiento de un ecosonda monohaz.....	11
Figura 5: Ecosonda ADCP M9 de la marca Sontek instalada en el soporte acoplada a un bote .....	12
Figura 6: Organigrama del proyecto.....	15
Figura 7: Área que se levantó con la fotogrametría en la laguna Huicra .....	19
Figura 8: Longitud y tamaño del área del contorno de las lagunas .....	19
Figura 9: Esquema de levantamiento fotogramétrico de lagunas .....	20
Figura 10: Ruta de navegación para la laguna Huicra.....	21
Figura 11: Distanciamiento de 20 metros entre cada línea de navegación.....	22
Figura 12: GNSS Diferencial, modelo Trimble R8 GNSS System.....	23
Figura 13: Instalación del GNSS diferencial para el trabajo de levantamiento de un punto base en la Laguna Huicra .....	24
Figura 14: Ubicación del punto PAS01417 ubicado en la laguna Huicra y su base PA01 ubicado en la ciudad de Cerro de Pasco .....	25
Figura 15: Ubicación del punto BM-05 ubicado en la laguna Alcacocha y su base PAS01417 ubicado en la laguna Huicra .....	26
Figura 16: Croquis de ubicación del punto “PA01” .....	27
Figura 17: Punto de fotocontrol siendo levantado por el GPS Diferencial Trimble – rover en la laguna Alcacocha.....	28
Figura 18: Posición final de puntos de fotocontrol ubicados - pendiente baja.....	29
Figura 19: Posición final de puntos de fotocontrol – pendiente alta .....	29
Figura 20: Posición final de puntos de fotocontrol laguna Huicra .....	30
Figura 21: Perfil de la línea de vista entre el punto Base PAS01417 y la zona lejana en la laguna Huicra.....	31
Figura 22: Vista fotográfica de los equipos GNSS-Diferencial (rover) y ecosonda sobre estructura metálica en la embarcación para el levantamiento batimétrico .....	32
Figura 23: Dron Phamton 4 PRO .....	34
Figura 24: Marcado de los puntos de control .....	35

Figura 25: Vuelo 1 ejecutado en la laguna Huicra .....	36
Figura 26: Vuelo 2 ejecutado en la laguna Huicra .....	37
Figura 27: Vuelo 3 ejecutado en la laguna Huicra .....	37
Figura 28: Vuelo 4 ejecutado en la laguna Huicra .....	38
Figura 29: Vuelo 5 ejecutado en la laguna Huicra .....	38
Figura 30: Ejecución de los planes de vuelo en la laguna Acococha .....	39
Figura 31: Ejecución de los planes de vuelo en la laguna Acococha .....	40
Figura 32: Orientación de fotografías en el software Pix4D de la laguna Huicra.....	41
Figura 33: Parámetros internos de la cámara del dron.....	41
Figura 34: Ejecución de los planes de vuelo en la laguna Huicra .....	43
Figura 35: Ortofoto de la laguna Huicra.....	44
Figura 36: Dimensiones de los equipos ADCP M9 y ADCP S5 .....	45
Figura 37: Charla de 5 minutos realizada previa a cualquier actividad realizada .....	46
Figura 38: Armado del bote.....	47
Figura 39: Armado del bote.....	47
Figura 40: Armado de la estructura soporte de los sensores del bote.....	48
Figura 41: Armado de la estructura soporte de los sensores del bote.....	48
Figura 42: Posicionamiento del punto base .....	49
Figura 43: Ingreso del bote al cuerpo de agua.....	50
Figura 44: Inicio de la navegación del bote en la laguna Huicra .....	50
Figura 45: Captura de pantalla durante el registro de la ruta de navegación.....	51
Figura 46: Representación gráfica descriptiva del equipamiento y operación del levantamiento batimétrico .....	52
Figura 47: Captura de pantalla del software RiverSurveyor Live .....	52
Figura 48: Captura de pantalla del software .....	53
Figura 49: Captura de pantalla de la relación entre los dos grupos de información.....	54
Figura 50: Captura de pantalla del cálculo de volumen por cada cota .....	55
Figura 51: Levantamiento de punto base PAS-01417 ubicado en la laguna Huicra .....	57
Figura 52: Levantamiento de punto base PAS-01417 ubicado en la laguna Huicra .....	57
Figura 53: Levantamiento de punto base BM-04 ubicado en la laguna Acococha .....	59
Figura 54: Levantamiento de punto base BM-04 ubicado en la laguna Acococha .....	59
Figura 55: Levantamiento de punto base BM-01 ubicado en la laguna Huahuacocha .....	61
Figura 56: Levantamiento de punto base BM-01 ubicado en la laguna Huahuacocha .....	61
Figura 57: Levantamiento de punto base BM-05 ubicado en la laguna Alcacocha .....	63

Figura 58: Levantamiento de punto base BM-05 ubicado en la laguna Alcacocha .....	63
Figura 59: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Huicra .....	65
Figura 60: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Huicra .....	66
Figura 61: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Acococha .....	66
Figura 62: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Acococha .....	67
Figura 63: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Huahuacocha.....	67
Figura 64: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Huahuacocha.....	68
Figura 65: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Alcacocha .....	68
Figura 66: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Alcacocha .....	69
Figura 67: Plan de vuelo 1 ejecutado en la laguna Huicra .....	69
Figura 68: Plan de vuelo 2 ejecutado en la laguna Huicra .....	70
Figura 69: Plan de vuelo 3 ejecutado en la laguna Huicra .....	70
Figura 70: Plan de vuelo 4 ejecutado en la laguna Huicra .....	71
Figura 71: Plan de vuelo 5 ejecutado en la laguna Huicra .....	71
Figura 72: Plan de vuelo 6 ejecutado en la laguna Huicra .....	72
Figura 73: Reporte del procesamiento fotogramétrico del software Pix4D en la laguna Huicra .....	73
Figura 74: Mapa de traslape de fotografías en la laguna Huicra .....	74
Figura 75 Curvas de nivel generadas del postproceso fotogramétrico de la laguna Huicra	75
Figura 76: Plan de vuelo 1 ejecutado en la laguna Acococha .....	76
Figura 77: Plan de vuelo 2 ejecutado en la laguna Acococha .....	76
Figura 78: Plan de vuelo 3 ejecutado en la laguna Acococha .....	77
Figura 79: Plan de vuelo 4 ejecutado en la laguna Acococha .....	77
Figura 80: Plan de vuelo 5 ejecutado en la laguna Acococha .....	78
Figura 81: Plan de vuelo 6 ejecutado en la laguna Acococha .....	78
Figura 82: Plan de vuelo 7 ejecutado en la laguna Acococha .....	79
Figura 83: Plan de vuelo 8 ejecutado en la laguna Acococha .....	79
Figura 84: Plan de vuelo 9 ejecutado en la laguna Acococha .....	80
Figura 85: Plan de vuelo 10 ejecutado en la laguna Acococha .....	80
Figura 86: Plan de vuelo 11 ejecutado en la laguna Acococha .....	81
Figura 87: Plan de vuelo 12 ejecutado en la laguna Acococha .....	81
Figura 88: Plan de vuelo 13 ejecutado en la laguna Acococha .....	82
Figura 89: Plan de vuelo 14 ejecutado en la laguna Acococha .....	82
Figura 90: Plan de vuelo 15 ejecutado en la laguna Acococha .....	83

Figura 91: Reporte del procesamiento fotogramétrico del software Pix4D en la laguna Acococha .....	84
Figura 92: Mapa de traslape de fotografías en la laguna Acococha .....	85
Figura 93: Curvas de nivel generadas del postproceso fotogramétrico de la laguna Acococha .....	86
Figura 94: Plan de vuelo ejecutado en la laguna Huahuacocha .....	87
Figura 95: Plan de vuelo ejecutado en la laguna Huahuacocha .....	87
Figura 96: Reporte del procesamiento fotogramétrico del software Pix4D en la laguna Huahuacocha .....	88
Figura 97: Mapa de traslape de fotografías en la laguna Huahuacocha .....	89
Figura 98: Curvas de nivel generadas del postproceso fotogramétrico de la laguna Huahuacocha .....	90
Figura 99: Plan de vuelo 1 ejecutado en la laguna Alcacocha .....	91
Figura 100: Plan de vuelo 2 ejecutado en la laguna Alcacocha .....	91
Figura 101: Plan de vuelo 3 ejecutado en la laguna Alcacocha .....	92
Figura 102: Plan de vuelo 4 ejecutado en la laguna Alcacocha .....	92
Figura 103: Plan de vuelo 5 ejecutado en la laguna Alcacocha .....	93
Figura 104: Plan de vuelo 6 ejecutado en la laguna Alcacocha .....	93
Figura 105: Reporte del procesamiento fotogramétrico del software Pix4D en la laguna Alcacocha .....	94
Figura 106: Mapa de traslape de fotografías en la laguna Alcacocha .....	95
Figura 107: Curvas de nivel generadas del postproceso fotogramétrico de la laguna Alcacocha .....	96
Figura 108: Captura de pantalla del RiverSurveyor Live de la laguna Huicra.....	97
Figura 109: Curvas de nivel generadas de la batimetría en la laguna Huicra .....	98
Figura 110: Captura de pantalla del RiverSurveyor Live de la laguna Acococha .....	99
Figura 111: Curvas de nivel generadas de la batimetría en la laguna Acococha .....	99
Figura 112: Captura de pantalla del RiverSurveyor Live de la laguna Huahuacocha.....	100
Figura 113: Curvas de nivel generadas de la batimetría en la laguna Huahuacocha.....	100
Figura 114: Captura de pantalla del RiverSurveyor Live de la laguna Alcacocha.....	101
Figura 115: Curvas de nivel generadas de la batimetría en la laguna Alcacocha .....	101
Figura 116: Topografía generada de la fotogrametría y batimetría de la laguna Huicra...	102
Figura 117: Topografía generada de la fotogrametría y batimetría de la laguna Acococha .....	103

Figura 118: Topografía generada de la fotogrametría y batimetría de la laguna Huahuacocha .....	104
Figura 119: Topografía generada de la fotogrametría y batimetría de la laguna Alcacocha .....	105
Figura 120: Plano topográfico final de la laguna Huicra.....	106
Figura 121: Plano topográfico final de la laguna Acococha .....	107
Figura 122: Plano topográfico final de la laguna Huahuacocha.....	108
Figura 123: Plano topográfico final de la laguna Alcacocha.....	109
Figura 124: Curva de capacidad de la laguna Huicra.....	111
Figura 125: Curva de capacidad de la laguna Acococha.....	113
Figura 126: Curva de capacidad de la laguna Huahuacocha .....	114
Figura 127: Curva de capacidad de la laguna Alcacocha.....	115
Figura 128: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 1.....	123
Figura 129: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 2.....	124
Figura 130: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 3.....	125
Figura 131: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 4.....	126
Figura 132: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 5.....	127
Figura 133: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 6.....	128
Figura 134: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra – página 7 .....	129
Figura 135: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 8.....	130
Figura 136: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 9.....	131
Figura 137: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 10.....	132
Figura 138: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 1.....	133
Figura 139: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 2.....	134
Figura 140: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 3.....	135
Figura 141: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 4.....	136
Figura 142: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 5.....	137
Figura 143: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 6.....	138
Figura 144: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 7.....	139
Figura 145: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 8.....	140
Figura 146: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 9.....	141
Figura 147: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 10.....	142
Figura 148: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 1 ....	143
Figura 149: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 2....	144

Figura 150: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 3....	145
Figura 151: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 4....	146
Figura 152: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 5....	147
Figura 153: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 6....	148
Figura 154: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 7....	149
Figura 155: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 8....	150
Figura 156: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 9....	151
Figura 157: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 1.....	152
Figura 158: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 2.....	153
Figura 159: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 3.....	154
Figura 160: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 4.....	155
Figura 161: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 5.....	156
Figura 162: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 7.....	157
Figura 163: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 8.....	158
Figura 164: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 9.....	159
Figura 165: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 10.....	160

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Reporte fotogramétrico del software Pix4D .....	122
Anexo 2: Planos en a escala real .....	161

## RESUMEN

El trabajo monográfico detalla los procedimientos y experiencias aplicados para el levantamiento batimétrico y fotogramétrico de cuatro lagunas alrededor Cerro de Pasco. El objetivo principal fue calcular el volumen útil de estas lagunas y generar las curvas de capacidad para respaldar el Estudio de Impacto Ambiental. Inicialmente, el proyecto original incluía siete lagunas, pero se acordó con el dueño de la información trabajar con cuatro: Huicra, Acococha, Huahuacocha y Alcacocha.

Para la georreferenciación del proyecto, se utilizó una red geodésica donde el punto base principal fue el PAS01417 ubicado en la laguna Huicra. Los puntos de control GPC-04, GPC-01 y GPC-05 se establecieron en Acococha, Huahuacocha y Alcacocha, respectivamente. Los datos se georreferenciaron utilizando un receptor GNSS/GPS Diferencial Trimble R8; se empleó un Perfilador Acústico ADCP M9 para las mediciones batimétricas y una aeronave pilotada remotamente (RPA) Phantom 4-pro para los levantamientos fotogramétricos con los que se obtuvo la topografía del entorno. Los datos de campo se procesaron con Trimble Business Center, RiverSurveyorLive y Pix4D respectivamente.

Los levantamientos se realizaron conforme al cronograma establecido. Los datos procesados se integraron mediante AutoCAD Civil3D para elaborar planos topográficos batimétrico-fotogramétricos y calcular los volúmenes de embalse útil.

Los volúmenes obtenidos fueron: 2,363,661.67 m<sup>3</sup> para Huicra, 228,238,526.54 m<sup>3</sup> para Acococha, 311,068.39 m<sup>3</sup> para Huahuacocha y 16,442,849.48 m<sup>3</sup> para Alcacocha. Las curvas de capacidad fueron calculadas con Civil3D y ploteadas en Excel.

El proyecto evidenció que realizar levantamientos batimétrico-fotogramétricos simultáneos mejora la eficiencia y calidad de la información. EnerTek, especializada en proyectos hídricos, ejecutó este proyecto como parte de la modificación del Estudio de Impacto Ambiental en el 2023. La información de las cuatro lagunas fue autorizada para este Trabajo de Suficiencia Profesional, que busca determinar la disponibilidad hídrica mediante técnicas avanzadas y contribuir al manejo adecuado de los recursos hídricos en la región.

**Palabras clave:** Batimetría, Geodésia, Fotogrametría, drones, sensores remotos, lagunas.



## ABSTRACT

The monographic work details the procedures and experiences applied for the bathymetric and photogrammetric survey of four lakes around Cerro de Pasco. The main objective was to calculate the useful volume of these lakes and generate capacity curves to support the Environmental Impact Assessment. Initially, the original project included seven lakes, but an agreement was reached with the data owner to work with four: Huicra, Acococha, Huahuacocha, and Alcacocha.

For georeferencing, a geodetic network was used with the main base point PAS01417 located in Huicra. Control points GPC-04, GPC-01, and GPC-05 were established in Acococha, Huahuacocha, and Alcacocha, respectively. The data were georeferenced using a Trimble R8 Differential GNSS/GPS receiver; an ADCP M9 Acoustic Profiler was used for bathymetric measurements, and a Phantom 4-pro Remotely Piloted Aircraft (RPA) was employed for photogrammetric surveys to obtain the topography of the surroundings. Field data were processed using Trimble Business Center, RiverSurveyorLive, and Pix4D, respectively.

Surveys were conducted according to the established schedule. The processed data were integrated using AutoCAD Civil3D to create bathymetric-photogrammetric topographic plans and calculate useful reservoir volumes.

The obtained volumes were: 2,363,661.67 m<sup>3</sup> for Huicra, 228,238,526.54 m<sup>3</sup> for Acococha, 311,068.39 m<sup>3</sup> for Huahuacocha, and 16,442,849.48 m<sup>3</sup> for Alcacocha. Capacity curves were calculated with Civil3D and plotted in Excel.

The project demonstrated that simultaneous bathymetric-photogrammetric surveys enhance efficiency and data quality. EnerTek, specialized in hydrological projects, executed this project as part of the modification of the Environmental Impact Assessment in 2023. The information from the four lakes was authorized for this Professional Sufficiency Work, aiming to determine water availability through advanced techniques and contribute to the proper management of water resources in the region.

**Keywords:** Bathymetry, geodesy, photogrammetry, drones, remote sensors, lakes.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo monográfico muestra los procedimientos y experiencias aplicadas en campo para el levantamiento batimétrico y fotogramétrico de cuatro (04) lagunas ubicadas cerca de la ciudad de Cerro de Pasco. La finalidad del trabajo es calcular el volumen útil disponible de dichas lagunas y generar una curva de capacidad (cotas vs volúmenes), información base para la gestión hídrica en el Estudio de Impacto Ambiental. Inicialmente el proyecto abarco siete (07) lagunas, pero se llegó a un acuerdo con el dueño del proyecto para disponer de la información de cuatro (04) lagunas para la redacción de la presente monografía, las cuales son laguna Huicra, Acococha, Huahuacocha y Alcacocha.

Para la georreferenciación del levantamiento batimétrico y fotogramétrico se utilizó una red geodésica que comprende a las cuatro (04) lagunas, teniendo como punto base principal el punto PAS01417, ubicado en la laguna Huicra, el mismo fue levantado con exigencias técnicas necesarias para la certificación de un punto geodésico de orden C, el punto PAS01417 utilizó como punto base la Estación de Rastreo Permanente ERP – PA01 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) , cabe indicar que los puntos de control geodésico establecidos no fueron certificado por el IGN, porque no fue solicitado por el cliente. Tomando como punto base el punto PAS01417 se establecieron los puntos de control, como el GPC-04 ubicados en la laguna Acococha, el punto GPC-01 ubicado en la laguna Huahuacocha y el punto GPC-05 ubicado en la laguna Alcacocha. Para generar la información necesaria para el cálculo del volumen útil de las cuatro (04) lagunas se utilizaron metodologías batimétricas respectivas, para las cuales se hicieron uso de un Perfilador Acústico ADCP M9 de marca Sontek, el cual nos permitió medir y registrar los valores de profundidad de las lagunas. El posicionamiento y/o georreferenciación de la información de profundidad se utilizó mediante el uso de un equipo receptor GNSS/GPS Diferencial, marca Trimble R8, operado en modo Post Processed Cinemático (PPK), de modo que los levantamientos batimétricos fueron enlazados a un punto base ubicado en la orilla de las lagunas.

Los levantamientos fotogramétricos de las lagunas se realizaron mediante el uso de una Aeronave Pilotada Remotamente (RPA), modelo Phantom 4-pro, la cual sobrevoló una franja de 40 metros en el contorno perimétrico de las lagunas, sin embargo, importante resaltar que se trató del levantamiento una franja mayor de 40 metros a solicitud del cliente, esto con la finalidad de asegurar la calidad de información dentro del área de interés. Los levantamientos fotogramétricos fueron georreferenciados con puntos de fotocontrol, ubicados en el contorno de las lagunas dentro del área de interés, estos puntos fueron amarrados de igual manera a los puntos base (GPC) correspondientes, instalados en cada una de las lagunas los mismos que fueron utilizados para la batimetría.

La ejecución de la fase campo de los levantamientos se realizó conforme a lo programado, en cumplimiento del cronograma establecido, esto es producto de la planificación por parte del equipo de trabajo destinado al desarrollo del proyecto.

La ejecución de la fase de gabinete se realizó primeramente con el procesamiento de los datos de puntos geodésicos GPC mediante uso del software Trimble Business Center (TBC), seguidamente, el procesamiento de los datos batimétricos mediante el uso del software River Surveyor Live, y el procesamiento de datos fotogramétricos se realizó mediante el uso del software Pix4D, luego mediante el uso del software AutoCAD Civil3D se ejecutó la integración de la información de ambos levantamientos para la elaboración de los planos topográficos correspondientes (planos topográficos batimétrico - fotogramétricos) y finalmente concluir con el cálculo de los volúmenes de embalse útil de agua de cada laguna. Los valores de volúmenes obtenidos son: de 2,363,661.67 m<sup>3</sup> para la laguna Huicra, de 228,238,526.54 m<sup>3</sup> para la laguna Acococha, de 311,068.39 para la laguna Huahuacocha y de 16,442,849.48 para la laguna Alcacocha. Las curvas de capacidad (altura-volumen) de cada laguna, los datos fueron calculados mediante uso de la herramienta “cálculo de volumen” del software Civil3D y finalmente fueron ploteadas en una hoja de Excel.

Los resultados y la experiencia que nos proporcionó este proyecto nos permiten demostrar que los levantamientos topográficos batimétrico-fotogramétricos, es decir en proyectos donde se requieran de la aplicación de técnicas batimétricas en levantamientos de cuerpos de agua (lagunas) como del uso técnicas fotogramétricas de superficies aledañas a lagunas es conveniente que dichos levantamientos sean ejecutados en forma paralela para luego

juntar los datos de ambos levantamientos, en un archivo único para lograr el procesamiento simultáneo de datos así como de la elaboración de un plano topográfico único ya que se trata de dos levantamientos topográficos distintos con aplicación de tecnologías distintas, pero de son parte de un mismo objetivo como es la determinación de la disponibilidad hídrica de lagunas. A igual que la batimetría la fotogrametría es una técnica topográfica con aplicación de una metodología muy eficiente sobre todo en superficies que no presentan vegetación alta, ni estructuras o construcciones muy elevadas, en este caso se trata de taludes como son los bordes de estas lagunas alto andinas.

### **1.1. PROBLEMATICA**

EnerTek es una empresa que se fundó en el año 2013, especializada en proyectos de estudios y sistemas de medición hídrica de alta precisión, en los sectores minero, hidroeléctricos e industrias relacionadas al recurso hídrico, entre los distintos servicios que ofrece tiene como uno de los principales el servicio de Batimetría.

En el año 2023 se ejecutó el proyecto llamado internamente, por EnerTek, “Levantamiento batimétrico de 7 lagunas en Cerro de Pasco”, la cual forma parte de un proyecto de “Modificación del estudio de Impacto Ambiental (MEIA)”. Este proyecto de batimetría al ser parte de un estudio de MEIA requiere que se realice con alta de precisión, a fin de poder generar la información base para el estudio. El proyecto abarco siete lagunas de las cuales seis estaban en la cercanía de la ciudad de Cerro de Pasco y una cerca al centro poblado de Lancari, a más de dos horas de la ciudad de Cerro de Pasco. El objetivo del proyecto fue calcular el volumen útil disponible en las siete lagunas y la obtención de la curva de capacidad de cada una de ella. Para la obtención de la información necesaria y calcular lo solicitado se realizaron levantamientos batimétricos en toda la superficie líquida de las lagunas y un levantamiento fotogramétrico del contorno de las lagunas.

Para efectos del presente trabajo monográfico se optó hacer uso de la información levantada de cuatro lagunas de las siete trabajadas en el proyecto ejecutado por EnerTek, las mismas que cuentan con autorización de dicha empresa para hacer uso de la información de las 4 lagunas, entre ellas: Huicra, Alcacocho, Huahuacocho y Acococho, dicha información hizo posible la ejecución del presente Trabajo de Suficiencia Profesional. El trabajo consiste en determinar la disponibilidad hídrica de cuatro (04) lagunas, mediante uso de datos

topográficos colectados mediante técnicas batimétricas y fotogramétricas. El trabajo proyectado consiste en realizar cálculos, descripción analítica y metodológica de los procedimientos aplicados en campo y en gabinete, los mismos que fueron logrados bajo la dirección de la empresa, donde el participo como parte el equipo en cumplimiento de sus servicios profesionales.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar de la capacidad de volumen de agua de las lagunas Huicra, Acococha, Huahuacocha y Alcacocha a través de técnicas fotogramétricas mediante uso de vuelos de RPA's y técnicas batimétricas mediante el uso de un Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ADCP – M9) en Cerro de Pasco.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a. Realizar el levantamiento de una red de control geodésico en el entorno de las cuatro (04) lagunas Huicra, Acococha, Huahuacocha y Alcacocha mediante uso de sistemas de posicionamiento global por satélite.
- b. Realizar el levantamiento batimétrico de las cuatro (04) lagunas Huicra, Acococha, Huahuacocha y Alcacocha mediante el uso de un equipo ADCP y equipos GNSS diferenciales de precisión.
- c. Realizar el levantamiento fotogramétrico del contorno de las cuatro (04) lagunas Huicra, Acococha, Huahuacocha y Alcacocha mediante el vuelo de aeronaves pilotadas remotamente (RPA).
- d. Determinar la capacidad volumétrica útil de las lagunas Huicra, Acococha, Huahuacocha y Alcacocha mediante técnicas topográficas y técnicas de modelamiento 3D.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

La topografía es una ciencia extensa que estudia los procesos para describir la superficie de la tierra (Jaramillo, 2023). Utiliza distintos instrumentos y técnicas de medición para obtener los datos precisos sobre el relieve, la altitud y otros elementos del terreno (Rincón-Parada y Arévalo-Vera, 2014).

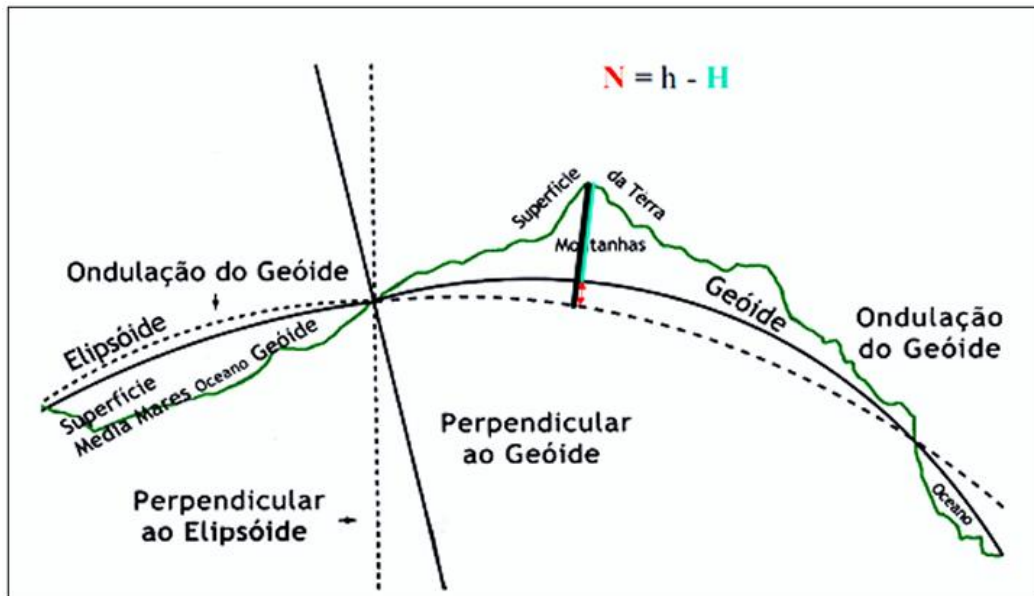
Un levantamiento topografía utiliza diversos métodos, instrumentos y métodos que nos permiten realizar las mediciones de forma más eficiente y exacta, estas también incluyen los métodos fotogramétricos mediante uso de vuelos tripulados o no tripulados.

En los últimos años, los RPA o drones han servido en el desarrollo de la topografía, estos son una herramienta bastante útil para agilizar y mejorar los tiempos en rendimiento en el desarrollo de las actividades topográficas (Mazariegos, & Ernesto, 2009).

### **2.2. LEVANTAMIENTO GEODÉSICO**

La geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensión de la tierra. (Gomasasca, 2009). La forma de la tierra es representada con precisión en un elipsoide de revolución que se genera al hacer girar una elipse alrededor de su eje menor según SEMAR (2013).

El sistema de referencia es el conjunto de medidas y reglas para la colocación de los puntos de superficie terrestre en el espacio, de acuerdo con un sistema establecido de coordenadas (Gomasasca, 2009).



**Figura 1: Representación de la superficie de la tierra según la geodesia teórica**

*Nota.* SEMAR (1974)

### 2.2.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Los sistemas de posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) actualmente conocidos como Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), son sistemas de navegación por satélites en órbita para proporcionar información precisa sobre la posición, velocidad y tiempo de cualquier lugar en la tierra (Jaramillo, 2023).

### 2.2.2. Equipo Geodésicos Receptores GPS Diferenciales

El equipo GPS Diferencial recibe y procesa información de una estación terrestre y también corrige su posición en tiempo real.

El método de trabajo de un equipo GNSS/GPS-diferencial es una técnica que utiliza dos estaciones como mínimo en simultaneo, una que trabaja como base con una posición conocida y un receptor móvil con una posición desconocida a determinar. La estación base trabaja recibiendo señales constantes de los satélites y transmite las correcciones diferenciales al receptor móvil (Plazaola, 2011).

Aplicando esta metodología podemos corregir en tiempo real la posición del GPS receptor. El GPS base analizará las señales de todos los satélites disponibles, al conocer su ubicación

este podrá calcular y corregir los errores recibidos en la recepción de la señal, al igual que podrá transmitir esta información al receptor móvil o también conocido como rover. Este procedimiento se puede realizar en tiempo real en campo trabajando en modo Real Time Kinematic o ese puede realizar en una etapa de gabinete trabajando en modo Post Processed Kinematic.

### **2.3. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO**

La fotogrametría es la disciplina que parte de fotografías aéreas para generar mapas topográficos (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2011), que mediante la convergencia de diferentes disciplinas como la óptica, la fotografía, las matemáticas y la percepción remota se puede generar productos de carácter principalmente cartográfico, según Macedo (2009).

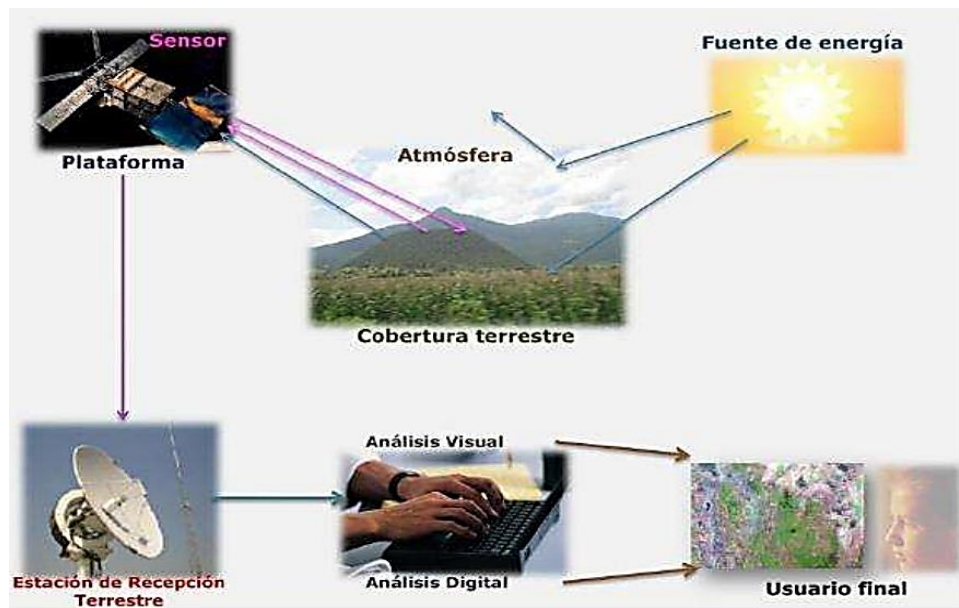
La fotogrametría se basa en la obtención de imágenes de alta calidad y la utilización de softwares especializados para el procesamiento de las imágenes y obtener modelos y representaciones de objetos o lugares físicos (Rincón-Parada y Arévalo-Vera, 2014).

Etimológicamente la palabra “fotogrametría” se estructura en base a tres (03) palabras derivadas del griego “photos” que significa luz, “gramma” que significa lo que está dibujando o escribiendo y “metrón” que significa medir. Tomando en consideración su estructura podemos definir a la fotogrametría como el ejercicio de dibujar gráficamente por medio de la luz.

#### **2.3.1. Percepción remota**

Consiste en la adquisición de información de objetos a través de análisis de una señal espectral. Generalmente los sistemas recolectan la información con sensores aerotransportados por aeronaves, satélites, etc. Que son capaces de recibir y registrar la respuesta espectral de los objetos. La información recibida es registrada en material fotográfico, o en archivos digitales que pueden ser analizados mediante algoritmos de cuantificación numérica o mediante análisis visual (Bocco, 2007).





**Figura 2: Diagrama de los elementos del proceso de percepción remota**

*Nota.* Adaptado de Lara Vásconez & Chamorro Sevilla (2018)

### 2.3.2. Aeronaves pilotadas Remotamente RPA

Según Bermúdez (2020) un RPA es una tecnología que permite la automatización de tareas repetitivas y basadas en reglas lógicas mediante la creación y ejecución de softwares.

Bermúdez (2020) señala que una de las ventajas de un levantamiento de información mediante el uso de RPA es la sustitución del hombre en lugares de difícil acceso los cuales tienden a ser peligrosos.

### 2.3.3. Fotogrametría con drones

La fotogrametría con drones combina el proceso de capturar imágenes a través de cámaras aerotransportadas por RPA o drones y utiliza softwares especializados para procesar las imágenes y generar modelos de alta precisión (Filosa, 2016). Esta técnica se utiliza actualmente en distintos campos relacionados a la ingeniería como la topografía, la planificación urbana, la gestión de recursos naturales y monitorización de obras de construcción (Martín *et al.*, 2020).

Para la aplicación adecuada de la fotogrametría con drones se deben de considerar dentro de su planificación pasos relevantes como el plan de vuelo y traslape entre fotos.

Para la ejecución correcta del plan de vuelo fotogramétrico según Herreros (2015) se debe de considerar una resolución fijada y teniendo en cuenta las características técnicas de los equipos fotográficos que definen una altura de vuelo, velocidad de vuelo, tiempos de disparo y distancia entre pasadas que aseguren una cobertura fotográfica total del área en estudio.

## **2.4. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO**

La batimetría es definida por la Real Academia de la Lengua Española (2001), como “el estudio de las profundidades oceánicas, lacustres y corrientes de agua continuas como ríos, mediante el trazado de mapas de isóbatas”.

La batimetría es aplicada para medir la profundidad de los cuerpos de agua, como océanos, lagos y ríos, esta técnica es fundamental para la gestión y administración del recurso hídrico en grandes cuerpos de agua (López, 2015).

### **2.4.1. Batimetría por sonar**

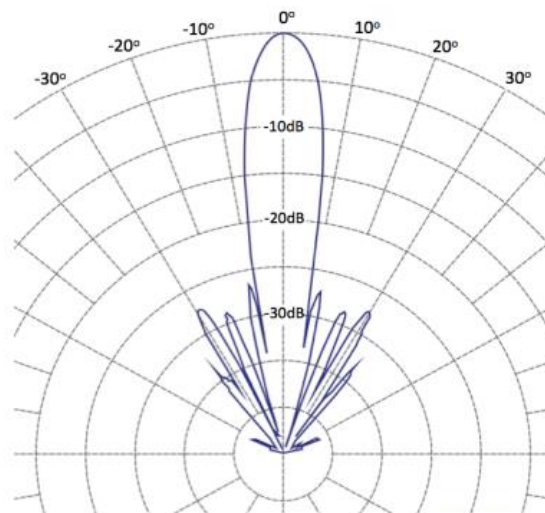
Los métodos batimétricos que emplean sonares acústicos son los más populares actualmente. Se basan en el tiempo que emplea una onda acústica en recorrer la distancia que separa el sensor con el lecho marino o fondo. Estos sonares acústicos son clasificados según el ancho del haz y dependiendo de la cantidad de haces se clasifican en ecosonda monohaz o ecosonda multihaz (León, 2003-2004).

Un ecosonda está constituido por dos elementos, el transceptor, este genera señales eléctricas, y el transductor, formado por piezas de materiales con propiedades piezoeléctricas, que cuentan con la capacidad de transformar señales eléctricas en vibraciones que generan ondas acústicas emitidas por el transductor.

El transductor emite ondas acústicas las cuales debido a su geometría y frecuencia se propagan en el espacio en una determinada dirección. Esto conforma un haz acústico donde la intensidad de la onda máxima se centra en su eje de propagación y disminuye ésta a medida que se aleja del transductor.

El haz acústico está compuesto por un lóbulo principal y los lóbulos laterales. La forma del haz acústico es específica para cada transductor, y viene determinada por la directividad del mismo.

El esquema de la directividad de un transductor se conforma por un lóbulo principal y de los lóbulos laterales está determinada por la caída de intensidad, en dB, que se produce en todos los ángulos respecto a la orientación del transductor (Nautic Expo, s.f.).



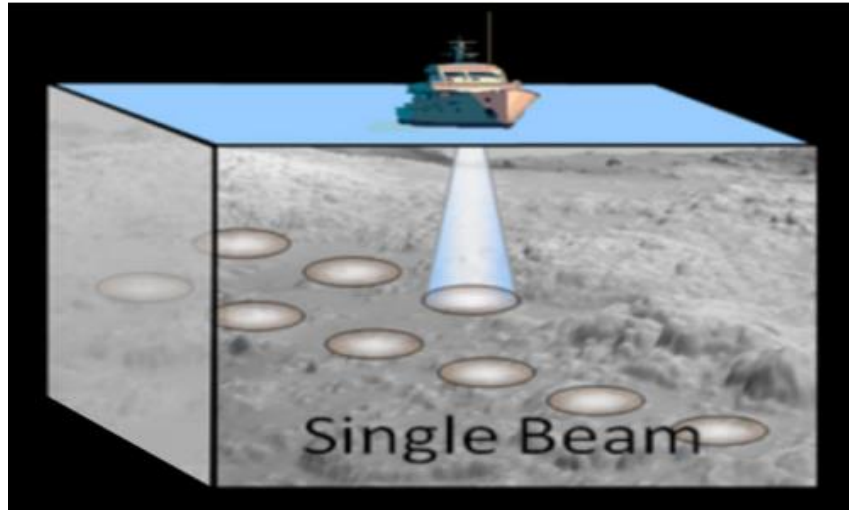
**Figura 3: Esquema de la directividad de un transductor**

*Nota.* Tomado de Nautic Expo (s.f.).

#### **a. Ecosonda monohaz**

Un ecosonda acústica monohaz es aquella que basa su funcionamiento en la reflexión vertical de una variable de pulsos acústicos emitidos, los cuales retornan a los transductores al ser reflejados por el fondo de un cuerpo de agua; y en base al tiempo que demora el proceso de retorno de la onda emitida por el transductor y la propagación del sonido en la columna de agua se determina la profundidad del fondo (Ballester y García, 2010).

La aplicación de la ecosonda monohaz o single-beam son más usadas en batimetría, debido a que en este tipo de estudios no es necesario un muestreo generalmente de un detalle milimétrico. Al igual que una de sus principales ventajas del ecosonda monohaz es el bajo coste de inversión (Ocean explorer, 2023).



**Figura 4: Esquema del funcionamiento de un ecosonda monohaz**

*Nota.* Tomado de McMahon (2014)

## 2.5. EQUIPOS BATIMÉTRICOS

### 2.5.1. Acoustic Doppler Current Profile M9 (ADCP)

El equipo ADCP M9 de la marca Sontek es un perfilador acústico que se basa en el Efecto Doppler, nombrado así por primera vez por Christian Andreas Doppler en 1842, este efecto consiste en la variación de la longitud de onda emitida o recibida por un objeto en movimiento.

Los equipos ADCP se usa frecuentemente para realizar la observación del flujo de ríos y su es aceptado en los últimos años (Hashiba *et al.*, 2000). Este dispositivo emite un impulso acústico a través del agua de manera semejante a los submarinos, a diferencia de los submarinos las frecuencias emitidas por el equipo ADCP son más altas. La energía es reflejada en las partículas presentes en el agua, y regresan parcialmente al instrumento. El equipo ADCP mide la variación de la frecuencia reflejada y utiliza este valor para calcular la velocidad del agua. Simultáneamente también al cálculo de la velocidad también puede determinar la profundidad del agua (Teledyne RD Instruments, 2001).



**Figura 5: Ecosonda ADCP M9 de la marca Sontek instalada en el soporte acoplada a un bote**

*Nota.* Fotografía del sensor ADCP M9 usado para el levantamiento batimétrico en el proyecto.

## **2.6. BALANCE HÍDRICO EN LAGOS**

El balance de aguas que almacenan lagos, ríos y humedales está dado por la relación entre la tasa de entrada y salidas de masas de agua del sistema (Wetzel, 2001). Los ingresos de agua incluyen la precipitación directa sobre la superficie del cuerpo de agua, aguas superficiales entrando al cuerpo de agua a través de tributarios, las entradas de agua a través de flujos subterráneos. Las salidas agua en cuerpos de agua incluyen la pérdida de agua por evaporación de la superficie del lago y evapotranspiración debida a plantas acuáticas, la salida superficial del agua, drenado hacia un río o al mar y la percolación subterránea.

### III. DESARROLLO DEL TRABAJO

#### 3.1. CONSIDERACIONES PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO

##### 3.1.1. Tipo de proyecto

La topografía y la batimetría guardan relación debido a que ambas estudian técnicas para la recopilación de información mediante diferentes métodos para la representación de la superficie terrestre o de cuerpos de agua (Jaramillo, 2023).

Mientras que la topografía se enfoca en las mediciones de la superficie terrestre, la batimetría se enfoca en la medición de las profundidades de cuerpos de agua. Ambos utilizan equipos de alta precisión para poder ubicar y referenciar la información recolectada. En conclusión, la topografía y la batimetría están relacionadas en el sentido que ambas técnicas buscan representar la superficie terrestre ya sea superficial o bajo un cuerpo de agua.

##### 3.1.2. Ubicación de los levantamientos topográfico batimétrico - fotogramétricos

La ubicación de las lagunas intervenidas en el desarrollo del proyecto se presenta en la Tabla 1, y se ubican en el entorno de la ciudad de Cerro de Pasco, dentro de la provincia de Cerro de Pasco, departamento de Cerro de Pasco, en la siguiente tabla se muestran las coordenadas de las cuatro (04) lagunas:

**Tabla 1: Ubicación, área y coordenadas de las lagunas**

#	Nombre	Zona UTM	Coordenadas ESTE	Coordenadas SUR	Área aproximadamente (ha)	Ubicación más cercana
1	Laguna Acococha	18 L	332000	8808080	717.0	Centro poblado Lancari
2	Laguna Huahuacocha	18 L	362432	8814555	10.4	Cerro de Pasco ciudad
3	Laguna Huicra	18 L	358180	8822987	63.8	Cerro de Pasco ciudad
4	Laguna Alcacocha	18 L	355969	8828692	353.9	Cerro de Pasco ciudad

### **3.1.3. Fases de ejecución del proyecto**

La ejecución del estudio del proyecto se realizó en tres (03) fases, las cuales nos permitieran organizar, planificar, ejecutar y procesar información de forma ordenada y clara. Las etapas planteadas para cumplir con los objetivos planteados son las siguientes:

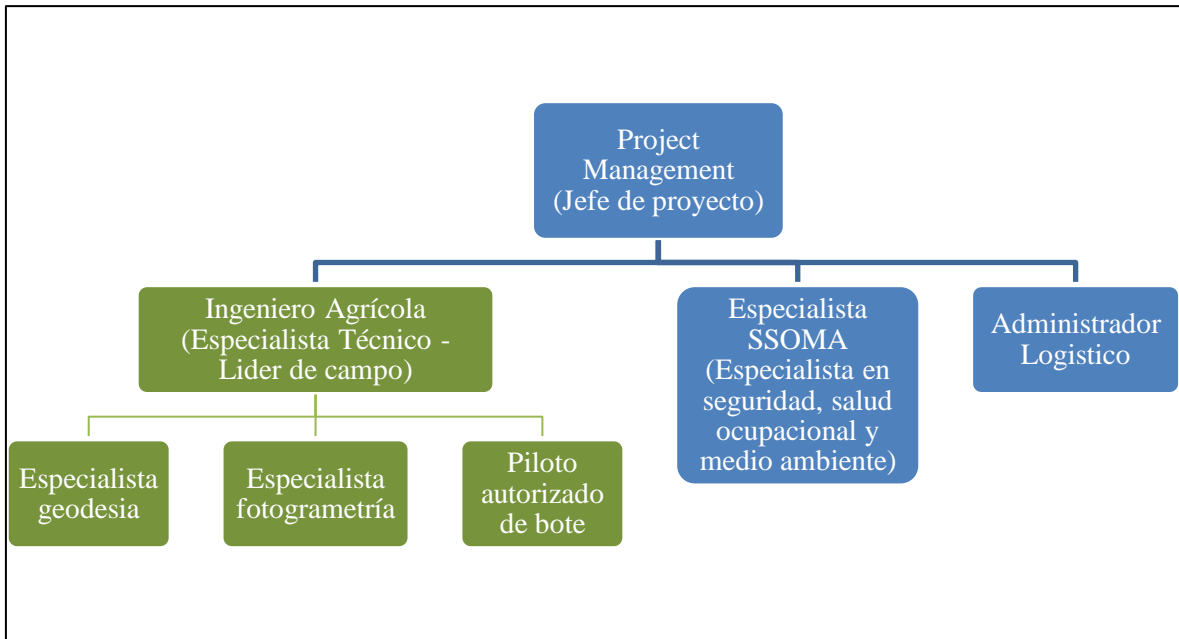
- Fase de Pre-campo (planificación y habilitación)
- Fase de campo
- Fase de gabinete

#### **a. Fase de Pre-campo (planificación y habilitación)**

En esta etapa se desarrolló la planificación y consideraciones para lograr los objetivos planteados en el proyecto. Se desarrollaron reuniones con el cliente que nos proporcionó una línea de trabajo para poder realizar la planificación y gestión de los recursos a destinar por parte de la empresa. Se desarrollaron como parte de la preparación:

- Planificación del proyecto: consiste en la evaluación de recursos, planteamiento de cronogramas, plan de trabajo y distribución de actividades para el desarrollo en campo y gabinete del proyecto. Para ello se destinó los siguientes profesionales y técnicos:
  - Ingeniero Project Management – Jefe de proyecto
  - Ingeniero Agrícola - Especialista técnico y líder de campo
  - Ingeniero SSOMA – Especialista en seguridad, salud ocupacional y medio ambiente
  - Administrador logístico – Logística
  - Especialistas en Geodesia – Personal de campo
  - Especialistas en fotogrametría – Personal de campo
  - Piloto autorizado de bote – Personal de campo
  - Conductores – Personal de campo

La administración y gestión de recursos destinados al proyecto para lograr los objetivos planteados se realizó de acuerdo al organigrama en la Figura 6.



**Figura 6: Organigrama del proyecto**

- Desarrollo de plan de trabajo: esta actividad fue realizada por el líder de campo, que en base a sus conocimientos técnicos y al entendimiento de los alcances solicitados por el cliente desarrolló un plan de trabajo, donde engloba actividades y plantea un cronograma detallado.
- Análisis de peligros y riesgos: esta actividad fue desarrollada en base al plan de trabajo planteado. Se analizaron las actividades que fueron desarrolladas en campo y se plantearon medidas de control para disminuir los peligros y riesgos existentes en campo, esta actividad también es analizada y aprobada por el cliente. Los controles que se plantearon también implicaron la modificación de actividades en campo que aseguraron la seguridad del personal.
- Habilitación del personal: esto consistió en la realización de exámenes médicos, capacitación de seguridad, charlas informativas y gestión de permisos de trabajo. Estas fueron programadas según el cronograma y fueron coordinadas por el Administrador logístico con seguimiento del Project Management.
- Actividades logísticas: esta actividad consistió en la movilización de materiales, herramientas y equipos que serán necesarios en campo. Esta actividad fue realizada por el Administrador logístico en coordinación con el líder de campo.



La finalidad de la etapa de planificación fue poder habilitar al personal que estuvo en campo y proporcionarle de todas las herramientas, materiales, equipos y permisos que fueron necesarios para el desarrollo de las actividades planificadas. Al igual que los implementos de seguridad que fueron necesarios para salvaguardar la integridad de todos los participantes y de esta manera cumplir con los objetivos planificados.

## **b. Fase de campo**

Durante la campaña de campo del levantamiento fotogramétrico y batimétrico de las cuatro (04) lagunas en Cerro de Pasco, se recolectó información suficiente para la elaboración de planos y el cálculo de algunas variables descritas en los alcances.

Para el inicio de la etapa de campo previamente se tuvo que confirmar la finalización de todas las fases involucradas en la etapa de “Planificación y habilitación”.

Las operaciones topográficas del levantamiento batimétrico en campo se realizaron mediante el uso de un equipo Ecosonda (ADCP - M9) y un equipo receptor GNSS/GPS Diferencial (rover), que permitió el posicionamiento de los puntos colectados (información recolectada), ambos equipos fueron montados en un bote modelo ZODIAC. Las operaciones topográficas del levantamiento fotogramétrico en campo se ejecutaron mediante el uso de una RPA (drone) cuadricóptero modelo Phantom-4pro que sobrevoló el contorno de las lagunas. Los levantamientos se realizaron del 15 de febrero al 09 de marzo del 2023, el detalle de las actividades diarias se precia en la Tabla 2.

Las actividades diarias durante la etapa de campo se dieron bajo las siguientes condiciones:

- 5:00 am - Inicio del día (desayuno).
- 6:30 am - Llegada a las áreas de trabajo dando apertura de documentación y protocolos de seguridad.
- 7:30 - 8:00 am - Inicio de operaciones técnicas de campo programadas.
- 2:00 pm - Culminación de las actividades del día y retiro del área de trabajo, esto por motivos de seguridad (por riesgo a lluvias y vientos). Restricción explicada en campo medidas tomas y recomendadas por el equipo de seguridad.

**Tabla 2: Resumen del itinerario de la campaña de campo**

N°	Fecha	Laguna	Itinerario de viaje / Actividades	Tiempo atmosférico
1	15/02/2023	-	Viaje de la ciudad de Lima hacia la ciudad de Cerro de Pasco	-
2	16/02/2023	-	Reunión con el cliente	-
3	17/02/2023	-	Visita de campo a las Lagunas	-
4	18/02/2023	-	Se realizó la monumentación y levantamiento del punto base de la laguna Huicra.	-
5	19/02/2023	Huicra, Yanamate y Patarcocha	Se realizó la monumentación de las lagunas Yanamate 1, Yanamate 2 y Patarcocha.	Soleado
6	20/02/2023	Huicra	Se iniciaron las actividades de batimetría en la laguna Huicra. Se iniciaron con las actividades de posición y medición de puntos de fotocontrol.	Soleado
7	21/02/2023	Huicra	Se finalizaron las actividades de batimetría en la Laguna Huicra. Se terminó la medición de los puntos de fotocontrol y se iniciaron los vuelos con dron.	Soleado
8	22/02/2023	Acococha y Huicra	Se iniciaron las actividades de batimetría en la laguna Acococha. Se realizó la colocación del punto base. Se iniciaron con las actividades de posición y medición de puntos de fotocontrol. Se terminó los vuelos en la laguna Huicra	Tormenta eléctrica a partir del mediodía
9	23/02/2023	Acococha	Se continuaron las actividades de batimetría. Se iniciaron con las actividades de posición y medición de puntos de fotocontrol.	Tormenta eléctrica a partir del mediodía
10	24/02/2023	Huahuacocha	Se iniciaron actividades a las 11 am, debido a que las camionetas requieren pasar revisión técnica. Se realizaron actividades de batimetría y fotografía en su totalidad en la laguna Huahuacocha.	Tormenta eléctrica por la tarde
11	25/02/2023	-	No se realizaron actividades de batimetría por solicitud del cliente. Se realizó un vuelo programado en la laguna Huahuacocha hasta las 8 am.	Soleado
12	26/02/2023	Acococha	Se continuaron las actividades de batimetría. Se continuaron con las actividades de posición y medición de puntos de fotocontrol.	Soleado
13	27/02/2023	Acococha	Se continuaron las actividades de batimetría. Se continuaron con las actividades de posición y medición de puntos de fotocontrol.	Soleado
14	28/02/2023	Acococha	Se continuaron las actividades de batimetría. Se culminó con las actividades de posición y medición de puntos de fotocontrol.	Soleado
15	01/03/2023	Acococha y Alcacocha	Se continuaron las actividades de batimetría en la laguna Acococha. Se culminó con los vuelos fotogramétricos de la laguna Acococha. Se realizó la medición en su totalidad de la base de la laguna Alcacocha, medición y colocación de los puntos de fotocontrol	Soleado
16	02/03/2023	Acococha, Alcacocha	Se continuaron las actividades de batimetría en la laguna Acococha. Se realizó la medición y colocación en su totalidad de los puntos de fotocontrol de las lagunas Yanamate 1 y Yanamate 2. Se avanzó con los vuelos fotogramétricos de la laguna Alcacocha.	Tormenta y granizo en la tarde
17	03/03/2023	Acococha y Alcacocha	Se continuaron las actividades de batimetría en la laguna Acococha. Se culminaron los vuelos en la laguna Alcacocha.	Tormenta y granizo en la mañana
18	04/03/2023	Acococha y Patarcocha	Se realizaron los trabajos de posición, medición de puntos de fotocontrol en la laguna Patarcocha. Se realizaron vuelos fotogramétricos en la Laguna Patarcocha. Se culminaron los trabajos de batimetría en la laguna Acococha.	Tormenta y granizo en la tarde
19	05/03/2023	Patarcocha	Se realizó en su totalidad el levantamiento batimétrico de la laguna Patarcocha	Soleado
20	06/03/2023	Alcacocha	Se iniciaron las actividades del levantamiento batimétrico de la laguna Alcacocha.	Granizada durante el mediodía
21	07/03/2023	Alcacocha	Se finalizaron las actividades del levantamiento batimétrico de la laguna Alcacocha.	Soleado
22	08/03/2023	Yanamate	Se realizaron en su totalidad el levantamiento batimétrico de la laguna Yanamate 1 y Yanamate 2	Soleado
23	09/03/2023	-	Desmovilización del equipo de batimetría	

*Nota:* Dentro del programa de actividades se incluye información sobre las acciones que se llevaron a cabo en las lagunas, tales como Patarcocha, Yanamate 1 y Yanamate 2. Sin embargo, es importante destacar que los datos topográficos y batimétricos de estas lagunas no serán presentados ni analizados en el presente documento.

### 3.1.4. Consideraciones técnicas

#### a. Consideraciones técnicas para el proyecto

Las consideraciones técnicas a utilizarse se basaron en los términos de referencia planteados por el cliente. El alcance del servicio se especifica la Tabla 3:

**Tabla 3: Alcance del proyecto de topografía y batimetría**

<b>Alcance del servicio</b>	
a.	Batimetría de la laguna con una grilla de 20m x 20m, para las Lagunas Huahuacocha y Laguna Huicra, y una grilla de 50m x 50m para las Lagunas Acococha y Laguna Alcacocha.
b.	Instalación y monumentación de un GCP en cada laguna. El GCP no serán certificados por el IGN.
c.	Topografía aérea (fotogrametría) del contorno de las lagunas con RPAS, usando puntos de control de una franja de 40 m paralela al borde de la laguna.
d.	Planos de planta de cada laguna
e.	Planos de secciones transversales de cada laguna, 20 transectos por laguna
f.	Cálculo de volumen de agua presente en el estudio de cada laguna y creación de la curva de almacenamiento de cada laguna (Cota vs Volumen).

#### b. Consideraciones técnicas para la geodesia

Las consideraciones técnicas para fijar los puntos de control geodésico GPC son los mismos alcances descritos en la Tabla 2, bajo los cuales se solicitan la monumentación de un GPC en cada una de las lagunas. La finalidad de esto es crear una red puntos de control geodésico del proyecto, desde donde se podrá georreferenciar los levantamientos batimétricos y fotogramétricos.

#### c. Consideraciones técnicas para la fotogrametría

Las consideraciones técnicas de la fotogrametría se plantean respecto a los alcances descritos en la Tabla 2, los cuales especifican cubrir una franja de 40 metros alrededor del contorno de las lagunas. En la Figura 7 se muestra el área que abarcó el vuelo fotogramétrico en la laguna Huicra, y en la Figura 8 se muestra la distancia del área abarcada en los vuelos fotogramétricos.



**Figura 7: Área que se levantó con la fotogrametría en la laguna Huicra**

*Nota:* Es importante mencionar que dentro del alcance solicitado por el cliente solo se especificó la topografía del contorno de las lagunas, por lo que se realizó el vuelo del contorno de las lagunas; esto nos limita para la generación de la otra foto de las lagunas.



**Figura 8: Longitud y tamaño del área del contorno de las lagunas**

*Nota:* Se realizó el vuelo fotogramétrico abarcando más de los 40 metros solicitados por el cliente, esto con la finalidad de asegurar una buena generación de información dentro de los 40 metros y no tener problemas por falta de información en el postproceso.

Para asegurar la precisión del levantamiento fotogramétrico se realizó la instalación de puntos de fotocontrol dentro del área el cual fue sobrevolada, los cuales fueron distribuidos cada 500 metros en línea rectas o una distancia menor en caso haya la presencia de una curva en el contorno de las lagunas. En la Figura 9 se muestra la distribución de todos lo puntos de fotocontrol presentes en la laguna Huicra.

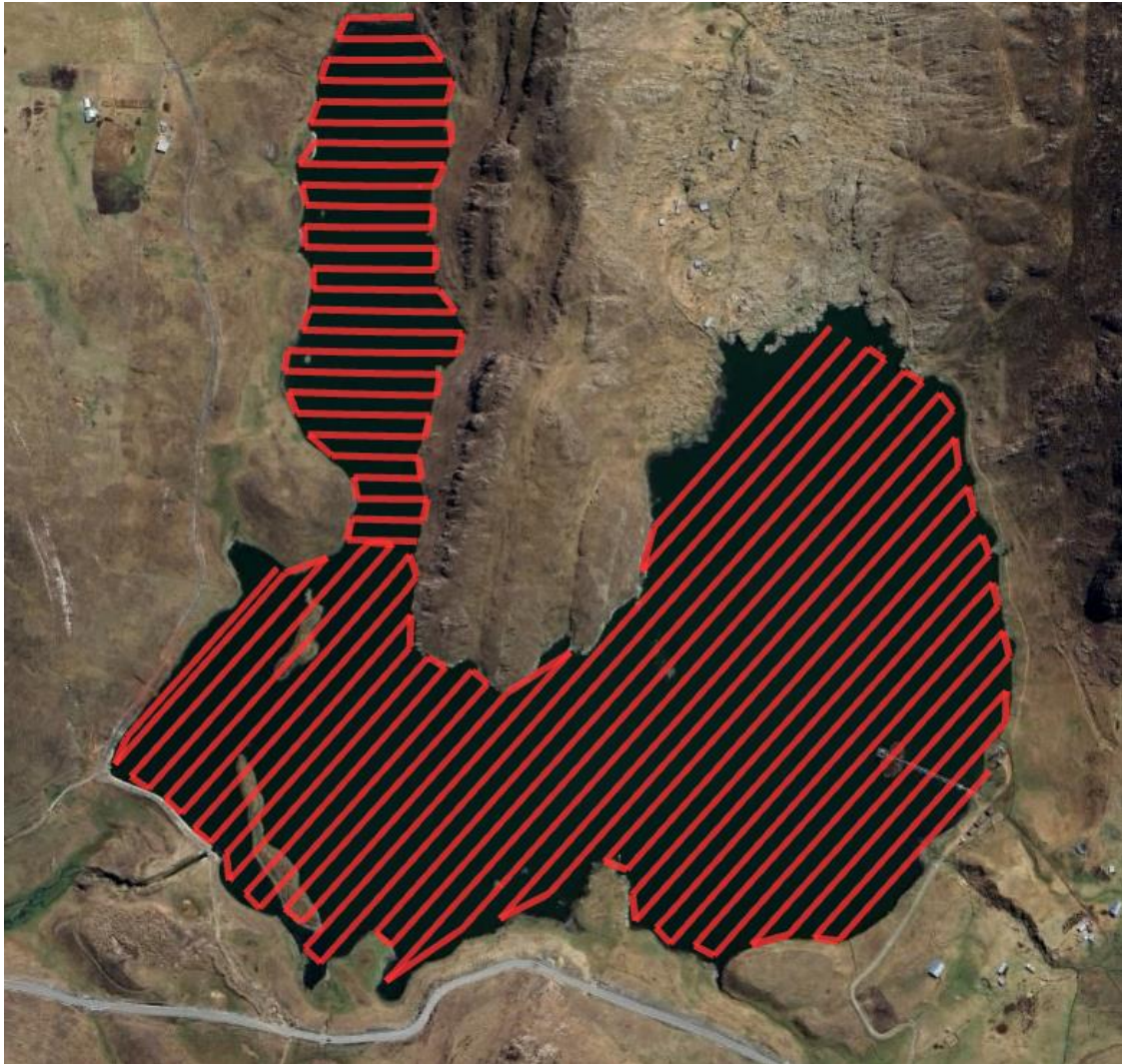


**Figura 9: Esquema de levantamiento fotogramétrico de lagunas**

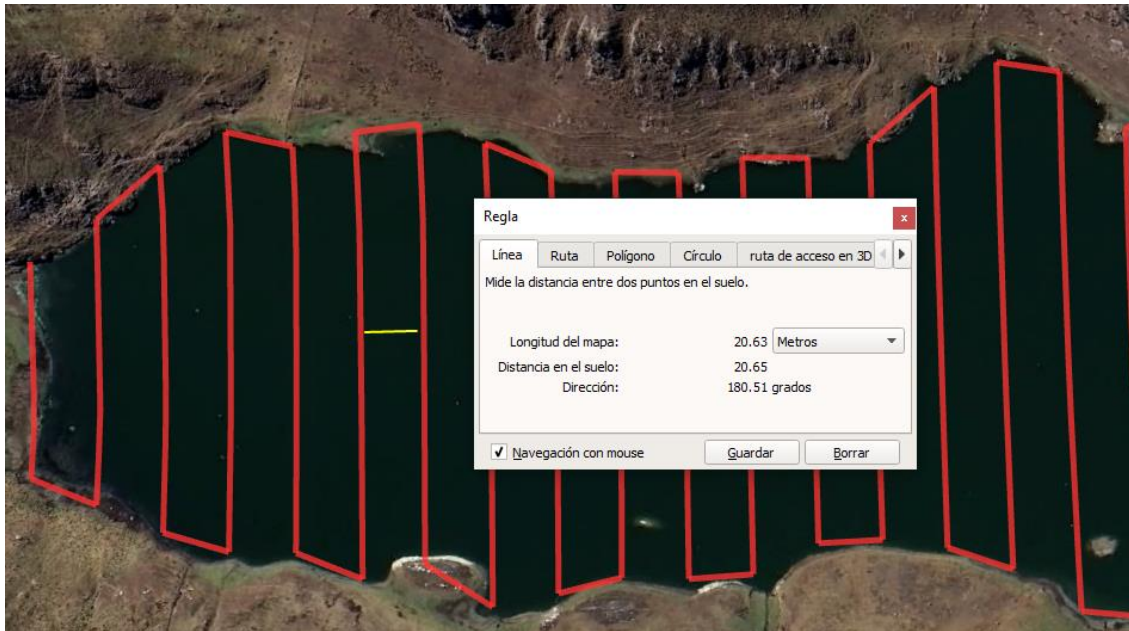
#### **d. Consideraciones técnicas para la batimetría**

Las consideraciones técnicas de la batimetría se plantean respecto a los alcances descritos en la Tabla 2, los cuales especifican una navegación con una grilla de 20 m x 20 m para las lagunas Huahuacocha y Huicra, y una grilla de 50 m x 50 m para las lagunas Acococha y

Alcacochoa. En la Figura 10 se muestra la ruta seguida durante el levantamiento batimétrico en la laguna Huicra y en la Figura 11 se muestra el distanciamiento entre líneas de navegación de la laguna Huicra.



**Figura 10: Ruta de navegación para la laguna Huicra**



**Figura 11: Distanciamiento de 20 metros entre cada línea de navegación**

### 3.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO

#### 3.2.1. Levantamiento topográfico con GNSS/GNS - GPS Diferencial

##### a. Equipo utilizado

Se utilizó un equipo GNSS-Diferencial marca Trimble, modelo R8 GNSS System, las especificaciones técnicas del equipo se detallan en la Tabla 4. En la Figura 12 se muestra la imagen del equipo.

- Características del equipo GNSS- Diferencial, modelo Trimble R8 GNSS System.

**Tabla 4: Características del GNSS DIFERENCIAL TRIMBLE R8 GNSS SYSTEM**

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL GNSS DIFERENCIAL TRIMBLE R8 GNSS SYSTEM	
Constelaciones	GPS, GLONASS, GALILEO
MSS L-Band	L1, L2 y L5 pseudo rangos de medición
Dimensiones	1.9 cm x 11.2 cm
Peso	1.35 kg
Temperatura de trabajo	-40 °C a 65°C
Resistencia al agua	IPX 7
Network RTK Horizontal	±10mm + 1ppm RMS

«Continuación»

Network RTK Vertical	$\pm 20\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$
Estático Y Fast Estático Horizontal	$\pm 5\text{mm} + 0.5\text{ppm RMS}$
Estático Y Fast Estático Vertical	$\pm 5\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$
Bluetooth	Si
Guía de Voz	Si
Almacenamiento de Datos	11 MB interna; hasta 302 horas de registro satelital
Radio	Emisor y Receptor Incorporado
Radio	Rango de Trabajo Típico 1-5 km
Función OTG (Descarga de Datos en Campo)	Si
Otras Funciones	Estación Móvil de Referencia, Repetidor, Router, CSD

*Nota.* Tomado de Yumpu (2012)



**Figura 12: GNSS Diferencial, modelo Trimble R8 GNSS System**

*Nota.* Tomado de Yumpu (2012)

#### **b. Posicionamiento Global por satélite estático – Punto base**

Es una técnica de levantamiento geodésico (GNSS) en la cual se calcula las coordenadas de un punto, a través de correcciones en tiempo real que realiza el equipo. Este levantamiento requiere solo un equipo el cual es posicionado en un punto monumentado en campo y es monitoreado por un tiempo que dependerá de la distancia a la que se encuentra una estación de monitoreo permanente del Instituto Geodésico Nacional. Este tipo de trabajo requiere de personal capacitado para poder realizar el monumentado del punto, instalación de los equipos, cálculo del tiempo de monitoreo y monitoreo del levantamiento.



El trabajo de campo necesitó que un personal se mantenga durante varias horas en el lugar del levantamiento, con el equipo GPS Diferencial estacionado, y este realice el monitoreo del correcto levantamiento de la información y cuidando que no haya algún tipo de intervención externa que pudiese alterar las lecturas, ya sea a través de animales, viento o personas ajenas al proyecto. En la Figura 13 se muestra el equipo instalado recolectando información en la laguna Huicra.



**Figura 13: Instalación del GNSS diferencial para el trabajo de levantamiento de un punto base en la Laguna Huicra**

*Nota.* Fotografía de equipos usados e instalados en campo. El posicionamiento fue corregido con la estación de monitoreo permanente PA01.

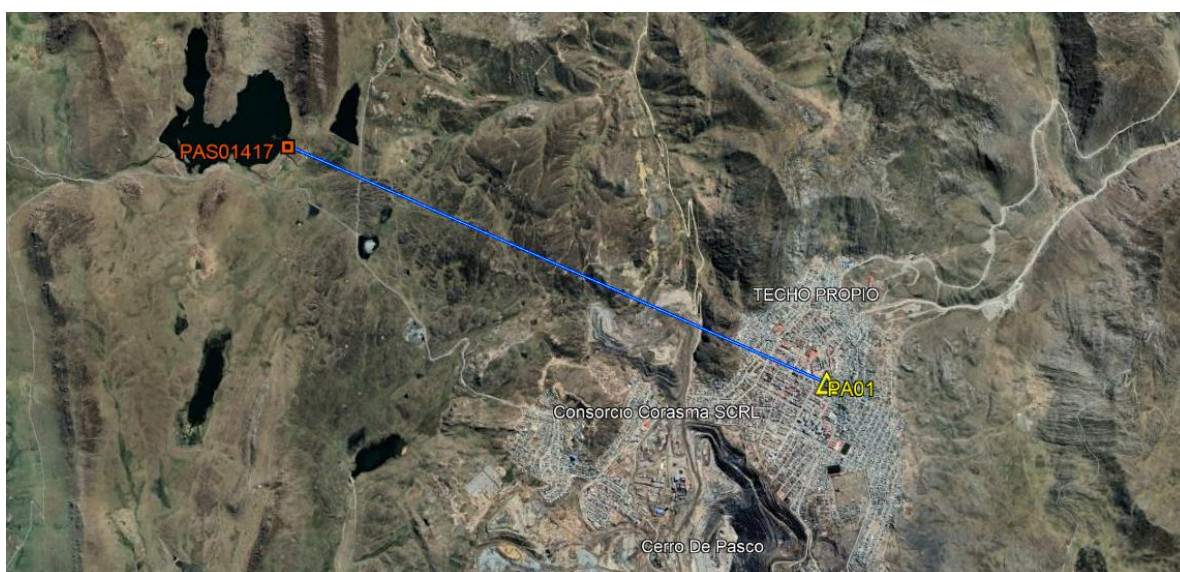
Se monumeto un punto base por cada laguna, cada punto base tuvo un tiempo distinto de lectura, este tiempo se visualiza en la siguiente Tabla 5.

**Tabla 5: Nombre y tiempo de estacionamiento por cada punto base de cada laguna**

<b>Laguna</b>	<b>Nombre de punto</b>	<b>Tiempo (horas)</b>
Laguna Huicra	PAS01417	3
Laguna Acococha	BM-04	6
Laguna Huahuacocha	BM-01	3
Laguna Alcacocha	BM-05	4

Los puntos base GPC establecidos en cada laguna no fueron certificados por el Instituto Geográfico del Perú, debido a que estos no fue parte del alcance solicitado por el cliente.

Se estableció en la laguna Huicra el punto base central GPC-central de la red de puntos de control geodésica del proyecto, el mismo que nos permitió georreferenciar todos los levantamientos batimétricos y fotogramétricos previstos. Por ello el punto base PAS01417 de la laguna Huicra se levantó teniendo como referencia el Punto de Rastreo Permanente ERP PA01 del IGN, instalado en la sede Regional de Pasco el cual es un punto de orden 0, ubicado en la ciudad de Cerro de Pasco, así como se muestra en la Figura 14. En la Tabla 6 podemos encontrar los datos principales del punto IGN “PA01”. Los puntos base GPC en cada laguna se levantó teniendo como referencia el punto base central GPC-Central PAS01417, ubicado en la Laguna Huicra, así como se muestra en la Figura 15.



**Figura 14: Ubicación del punto PAS01417 ubicado en la laguna Huicra y su base PA01 ubicado en la ciudad de Cerro de Pasco**

*Nota.* Tomado de Google Earth e información propia. Imagen generada del procesamiento del punto base PAS01417.



**Figura 15: Ubicación del punto BM-05 ubicado en la laguna Alcacocha y su base PAS01417 ubicado en la laguna Huicra**

*Nota.* Tomado de Google Earth e información propia. Imagen generada del procesamiento del punto base BM-05 ubicada en la laguna Alcacocha

Durante el establecimiento del punto de referencia base en la laguna Huicra, se aplicó la precisión técnica equivalente a un "Punto de Orden C", especificación que se encuentran en la Norma Técnica Geodésica. En la Tabla 6 se muestran los datos técnicos del Punto PA01 del IGN.

**Tabla 6: Datos técnicos del punto de orden 0 - "PA01"**

<b>Datos técnicos del punto de orden 0 – "PA01"</b>	
Información de la estación GNSS	
Nombre	Cerro de Pasco
Código Nacional	PA01
Código internacional	42222M001
Orden de estación	"0"
Fecha de monumentación	24 de junio del 2010
Información de la estación GNSS - Geodésica	
Latitud	10° 39'55.65376"
Longitud	76°15'07.63771"
Altitud Elipsoidal	4392.1611
Información de la estación GNSS – UTM	
Este (m)	363051.2785
Norte (m)	8820733.4967
Zona	18 Sur

En la Figura 16 se muestra el croquis de la ubicación del punto “PA01”.



**Figura 16: Croquis de ubicación del punto “PA01”**

*Nota.* Tomado de Instituto Geográfico Nacional (2023) El punto PA01 fue usado de punto de referencia el levantamiento del punto PAS01417 ubicado en la laguna Huicra.

### **c. Posicionamiento Global por satélite estático Modo PPK – Punto de fotocontrol**

El posicionamiento global por satélite por método estático en modo PPK es una técnica de levantamiento satelital GNSS en el cual se calculan las coordenadas de un punto de control geodésico GPC, a través de correcciones en post proceso. Este levantamiento requiere de dos equipos. Uno de ellos receptor base posicionado en un punto monumentado en campo que cumple la función de punto BASE, el segundo es movilizado por el personal de campo a puntos identificados específicos provisionales llamado “Puntos de fotocontrol”, posicionados con un receptor MOVIL (receptor rover).

Este tipo de trabajo requiere de personal capacitado para poder realizar el posicionamiento y lectura del punto de fotocontrol, instalación de los equipos y cálculo del tiempo de rastreo satelital. En la Figura 17 se muestra el levantamiento de un punto de fotocontrol en la laguna Acococha.



**Figura 17: Punto de fotocontrol siendo levantado por el GPS Diferencial Trimble – rover en la laguna Alcacocha**

La distribución y densidad de los puntos de fotocontrol estaba sujeta a la topografía del área que se voló, teniendo en consideración las siguientes pautas. Para un terreno de pendiente baja o media se instalaron 2 puntos de fotocontrol, uno cerca al del borde del cuerpo de agua de la laguna y el segundo a unos 40 a 45 metros del borde del cuerpo de agua de la laguna, en la siguiente Figura 18 se muestra la distribución con la descripción mencionada.



**Figura 18: Posición final de puntos de fotocontrol ubicados - pendiente baja**

*Nota:* Dos (02) puntos de fotocontrol ubicados al borde de la laguna Huicra en un terreno con pendiente baja.

Para un terreno con pendiente fuerte, superior al 10% se utilizó tres (03) puntos de fotocontrol, estos fueron distribuidos de forma equitativa a vista del operador en la franja de 40 metros en la misma que se sobrevoló. En la siguiente Figura 19 se muestra la distribución con la descripción mencionada.



**Figura 19: Posición final de puntos de fotocontrol – pendiente alta**

*Nota:* Tres (03) puntos de fotocontrol ubicados al borde de la laguna Huicra en un terreno con pendiente alta.

Se realizó el posicionamiento de los grupos de puntos de fotocontrol en el contorno de la laguna de tal manera en que no exista más de 250 metros entre cada uno de ellos, como se muestra en la Figura 20.



**Figura 20: Posición final de puntos de fotocontrol laguna Huicra**

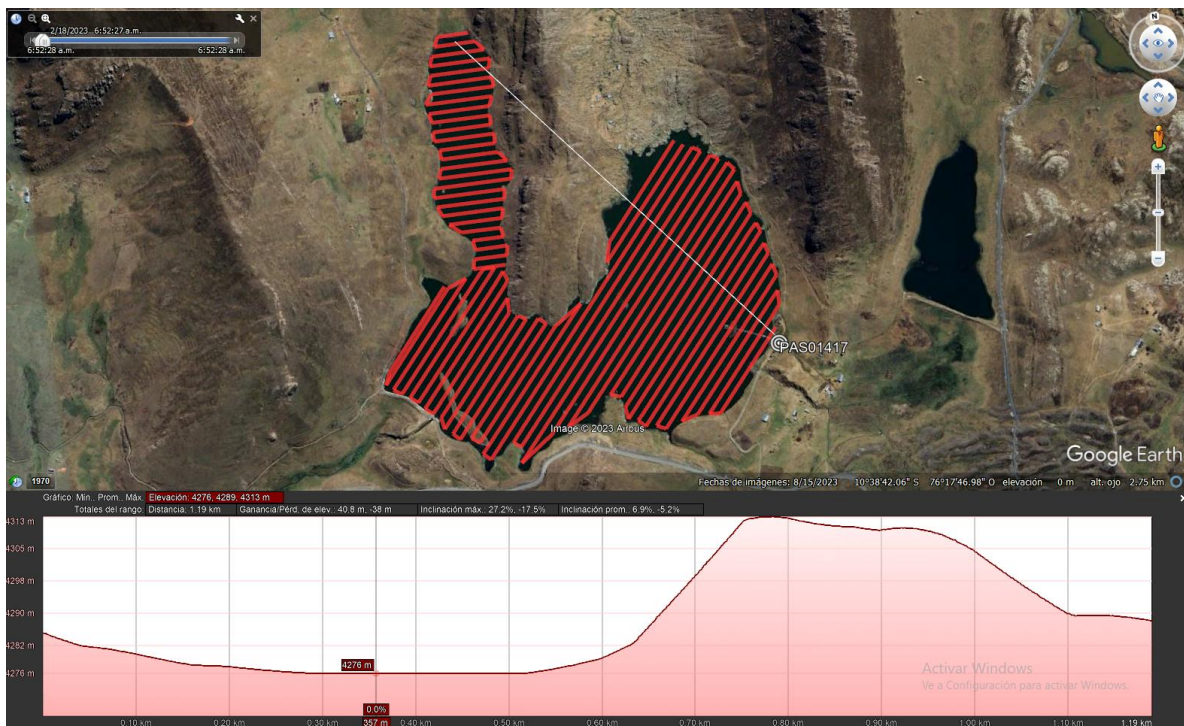
*Nota:* Puntos de fotocontrol usados para la georreferenciación del levantamiento fotogramétrico de la laguna Huicra.

#### **d. Posicionamiento Global por satélite estático modo PPK – Batimetría**

Se realizó el levantamiento batimétrico en todas las lagunas, mediante el uso de un equipo ecosonda ADCP M9 y un equipo receptor GNSS -Diferencial Trimble en modo PPK para el posicionamiento y/o georreferenciación de la información recolectada por el equipo ecosonda. Se eligió este método debido a las distancias entre la zona de embarcación, donde se ubica el receptor base y las distancias máximas dentro de la laguna. Además, se utilizó un

programa llamado “Registro continuo de puntos” programada en el GNSS/GPS Diferencial Trimble R8, que cumple la función de registrar la información de posición de manera constante en intervalos de tiempo o distancia programables.

El modo de trabajo RTK del GPS Diferencial es un modo de corrección en tiempo real, lo cual exige una conexión permanente entre el receptor base y el receptor móvil (rover), en la Figura 21 se observa el perfil de una línea de vista entre la ubicación del punto base PAS01417 y la zona más lejana de la laguna Huicra, en dicha Figura se observa la presencia de una colina la cual evitaría tener conexión directa entre el receptor base y el receptor móvil. Para evitar cualquier pérdida de registro de posición de la información se desestimó el modo RTK y se optó por el modo de trabajo PPK.



**Figura 21: Perfil de la línea de vista entre el punto Base PAS01417 y la zona lejana en la laguna Huicra**

*Nota:* Captura obtenida de Google Earth, usando la herramienta perfil.

El receptor GNSS/GPS-Diferencial Trimble R8 que operó como equipo receptor (rover) fue instalado en una estructura metálica acoplada al bote modelos ZODIAC, que se dispuso en campo. El posicionamiento del equipo fue exactamente por encima del equipo ecosonda



ADCP M9 para hacer coincidir ambas lecturas, profundidad del equipo ecosonda ADCP M9 y posición del receptor GNSS/GPS Diferencial respectivamente. En la Figura 22 se puede apreciar el acoplamiento de la estructura.



**Figura 22: Vista fotográfica de los equipos GNSS-Diferencial (rover) y ecosonda sobre estructura metálica en la embarcación para el levantamiento batimétrico**

*Nota.* El GPS receptor se posicionó sobre el tubo donde fue acoplada a la ecosonda ADCP M9, de esta manera las lecturas de profundidad provenientes de la ecosonda y las lecturas de posición del GPS receptor serán de un mismo punto.

#### **e. Post proceso de la información Geodésica**

Posterior a la recopilación de los datos en campo, es decir luego de cubrir con el barrido de puntos según diseño de las líneas de navegación (levantamiento batimétrico de lagunas), esta, se procedió a realizar el postprocesamiento de datos satelitales mediante el software “Trimble Business Center – TBC”. El postprocesamiento de puntos obtenidos del receptor GNSS- Diferencial (rover), en modo PPK es un proceso necesario para incrementar la precisión y exactitud de los puntos medidos.

Mediante el uso del software TBC se toma las observaciones satelitales del receptor móvil (rover) y las compara con las observaciones recolectadas del receptor base (punto base) cuya posición real se conoce para calcular las correcciones precisas. Aplicando estas correcciones calculadas al receptor móvil (rover) se puede mejorar significativamente la precisión de los datos de posicionamiento. Las correcciones eliminan o reducen los errores sistemáticos, los que resultan en coordenadas más precisas y más consistentes.

### 3.2.2. Levantamiento topográfico con dron mediante fotografías aéreas y puntos de control

#### a. Equipos utilizados

El levantamiento fotogramétrico con RPA se realizó mediante uso de una RPA (drone) marca DJI modelo PHANTOM 4 PRO, junto al equipo receptor GNSS-Diferencial, cuyas características están detalladas en el ítem anterior. Las características del drone usado se detallan en la Tabla 7.

**Tabla 7: Especificaciones técnicas del dron DJI PHANTOM 4 PRO**

<b>ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL DJI PHANTOM 4 PRO V2.0</b>	
Peso (baterías y hélices incluidas)	1375 g
Tamaño diagonal (hélices excluidas)	350 mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m/s, Modo P: 5 m/s
Velocidad máxima de descenso	Modo S: 4 m/s, Modo P: 3 m/s
Máxima velocidad	Modo S: 72 kph, Modo, Modo P: 50 kph
Techo de servicio máximo sobre el nivel del mar	6000 m
Resistencia máxima a la velocidad del viento	10 m/s
Rango de Temperatura de funcionamiento	0° a 40° C
Sistemas de posicionamiento satelital	GPS/GLONASS
<b>CÁMARA</b>	
Sensor	Pixeles efetivos CMOS de 1 pulgada: 20 M
Lente	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (formato equivalente a 35 mm)

*Nota.* Tomado de Yumpu (2012)



**Figura 23: Dron Phamton 4 PRO**

*Nota.* Tomado de Prizma drones (2023)

#### **b. Procedimiento metodológico de un levantamiento fotogramétrico con RPA**

El Levantamiento fotogramétrico con RPA es una alternativa a la topografía convencional, que tiene grandes ventajas respecto a la eficiencia bajo costo y seguridad del personal en campo.

El levantamiento fotogramétrico de las áreas solicitadas por el cliente, en estos casos se optó por realizar los vuelos con un equipo RPA Phantom 4 Pro. La ejecución de los levantamientos fotogramétricos en este proyecto y para ser ejecutados de manera correcta se realizaron actividades previas al vuelo según del procedimiento siguiente:

##### **1. Posicionamiento y levantamiento de puntos de Fotocontrol**

Los criterios para ubicación y fijado de puntos fotocontrol consisten en localizar los puntos en el lugar adecuado a ser fijado en el terreno antes de ejecutar el vuelo fotogramétrico. El posicionamiento satelital de puntos de fotocontrol al igual que los criterios para su ubicación y fijación se describen en la sección 3.2.1. El posicionamiento satelital con receptores GNSS/GPS Diferencial en la sección c. Método de posicionamiento global por satélite método estático de Puntos de fotocontrol”.



**Figura 24: Marcado de los puntos de control**

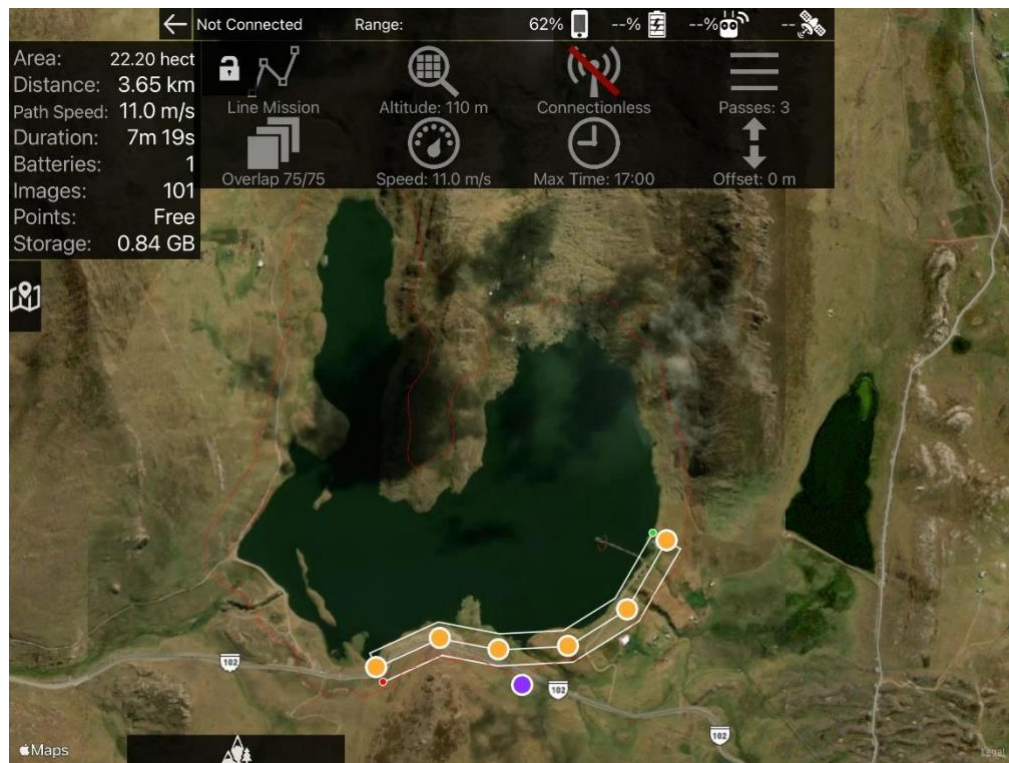
*Nota.* Vista fotográfica del posicionamiento satelital del punto HU-A18 realizado en campo.

Todos los puntos de fotocontrol fueron establecidos antes de realizar los vuelos, durante el posicionamiento satelital de estos se realizó el levantamiento de la información de cada uno de ellos. El desarrollo de esta actividad se realizó con el apoyo de personas locales, los cuales dieron orientación para la ubicación segura de todos los puntos de control. Este apoyo fue de suma importancia para la localización de todos los puntos de control en la laguna Acococha, la cual fue la de mayor tamaño y dificultad. En la Figura 24 se observa el proceso de levantamiento de información de un punto en la laguna Huicra.

## 2. Elaboración de plan de vuelo

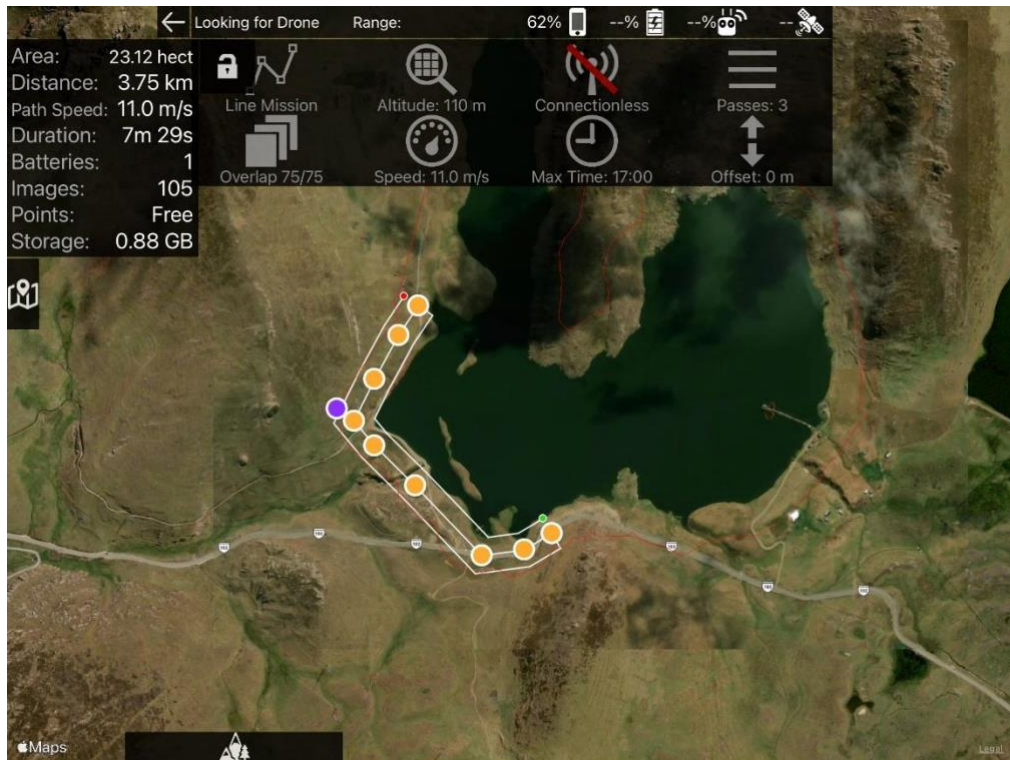
Los planes de vuelo se planifican con base al área de interés del proyecto, Este caso consistió en levantamiento de una faja de 40 metros en contorno del borde de las lagunas. Los planes de vuelo que fueron ejecutados se planificaron con antelación en la etapa de planeamiento e incluyeron solo las áreas correspondientes a la faja de 40 metros del contorno de las lagunas. Esto se llevó a cabo utilizando una aplicación denominada Map Pilot Pro.

La ejecución del levantamiento fotogramétrico del contorno de una de las lagunas se desarrolló realizando varios planes, estos se dividieron en varias secciones en el contorno total del área de interés. Esto implicó que el piloto se trasladara por cada sección a realizar, de tal manera en que el dron se mantuviera siempre en línea de vista directa con el piloto, de esta manera se utilizaron de forma eficiente las baterías. A continuación, se muestran los planes de vuelo que dividieron el contorno de la laguna Huicra.



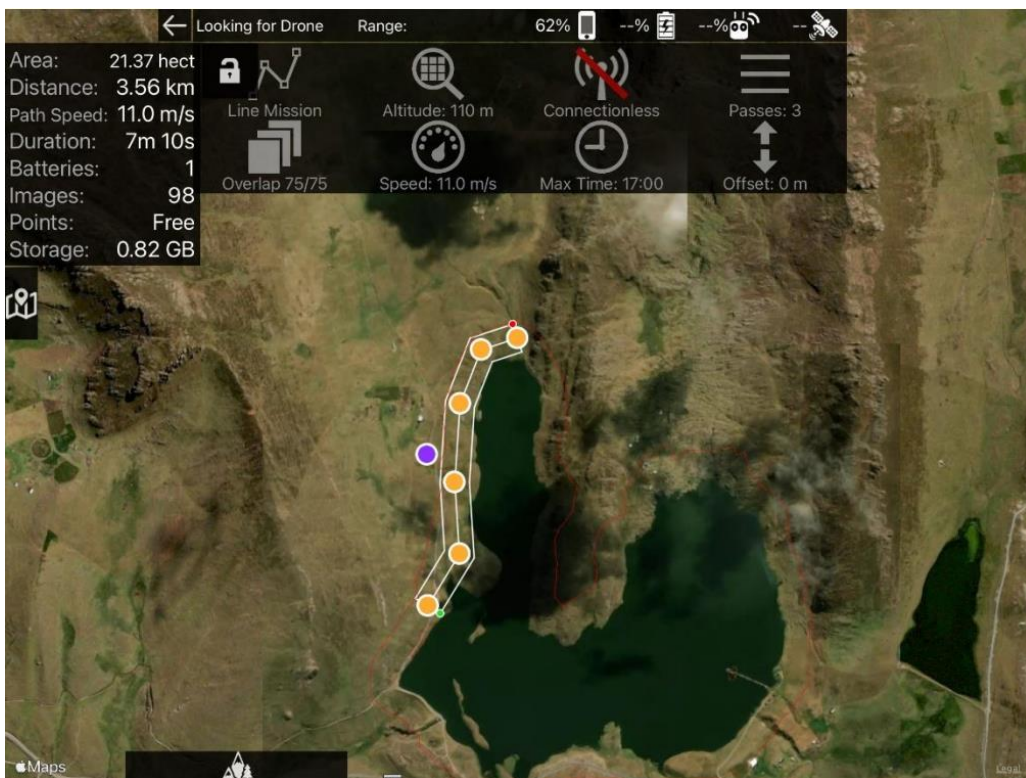
**Figura 25: Vuelo 1 ejecutado en la laguna Huicra**

*Nota.* Vista fotográfica de trabajo en campo, el punto morado la ubicación del piloto de RPA.



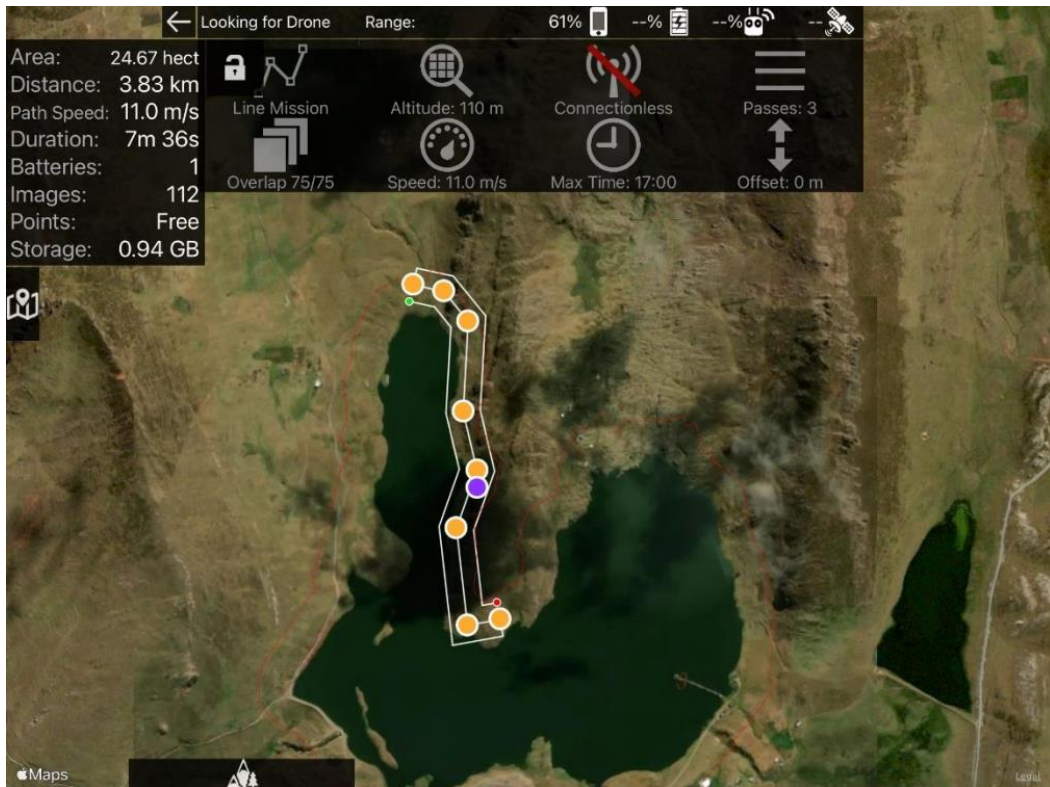
**Figura 26: Vuelo 2 ejecutado en la laguna Huicra**

*Nota.* Vista fotográfica de trabajo en campo, el punto morado la ubicación del piloto de RPA.



**Figura 27: Vuelo 3 ejecutado en la laguna Huicra**

*Nota.* Vista fotográfica de trabajo en campo, el punto morado la ubicación del piloto de RPA.



**Figura 28: Vuelo 4 ejecutado en la laguna Huicra**

*Nota.* Vista fotográfica de trabajo en campo, el punto morado la ubicación del piloto de RPA.



**Figura 29: Vuelo 5 ejecutado en la laguna Huicra**

*Nota.* Vista fotográfica de trabajo en campo, el punto morado la ubicación del piloto de RPA.

Para la planificación de estos vuelos se consideraron las siguientes características:

- Altura de vuelo que no excedieran los 150 metros
- Un GSD no mayor a 5 cm
- Traslapes entre fotos que superará el 70%

### 3. Ejecución del plan de vuelo

Después de completar las etapas mencionadas anteriormente, se procedió a la implementación de los planes de vuelo. Dado que la captura de los contornos de las lagunas se dividió en segmentos, el piloto del dron necesitó desplazarse cerca de cada uno de estos segmentos. Esto se observa en las Figuras 25, 26, 27, 28 y 29, que muestran las áreas sobrevoladas y la ubicación del piloto en el caso de la laguna Huicra. Los vuelos fotogramétricos se llevaron a cabo en la primera mitad del día, por ser las horas más adecuadas debido a que después del mediodía la presencia de vientos intensos y aves territoriales que aumentan, a fin de no exponer la integridad de los equipos RPA. En medida que en la zona de trabajo no había señal de celular, todos los planes de vuelos ejecutados debieron crearse previamente y solo se dieron ajustes menores estando en campo. En la Figura 30 se aprecia la ejecución de un plan de vuelo en la laguna Acococha.



**Figura 30: Ejecución de los planes de vuelo en la laguna Acococha**

*Nota.* Fotografía de trabajo realizado en campo.



### c. Procesamiento de la información – Post proceso

El post proceso de la información inicia en campo, con la verificación de la calidad de las imágenes y generando un respaldo de ellas en una nube. En la Figura 31 se muestran las etapas para el procesamiento de la información fotogramétrica.



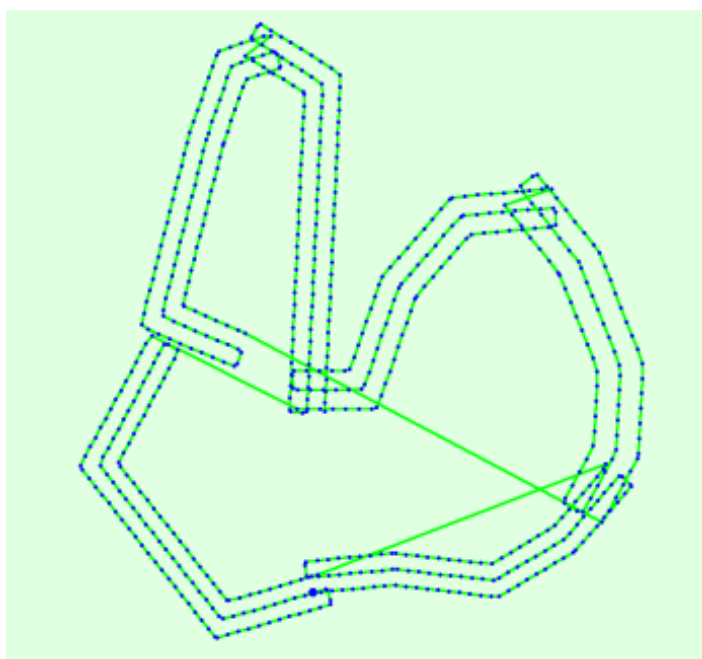
**Figura 31: Ejecución de los planes de vuelo en la laguna Acococha**

El procesamiento de las fotografías obtenidas en campo se realizó con el software especializado en fotogrametría Pix4D; este software es de uso comercial y muy intuitivo. Para realizar el procesamiento en el software se tomó en cuenta el siguiente flujo de trabajo, todos los softwares de procesamiento de imágenes tienen la misma secuencia, la diferencia entre todas ellas es el nivel de detalle en el análisis.

#### 1. Orientación de imágenes

La etapa inicial en el flujo de trabajo del procesamiento de imágenes implica la orientación de las fotografías en el software Pix4D. Este paso inicial también funciona como un filtro de la calidad de los datos recopilados en campo, ya que durante esta etapa el traslape es vital para la optimización y ubicación de las fotografías. Esto nos permite establecer un vínculo inicial entre el conjunto de fotografías, y de esta manera se genera un primer grupo de puntos llamado “nube dispersa de puntos”. En la Figura 32 se visualiza el proceso de orientación de las fotografías del software Pix4D. En el caso del software durante el proceso de

importación de imágenes se escoge el sistema de referencia a usar en todo el proyecto.



**Figura 32: Orientación de fotografías en el software Pix4D de la laguna Huicra**

*Nota.* Imagen tomada del reporte del procesamiento fotogramétrico del software Pix4D.

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3701.749 [pixel] 8.682 [mm]	2726.364 [pixel] 6.394 [mm]	1806.241 [pixel] 4.236 [mm]	-0.013	0.002	0.006	-0.002	-0.001
Uncertainties (Sigma)	0.350 [pixel] 0.001 [mm]	0.052 [pixel] 0.000 [mm]	0.055 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**Figura 33: Parámetros internos de la cámara del drone**

*Nota.* Captura de los parámetros que son usados por el software Pix4D para la calibración de las fotografías y generar la nube dispersa de puntos.

## 2. Generación de la nube densa

Después de generar la nube de dispersa puntos, se procedió a la georreferenciar el modelo. Para lograr esto, se incorporó al software la información de los puntos de fotocontrol procesados. Los puntos de foto control fueron identificadas en las fotografías utilizadas en el procesamiento. Terminado el proceso de identificación de puntos en las fotografías se procedió al ajuste del modelo, donde las coordenadas de

los puntos de fotocontrol sirven de base para ajusta el modelo generado por la nube de puntos dispersa, de este proceso se obtiene un cuadro de errores que nos servirán de referencia para conocer el nivel de exactitud del levantamiento.

**Tabla 8: Cuadro resumen de errores en X, Y, Z y error por pixel del procesamiento de la laguna Huicra**

GCP Name	Accuracy XY/Z[m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z[m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
HU_A4 (3D)	0.020/0.020	-0.021	0.008	0.083	0.700	16 / 16
HU_A6 (3D)	0.020/0.020	0.025	-0.011	-0.079	1.203	9 / 9
HU_A7 (3D)	0.020/0.020	-0.013	0.003	-0.065	0.867	16 / 16
HU_A8 (3D)	0.020/0.020	0.070	0.041	-0.132	0.558	12 / 12
HU_A10 (3D)	0.020/0.020	0.148	0.202	-0.065	0.681	14 / 14
HU_A11 (3D)	0.020/0.020	-0.022	-0.052	0.053	0.947	11 / 11
HU_A13 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.007	0.010	0.811	17 / 17
HU_A15 (3D)	0.020/0.020	-0.035	0.000	0.033	0.433	18 / 18
HU_A16 (3D)	0.020/0.020	0.032	0.002	-0.034	0.538	18 / 18
HU-A1 (3D)	0.020/0.020	0.193	0.165	-0.093	0.514	17 / 17
HU-A2 (3D)	0.020/0.020	0.030	0.017	0.048	0.350	10 / 10
HU-A3 (3D)	0.020/0.020	0.004	0.019	0.006	0.621	18 / 18
HU-B1 (3D)	0.020/0.020	0.026	-0.060	-0.002	0.603	15 / 15
HU-B3 (3D)	0.020/0.020	-0.012	-0.020	0.026	0.675	17 / 17
HU-B4 (3D)	0.020/0.020	0.037	0.038	0.005	0.839	18 / 18
HU-B5 (3D)	0.020/0.020	0.000	0.037	0.057	1.145	15 / 15
HU-B6 (3D)	0.020/0.020	-0.085	-0.032	0.062	1.104	15 / 15
HU-B7 (3D)	0.020/0.020	-0.022	-0.018	-0.082	0.711	24 / 24
HU-B8 (3D)	0.020/0.020	-0.006	0.099	0.030	0.982	19 / 19
HU-B9 (3D)	0.020/0.020	0.012	-0.038	-0.039	1.026	16 / 16
HU-B10 (3D)	0.020/0.020	0.021	-0.037	0.063	1.400	23 / 23
HU_A17 (3D)	0.020/0.020	-0.008	-0.002	-0.032	0.767	14 / 14
HU_A18 (3D)	0.020/0.020	0.011	-0.015	0.008	0.750	17 / 17
HU_A19 (3D)	0.020/0.020	-0.004	0.018	0.025	0.994	18 / 18
HU_A20 (3D)	0.020/0.020	0.034	0.001	-0.035	0.723	16 / 16
HU_A21 (3D)	0.020/0.020	-0.080	0.006	0.197	0.859	11 / 11
HU_A22 (3D)	0.020/0.020	0.013	-0.010	-0.102	0.603	10 / 10
HU_A23 (3D)	0.020/0.020	-0.002	0.021	-0.040	0.654	36 / 36
HU_A24 (3D)	0.020/0.020	0.014	-0.017	0.078	0.889	34 / 34
HU_A25 (3D)	0.020/0.020	-0.013	-0.007	0.006	0.511	29 / 29
HU_A26 (3D)	0.020/0.020	-0.001	0.001	0.036	0.435	19 / 19
HU_A28 (3D)	0.020/0.020	0.013	-0.006	-0.016	0.551	15 / 15
HU_A29 (3D)	0.020/0.020	-0.003	0.010	0.032	0.564	16 / 16
HU_A30 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.009	-0.036	0.664	13 / 13
HU_A32 (3D)	0.020/0.020	-0.066	-0.038	-0.049	0.523	28 / 28
HU_A33 (3D)	0.020/0.020	-0.028	-0.023	-0.042	0.639	30 / 30
HU_A34 (3D)	0.020/0.020	0.009	0.000	-0.001	0.818	30 / 30
HU-B14 (3D)	0.020/0.020	-0.040	0.009	-0.018	0.895	16 / 16
HU-B15 (3D)	0.020/0.020	0.025	0.012	0.005	0.849	14 / 14
HU-B16 (3D)	0.020/0.020	0.013	-0.010	-0.111	0.662	13 / 13
HU-B17 (3D)	0.020/0.020	-0.024	-0.018	0.084	0.734	17 / 17
HU-B18 (3D)	0.020/0.020	0.017	0.019	0.020	0.579	15 / 15
HU-B19 (3D)	0.020/0.020	-0.009	-0.036	0.067	0.885	9 / 9
HU-B20 (3D)	0.020/0.020	0.001	0.008	-0.014	0.975	12 / 12
HU-B21 (3D)	0.020/0.020	0.013	-0.002	-0.040	0.513	23 / 23
HU-B22 (3D)	0.020/0.020	0.025	0.026	0.070	0.841	20 / 20
HU-B23 (3D)	0.020/0.020	-0.045	-0.020	-0.009	0.562	16 / 16
HU-B24 (3D)	0.020/0.020	0.001	0.021	0.009	0.666	12 / 12
HU-B25 (3D)	0.020/0.020	0.001	-0.036	-0.096	0.742	15 / 15
HU-B26 (3D)	0.020/0.020	-0.008	0.028	0.084	0.450	17 / 17
HU-B27 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.018	-0.021	0.818	14 / 14
HU-B29 (3D)	0.020/0.020	-0.009	0.017	0.072	0.741	14 / 14
Mean [m]		0.004221	0.005507	-0.000256		
Sigma [m]		0.043528	0.044445	0.062116		
RMS Error [m]		0.043732	0.044785	0.052117		

*Nota.* Captura hecha del reporte generado del proceso de las fotografías de la laguna Huicra

En la Tabla 8 se muestra todos los puntos de fotocontrol ubicados en la laguna Huicra, se aprecia el error en X, el error en Y, el error en Z, y el error de proyección por Pixel y la cantidad de verificaciones que se dieron. De la Tabla 8 se puede hacer énfasis en las últimas filas, donde se aprecia las medias de los errores generados por el ajuste del modelo producto de la georreferenciación, se puede observar en la Figura 34 que el error generado está por debajo del centímetro, lo cual es un buen indicativo del proceso.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
<b>Mean [m]</b>		0.004221	0.005507	-0.000255		
<b>Sigma [m]</b>		0.043528	0.044445	0.062116		
<b>RMS Error [m]</b>		0.043732	0.044785	0.062117		

**Figura 34: Ejecución de los planes de vuelo en la laguna Huicra**

*Nota.* Captura hecha del reporte generado del proceso de las fotografías de la laguna Huicra

En el caso del software Pix4D, no es necesario re-proyectar la información de puntos o modelos, ya que el sistema de referencia se elige en el primer paso del proceso.

Finalizada la verificación de errores se procede a generar la nube densa de puntos a partir de la corregida nube dispersa de puntos.

### 3. Exportación de puntos

Se realizó la exportación de puntos, que es el paso final del procesamiento fotogramétrico. En primer lugar, se debe de realizar la clasificación de puntos, donde se podrá identificar y filtrar los puntos generados por el modelo que no sean parte del terreno, como por ejemplo edificios, arboles, torres de alta tensión, etc.

En el caso de este proyecto las lagunas estudiadas no tenían la presencia de vegetación densa o edificios dentro del área de interés, por lo que la clasificación en la mayoría de los casos no fue necesaria. Finalizado la clasificación en los casos requeridos se procede a exportar los puntos del área de interés del contorno de las lagunas. En la Figura 35 se aprecia la captura de la ortofo generada provisionalmente como parte del reporte de procesamiento.



**Figura 35: Ortofoto de la laguna Huicra**

*Nota.* Captura hecha del reporte del procesamiento generado del proceso de las fotografías de la laguna Huicra

Como un subproducto adicional al proceso fotogramétrico se obtiene la ortofo de la laguna, pero al no ser parte del alcance no se generó como producto final.

### 3.2.3. Levantamiento batimétrico con Ecosonda ADCP M9

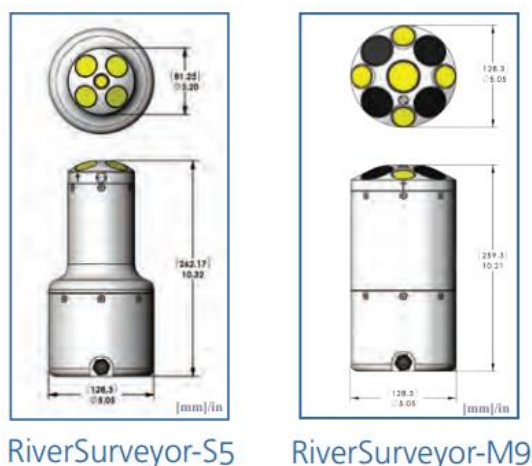
#### a. Equipos utilizados

El levantamiento batimétrico se realizó con un ecosonda ADCP M9, el cual es un perfilador acústico de corriente basado en efecto doppler, este es operado desde una plataforma montada en un bote. En la Tabla 9 se aprecian las características técnicas relevantes.

**Tabla 9: Especificaciones técnicas de la Ecosonda ADCP M9**

Parámetros	ADCP S5	ADCP M9
Rango de profundidad	0.30 - 15m	0.30 - 80m
Rango de perfil (velocidad)	± 20m/s	± 20m/s
Resolución	0.001 m	0.001 m
Exactitud	± 0.25% de velocidad medida	± 0.25% de velocidad medida
Tamaño de celda (velocidad)	0.02m - 0.5m	0.02m - 4m
Números de celdas	Arriba de 128	Arriba de 128
ConFiguración del transductor	5 transductores 4 – beam, 3.0 MHz Janus at 25°Slant Angle	9 transductores Dual 4 – beam, 3.0 MHz/1.0 MHz Janus at 25°Slant Angle

*Nota.* Tomado de Xylem (2023)



**Figura 36: Dimensiones de los equipos ADCP M9 y ADCP S5**

*Nota.* Tomada de Xylem (2023)

#### **b. Método de levantamiento batimétrico**

El método aplicado para realizar el levantamiento batimétrico en todas las lagunas fue el mismo, el cual consistió en el montaje de una estructura metálica que sirvió de soporte para el sensor ADCP M9 y el receptor GPS Diferencial R8 (rover). El procedimiento aplicado fue el siguiente:

##### **1. Charla de seguridad**

Las actividades necesarias para realizar el levantamiento batimétrico eran consideradas como actividades de alto riesgo, por lo que se tomaron importantes medidas de seguridad para salvaguardar la integridad del personal, equipos y cumplir con los objetivos planeados del día.

El comienzo de toda actividad iniciaba con una charla llamada “charla de 5 minutos” en este espacio se transmitía la información de los objetivos del día, se delegaban responsabilidades, se repasaba la planificación del día, se hacía una retroalimentación por parte de los participantes y por último se realizaba un repaso de los peligros y riesgos a los que se expusieron al realizar las actividades, al igual que las medidas de control que se tomaron para realizar de forma segura las actividades programadas. En la Figura 37 se muestra el desarrollo de una charla de 5 minutos previo a las actividades en la laguna Huicra.



**Figura 37: Charla de 5 minutos realizada previa a cualquier actividad realizada**

*Nota.* Fotografía de una reunión de 5 minutos previo a actividades en campo

## 2. Armado del bote

Como segunda actividad se realizó el armado del bote, el cual estuvo a cargo del operador autorizado de este equipo. El procedimiento consistía en el inflado de los diferentes cuerpos que componían el bote, se agregaban las plataformas base que le daban forma y por último se colocaba el motor, en este caso fue un motor de bote fuera de borda. En las figuras 38, 39, 40 y 41 se aprecian parte del proceso descrito.



**Figura 38: Armado del bote**

*Nota.* Descarga de los componentes del bote modelo zodiac



**Figura 39: Armado del bote**

*Nota.* Inflado de los cuerpos del bote modelo zodiac





**Figura 40: Armado de la estructura soporte de los sensores del bote**

*Nota.* Ensamblaje de la estructura metálica soporte de los sensores



**Figura 41: Armado de la estructura soporte de los sensores del bote**

*Nota.* Montaje de los sensores en la estructura metálica del bote modelo zodiac

### 3. Instalación de punto base

Se instaló un GPS Diferencial receptor en el punto base establecido previamente, el procedimiento para la instalación se describen en la sección “3.2.1 Levantamiento topográfico con GNSS GPS Diferencial” en la sección “d. Método de posicionamiento global por satélite estático – Batimetría”, este punto servirá de referencia para el levantamiento batimétrico. Es importante recalcar que el punto base fue instalado previamente al inicio de actividades, así como se muestra en la Figura 42, y pertenece a la red geodésica que georreferenció al proyecto, más no están certificados por el Instituto Geográfico del Perú.



**Figura 42: Posicionamiento del punto base**

*Nota.* La estación del receptor base se mantuvo tomando lecturas durante todo el proceso de la batimetría, de igual manera estuvo siendo monitoreado por personal para evitar algún tipo alteración por parte de factores externos.

### 4. Inicio de actividades (Levantamiento batimétrico)

Culminados las actividades mencionadas previamente, se procede a realizar el levantamiento batimétrico. Este se realizó siguiendo las líneas de navegación programadas que cumplen con el distanciamiento planificado según cada laguna. En

la Figura 43 y 44 se muestra el proceso del ingreso al cuerpo del agua.



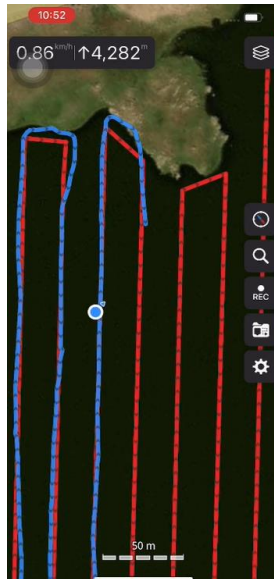
**Figura 43: Ingreso del bote al cuerpo de agua**



**Figura 44: Inicio de la navegación del bote en la laguna Huicra**

El control de la navegación se realizó a través de una aplicación de celular que nos permitía realizar un registro de nuestro desplazamiento encima de la ruta planificada.

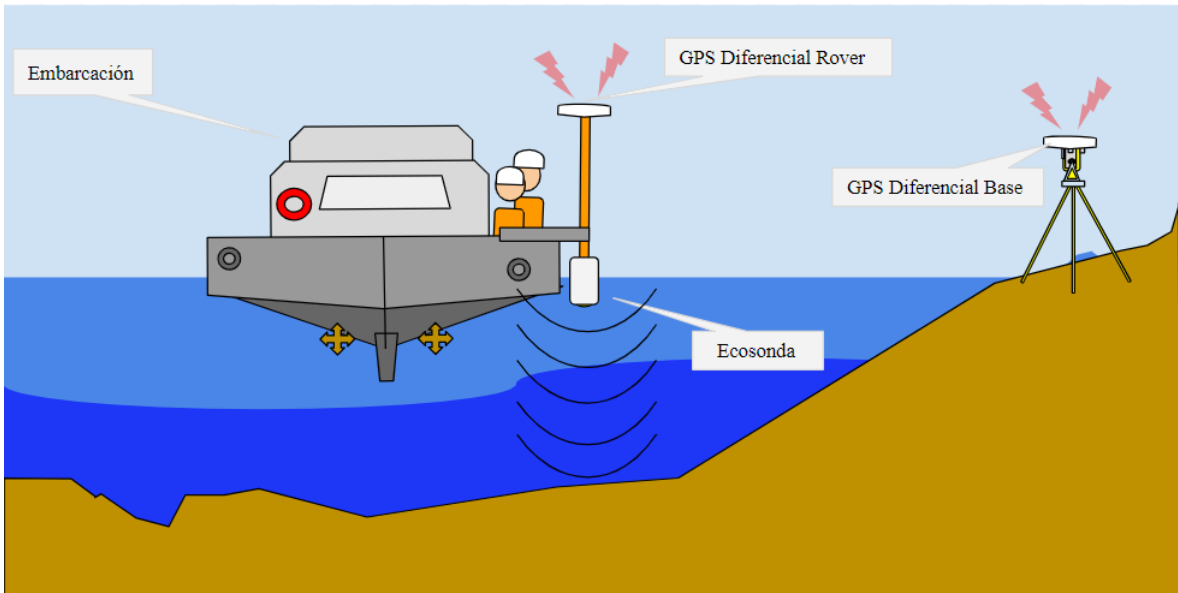
En la Figura 45 se observa una captura de pantalla en el momento del registro, en líneas rojas la ruta programada en líneas azules la línea del registro.



**Figura 45: Captura de pantalla durante el registro de la ruta de navegación**

*Nota.* Captura de pantalla tomada de la aplicación durante el registro de la ruta seguida en la laguna Huicra, de color rojo se aprecia la ruta planificada y de color azul se aprecia la ruta recorrida por el bote durante el levantamiento batimétrico.

En síntesis, el levantamiento batimétrico se realizó con un bote modelo zodiac, en el cual se montó una estructura donde se acoplaron los sensores para la batimetría y geodesia. Se navegó a través de una ruta ya planificada respetando el distanciamiento solicitado por el cliente. El ecosonda ADCP M9 registro cada segundo una lectura de profundidad y el GPS Diferencial rover registro su ubicación en el mismo intervalo de tiempo, la corrección de la ubicación del receptor provino de un GPS Diferencial base ubicado en la orilla de la laguna, en la Figura 46 se aprecia una gráfica que representa el proceso descrito.



**Figura 46: Representación gráfica descriptiva del equipamiento y operación del levantamiento batimétrico**

El software RiverSurveyor Live fue utilizado para la recolección de información batimétrica en campo, este software es propio del equipo ADCP M9 de la marca Sontek. En la Figura 47 se muestra la captura del software RiverSurveyor durante el desarrollo de un levantamiento batimétrico.



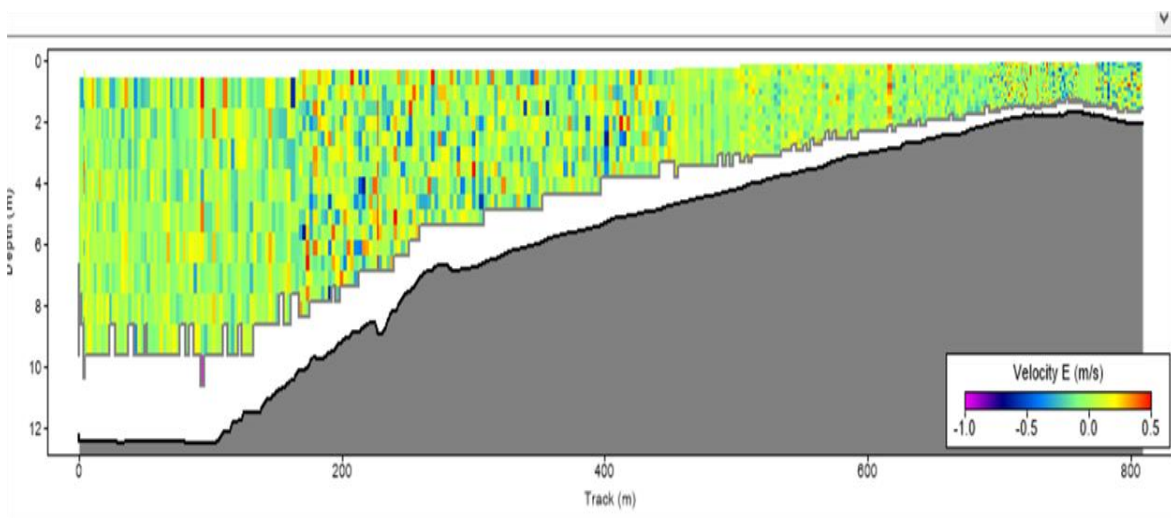
**Figura 47: Captura de pantalla del software RiverSurveyor Live**

*Nota.* Captura de pantalla de datos revisados visualmente sin ningún tipo de observación

### c. Procesamiento de la información

El post procesamiento de la información se inició con la verificación de los datos recolectados en campo, esta verificación consiste en la revisión visual de la información recolectada cuando se finaliza las actividades en campo; el fin de esto es identificar que no ocurran saltos o mediciones erróneas, sin sentidos en la recopilación o en tal caso que estas no sean significativas. En este sentido se verifica que al área levantada durante el día de trabajo fuese conforme, en caso contrario se tendrá que volver al mismo lugar a verificar las lecturas.

En la Figura 47 se observa una secuencia de datos sin ninguna observación, si visualizamos el perfil generado en la Figura 48 se aprecia una pendiente estable y potencialmente real, esto nos indica que el levantamiento fue correcto y no presenta observaciones; así de esta manera se filtra la información que se consideraría ruido.

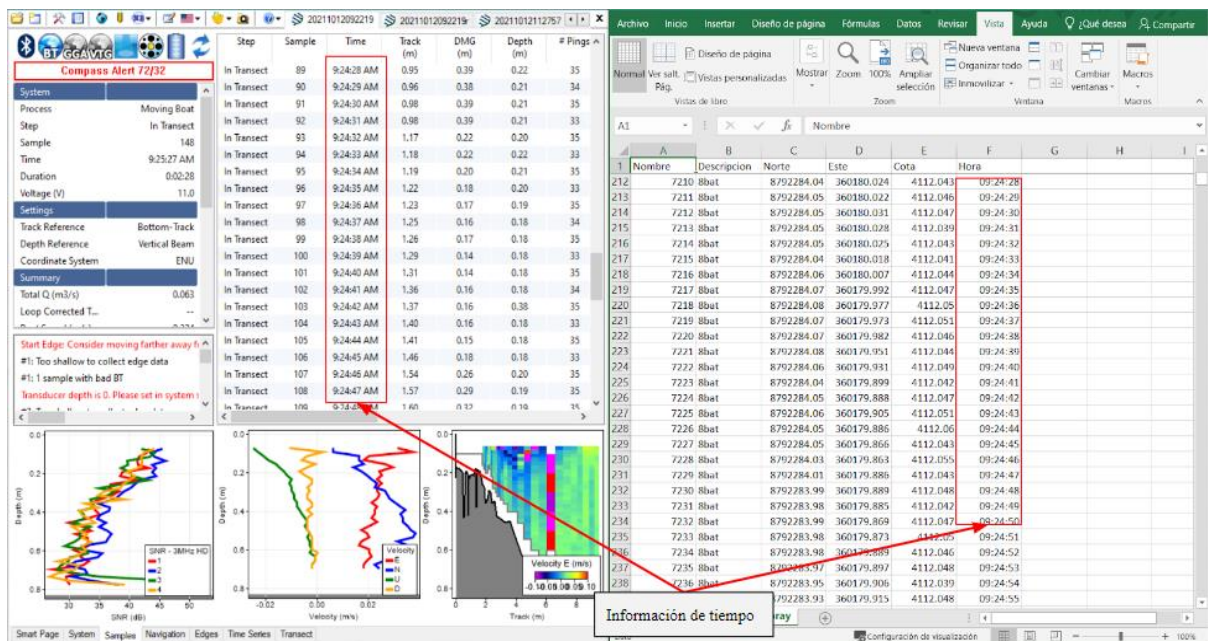


**Figura 48: Captura de pantalla del software**

*Nota.* Perfil extraído de la Figura 47. Se verificó toda la información recolectada al finalizar un día de campo.

Culminada la etapa de campo se realizó la relación entre la información recolectada por el GPS Diferencial receptor (rover) y el ecosonda ADCP M9. Cabe resaltar que la información recolectada por cada uno de los dos equipos fue recolectada de forma independiente, pero a su vez coordinada. Esto se dio a través de la configuración de los programas de cada equipo en campo, el cual consistió en el registro de datos cada un (01) segundo.

Por tanto, parte del postproceso es la relación de estos dos (02) grupos de datos, la información proveniente del ADCP M9 y la información proveniente del postproceso de los datos del GPS Diferencial (rover). En la siguiente Figura se observa el proceso de relación entre la información recolectada por ambos equipos, ADCP M9 y el GPS Diferencial. Se utilizó el tiempo de registro para la relación de los dos grupos de información y a través de un script se juntó la información. En la Figura 49 se muestra un script en Excel que comparó el tiempo de registro de información (día/hora/minuto/segundo), encontrando así la relación entre el registro de ubicación y de profundidad.



**Figura 49: Captura de pantalla de la relación entre los dos grupos de información**

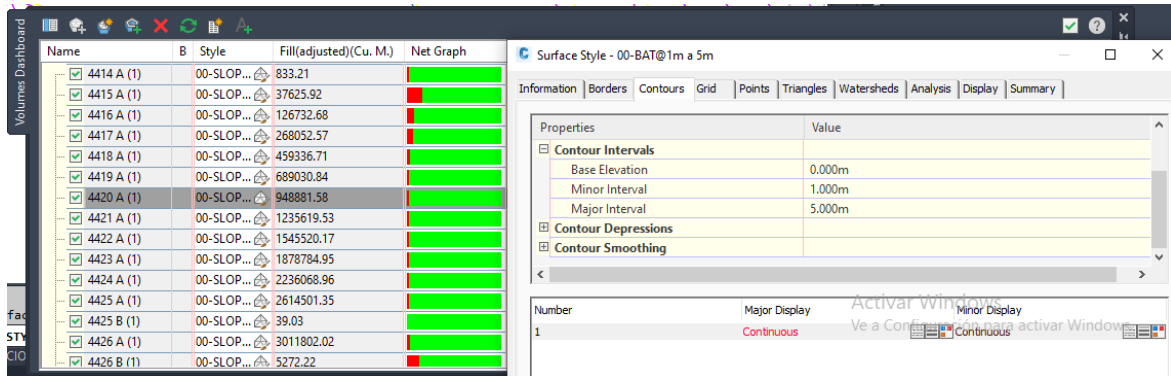
*Nota.* Toda la información generada fue aprobada y verificada por el especialista de campo.

Teniendo relacionada la información procedente de ambos equipos se procede a subir la información al software AutoCAD Civil3D de Autodesk.

### 3.3. GENERACIÓN DE PLANOS Y CÁLCULO DE VOLUMENES

La información seleccionada producto de la batimetría (procesada) fue complementada con la información generada por la fotogrametría, y se utilizó para poder generar la topografía y batimetría de las lagunas. Este procedimiento se llevó a cabo en el software AutoCAD Civil3D, donde se realizó el ploteo de la información, corrección de la triangulación y el cálculo de volumen útil de las lagunas.

El cálculo de la curva de capacidad se realizó en base a la información obtenida del levantamiento batimétrico. Para ello se realizó el cálculo del volumen útil de cada curva de nivel, la cual estaba representada cada un (01) metro. Se utilizó el software Civil 3D. La información fue registrada en un cuadro que comparaba la cota correspondiente y los volúmenes obtenidos. En la siguiente Figura 50 se muestra una captura de pantalla de la herramienta “cálculo de volúmenes” del software Civil 3D.



**Figura 50: Captura de pantalla del cálculo de volumen por cada cota**

*Nota.* Se realizó el cálculo de volumen correspondiente a cada curva de nivel cada un (01) metro con el fin de componer la curva de capacidad de cada laguna.

En la Tabla 10 se muestra el cuadro correspondiente al cálculo de volumen correspondiente a cada curva de nivel para la laguna Huicra.

**Tabla 10: Cota y volumen de la laguna Huicra**

COTA	AREA	VOLUMEN
4266	735.352	39.42
4267	7746.439	3175.89
4268	23647.72	17188.73
4269	31477.939	40440.62
4270	44332.74	71822.49
4271	54022.089	111972.8
4272	87546.368	167363.62
4273	135869.528	251796.71
4274	198943.079	371932.87
4275	324377.002	555137.27
4276	610640.515	871847.73
4277	674675.076	1303968.86
4278	712665.034	1818601.21
4278.97	761896.124	2372138.78

*Nota.* Información procedente del levantamiento de datos generados en la laguna Huicra.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS OBTENIDOS

#### 4.1.1. Levantamiento GPS Diferencial

##### a. Establecimiento de punto de control – Punto Base

Los resultados de cada punto base levantado se muestran en la siguiente Tabla 11 de datos.

**Tabla 11: Punto de control Geodésico – proyecto topografía y batimetría**

Nombre	Punto	Este (m.)	Norte (m.)	Cota (msnm)
Laguna Huicra	PAS-01417	358651.676	8822639.778	4284.405
Laguna Acococha	BM-04	333354.611	8807343.587	4499.736
Laguna Huahuacocha	BM-01	362941.112	8814610.595	4342.786
Laguna Alcacocha	BM-05	355751.039	8827245.113	4330.412

*Nota.* Posicionamiento satelital de puntos de control en las lagunas indicadas.

La siguiente Tabla 12 se describe las características de la monumentación de cada punto.

**Tabla 12: Característica de los puntos de control Geodésicos**

Nombre	Punto	Punto base
Laguna Huicra	PAS-01417	Monumentado
Laguna Acococha	BM-04	Roca
Laguna Huahuacocha	BM-01	Roca
Laguna Alcacocha	BM-05	Estructura existente

*Nota.* Posicionamiento satelital de puntos de control en las lagunas indicadas.

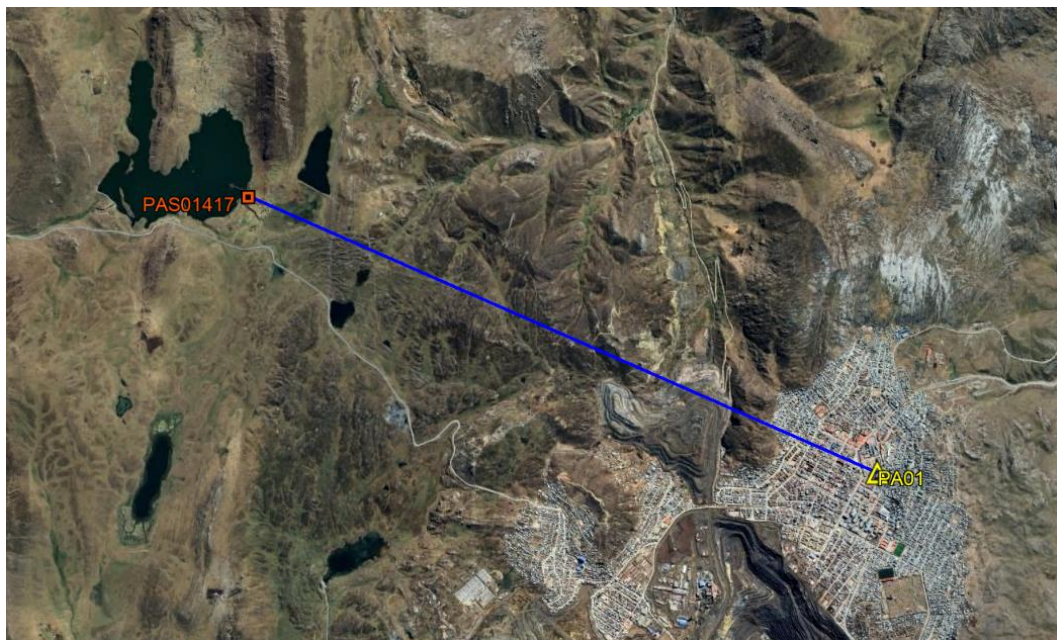
Los puntos posicionados en el terreno fueron establecidos de acuerdo con las autorizaciones proporcionadas en campo. En el caso de las lagunas Acococha y Huahuacocha, se ubicaron en áreas sujetas a restricciones para tareas de construcción y monumentación. Debido a estas limitaciones, se decidió utilizar una marca en rocas como método para fijar la ubicación del punto base.

Respecto a la laguna Alcaocha se tuvieron las mismas restricciones, pero en este caso se optó por el marcado sobre una estructura existente. A continuación, se muestran el proceso de levantamiento de cada uno de los puntos.

#### 1. Punto base - Laguna Huicra



**Figura 51: Levantamiento de punto base PAS-01417 ubicado en la laguna Huicra**



**Figura 52: Levantamiento de punto base PAS-01417 ubicado en la laguna Huicra**

*Nota:* El punto PAS01417 se levantó teniendo como base el punto de monitoreo permanente PA01 del IGN.

**Tabla 13: Ficha Monográfica del punto PAS-01417 ubicado en la laguna Huicra**

ÁREA DE GEODESIA				
DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA				
NOMBRE:	CÓDIGO:	LOCALIDAD:	ESTABLECIDA POR:	
PAS01417	PAS01417	CERRO DE PASCO	ENERTEK S.A.	
EL PUNTO GEODÉSICO SE ENCUENTRA EN EL DISTRITO DE SIMON BOLIVAR, PROVINCIA DE PASCO, DEPARTAMENTO DE PASCO.			CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA: PLACA DE BRONCE 7 CM DE DIÁMETRO	
LATITUD (S) WGS-84	LONGITUD (W) WGS-84	NORTE (N) WGS-84	ESTE (E) WGS-84	
<b>S10°38'53.01414"</b>	<b>W76°17'32.16282"</b>	<b>8822639.778 m</b>	<b>358651.676 m</b>	
ALTURA ELIPSOIDAL	ELEVACIÓN (EGM2008_Perú)	ZONA UTM	ORDEN	
4312.789 m	4284.405 m	18 SUR	-	

**IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA**

domingo, 19 febrero 2023 08:14a. m.  
Altitud:4371.8m  
BM-01



**CROQUIS:**



**IMAGEN DE LA PLACA**



**DESCRIPCIÓN**

El punto **PAS01417**, ubicado en el Distrito de Simón Bolívar, Provincia Pasco, Departamento de Pasco.

## 2. Punto base - Laguna Acococha






**Figura 53: Levantamiento de punto base BM-04 ubicado en la laguna Acococha**



**Figura 54: Levantamiento de punto base BM-04 ubicado en la laguna Acococha**

*Nota:* El punto BM-04 ubicado en la laguna Acococha se levantó teniendo como base el punto PAS01417 ubicado en la laguna Huicra

**Tabla 14: Ficha Monográfica del punto BM-04 ubicado en la laguna Acococha**

ÁREA DE GEODESIA				
DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA				
NOMBRE:	CÓDIGO:	LOCALIDAD:	ESTABLECIDA POR:	
BM-04	BM-04	CERRO DE PASCO	ENERTEK S.A.	
EL PUNTO GEODÉSICO SE ENCUENTRA EN EL DISTRITO DE HUAYLLAY, PROVINCIA DE PASCO, DEPARTAMENTO DE PASCO.			CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA: ROCA FIJA MÁS PINTURA SPRAY IMPERMEABLE	
LATITUD (S) WGS-84	LONGITUD (W) WGS-84	NORTE (N) WGS-84	ESTE (E) WGS-84	
S10°47'07.12682"	W76°31'27.06043"	8807343.587 m	333354.611 m	
ALTURA ELIPSOIDAL	ELEVACIÓN (EGM2008_Perú)	ZONA UTM	ORDEN	
4528.328 m	4499.736 m	18 SUR	-	
CROQUIS:			IMAGEN DE RASTREO	DE ANTENA
				
			<p>IMAGEN DE LA PLACA</p> 	
DESCRIPCIÓN				
El punto <b>BM-04</b> , ubicado en el Distrito de Huayllay, Provincia Pasco, Departamento de Pasco.				

### 3. Punto base – Laguna Huahuacocha



**Figura 55: Levantamiento de punto base BM-01 ubicado en la laguna Huahuacocha**



**Figura 56: Levantamiento de punto base BM-01 ubicado en la laguna Huahuacocha**

*Nota.* El punto BM-01 ubicado en la laguna Huahuacocha se levantó teniendo como base el punto PAS01417 ubicado en la laguna Huicra

**Tabla 15: Ficha Monográfica del punto BM-01 ubicado en la laguna Huahuacochoa**

ÁREA DE GEODESIA DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA				
NOMBRE	CÓDIGO	LOCALIDAD	ESTABLECIDA POR:	
BM-01	BM-01	CERRO DE PASCO	ENERTEK S.A.	
EL PUNTO GEODÉSICO SE ENCUENTRA EN EL DISTRITO DE CHAUPIMARCA, PROVINCIA DE PASCO, DEPARTAMENTO DE PASCO.			CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA: PLACA DE BRONCE 7 CM DE DIÁMETRO	
LATITUD (S) WGS-84 S10°43'14.94723"	LONGITUD (W) WGS-84 W76°15'12.08122"	NORTE (N) WGS-84 8814610.595 m	ESTE (E) WGS-84 362941.112 m	
ALTURA ELIPSOIDAL 4371.215m	ELEVACIÓN (EGM2008_Perú) 4342.786 m	ZONA UTM 18 SUR	ORDEN -	

**IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA**



**CROQUIS:**



**IMAGEN DE LA PLACA**



**DESCRIPCIÓN**

El punto **BM-01**, ubicado en el Distrito de Chaupimarca, Provincia Pasco, Departamento de Pasco.

#### 4. Punto base – Laguna Alcacocha



**Figura 57: Levantamiento de punto base BM-05 ubicado en la laguna Alcacocha**



**Figura 58: Levantamiento de punto base BM-05 ubicado en la laguna Alcacocha**

*Nota.* El punto BM-05 ubicado en la laguna Alcacocha se levantó teniendo como base el punto PAS01417 ubicado en la laguna Huicra



**Tabla 16: Ficha Monográfica del punto PAS-01417 ubicado en la laguna Huicra**

ÁREA DE GEODESIA				
DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA				
NOMBRE:	CÓDIGO:	LOCALIDAD:	ESTABLECIDA POR:	
BM-05	BM-05	CERRO DE PASCO	ENERTEK S.A.	
EL PUNTO GEODÉSICO SE ENCUENTRA EN EL DISTRITO DE SANTA ANA DE TUSI, PROVINCIA DE PASCO, DEPARTAMENTO DE PASCO.			CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA: ESTRUCTURA EXISTENTE MÁS PINTURA SPRAY IMPERMEABLE	
LATITUD (S) WGS-84	LONGITUD (W) WGS-84	NORTE (N) WGS-84	ESTE (E) WGS-84	
<b>S10°36'22.71046"</b>	<b>W76°19'06.97012"</b>	<b>8827245.113 m</b>	<b>355751.039 m</b>	
ALTURA ELIPSOIDAL	ELEVACIÓN (EGM2008_Perú)	ZONA UTM	ORDEN	
4358.742 m	4330.412 m	18 SUR	-	

**CROQUIS:**



**IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA**



**IMAGEN DE LA PLACA**



**DESCRIPCIÓN**

El punto **BM-05**, ubicado en el Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Pasco, Departamento de Pasco.

**b. Resultados del levantamiento GPS – Puntos de fotocontrol**

A continuación, se muestra en la Tabla 17 la cantidad de puntos de fotocontrol establecidos en cada una de las lagunas.

**Tabla 17: Cantidad de puntos de fotocontrol ubicados en cada laguna**

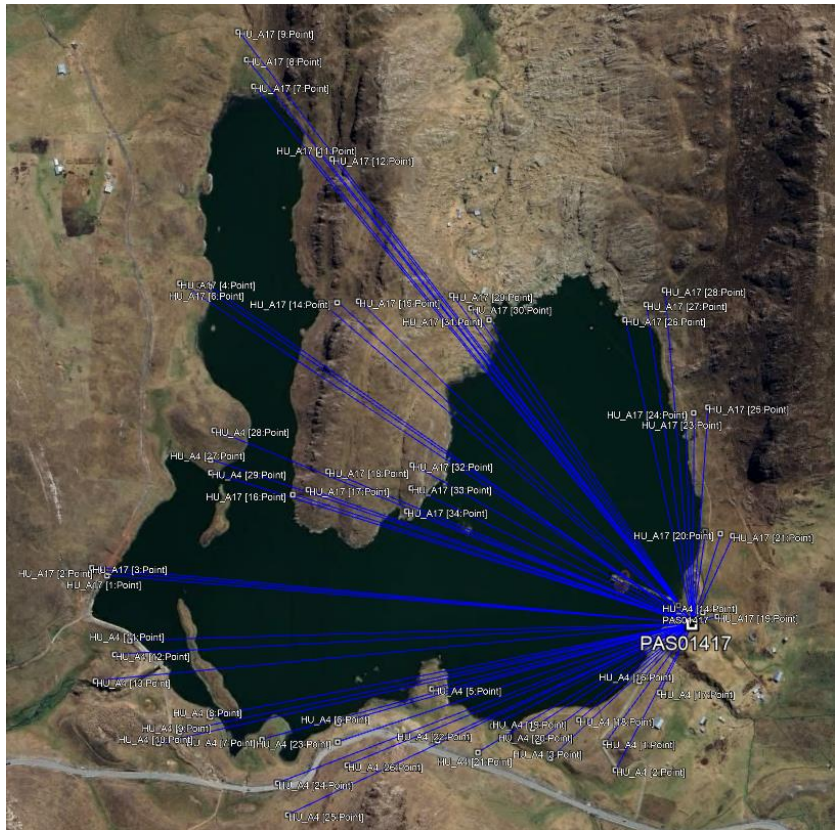
Nombre	Punto base	Cantidad de puntos de fotocontrol
Laguna Huicra	PAS-01417	63
Laguna Acococha	BM-04	133
Laguna Huahuacocha	BM-01	24
Laguna Alcacocha	BM-05	27

A continuación, se muestran la distribución de puntos de fotocontrol ubicados en cada laguna. Al igual que se muestran la relación entre el punto base de cada laguna con los puntos de fotocontrol.

1. Puntos de Fotocontrol – Laguna Huicra

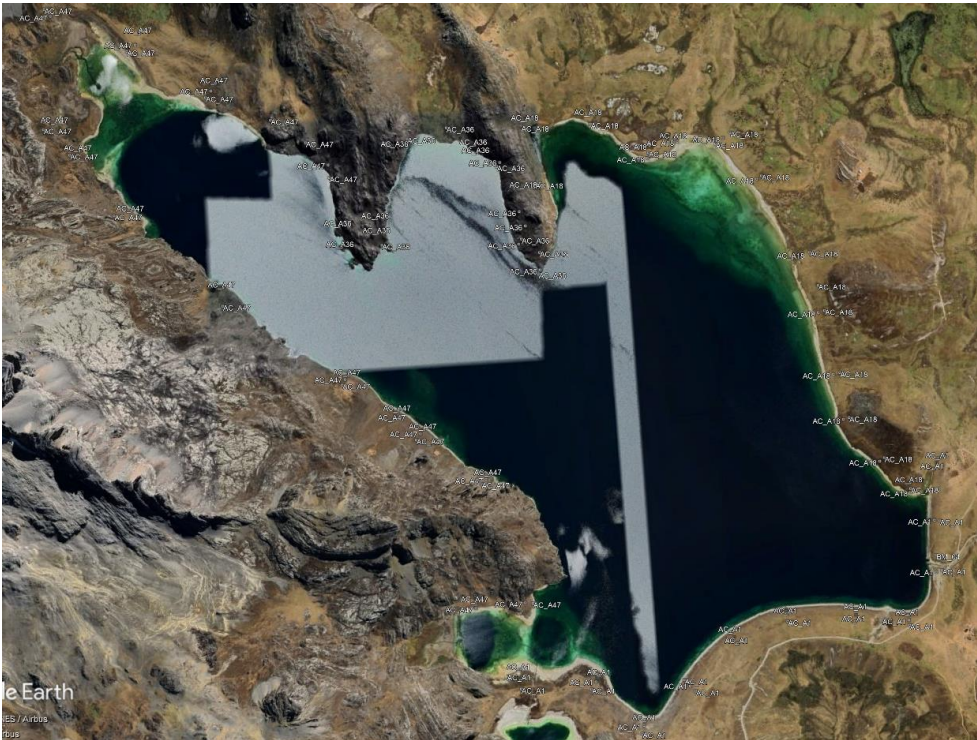


**Figura 59: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Huicra**

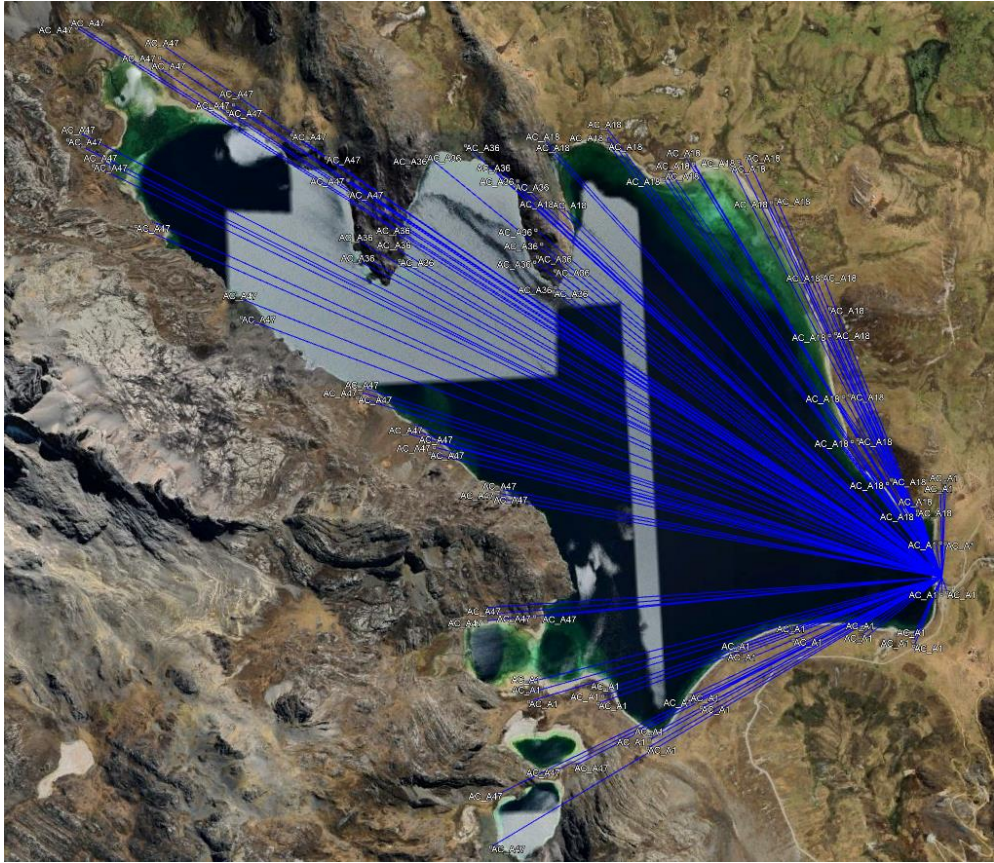


**Figura 60: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Huicra**

2. Puntos de Fotocontrol – Laguna Acococha



**Figura 61: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Acococha**

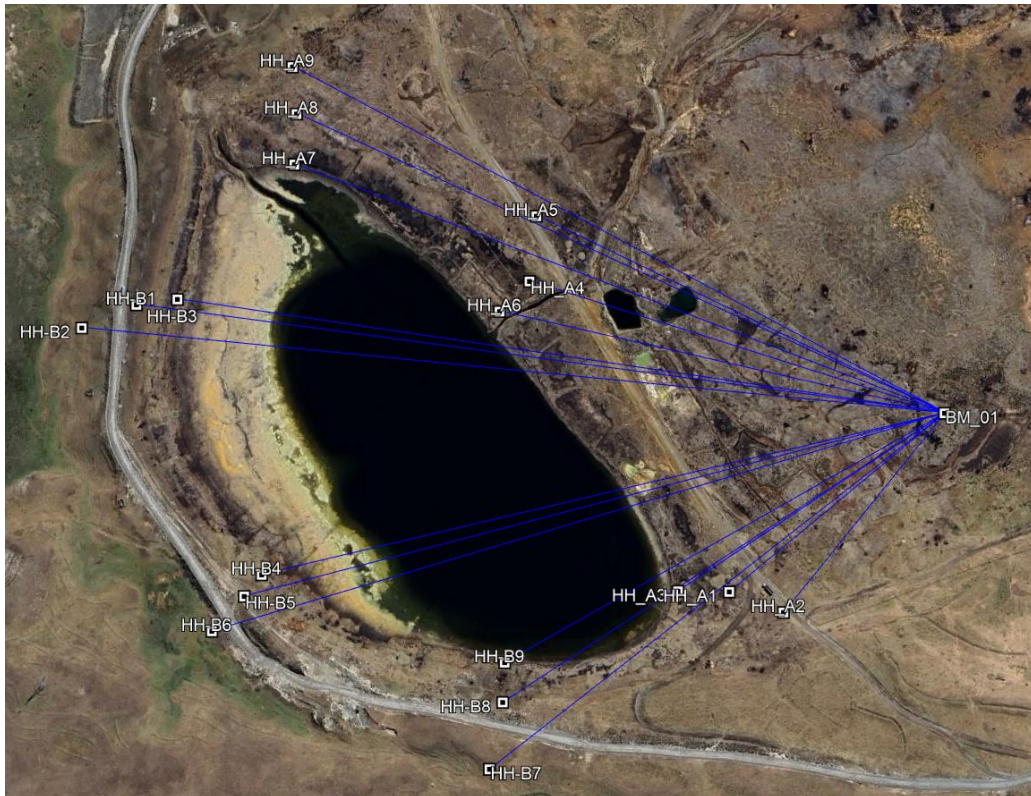


**Figura 62: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Acococha**

3. Punto de Fotocontrol – Laguna Huahuacochoa



**Figura 63: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Huahuacochoa**

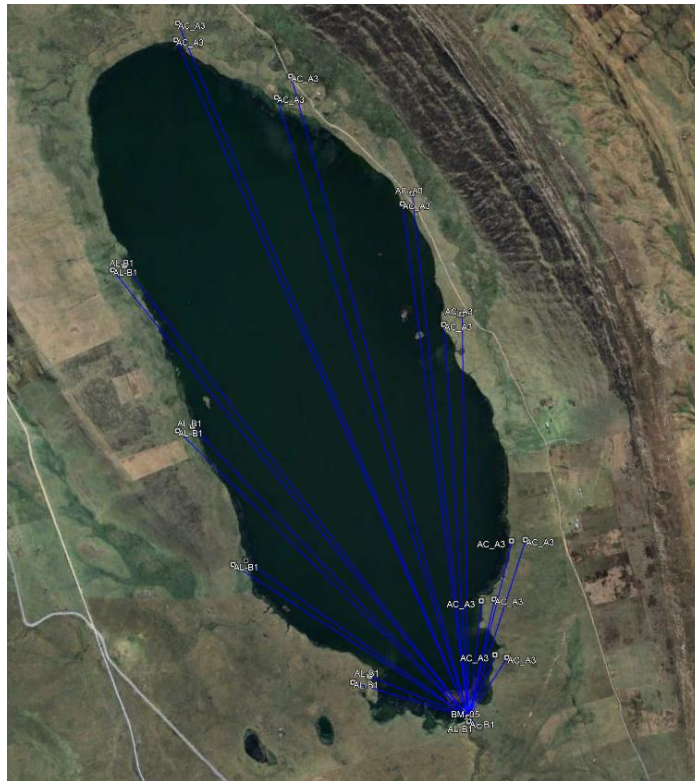


**Figura 64: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Huahuacocho**

4. Puntos de Fotocontrol – Laguna Alcacocho



**Figura 65: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Alcacocho**



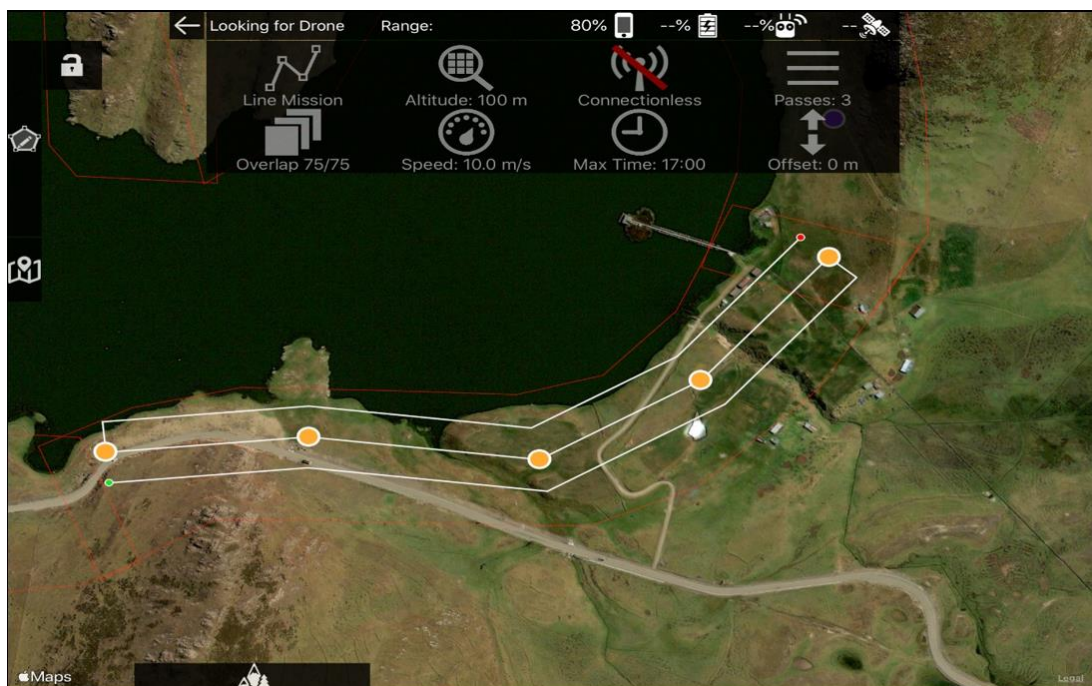
**Figura 66: Distribución de puntos de fotocontrol en la laguna Alcacocha**

#### 4.1.2. Levantamiento Fotogramétrico

Los resultados y los planes de vuelos ejecutados de muestran a continuación.

##### 1. Laguna Huicra

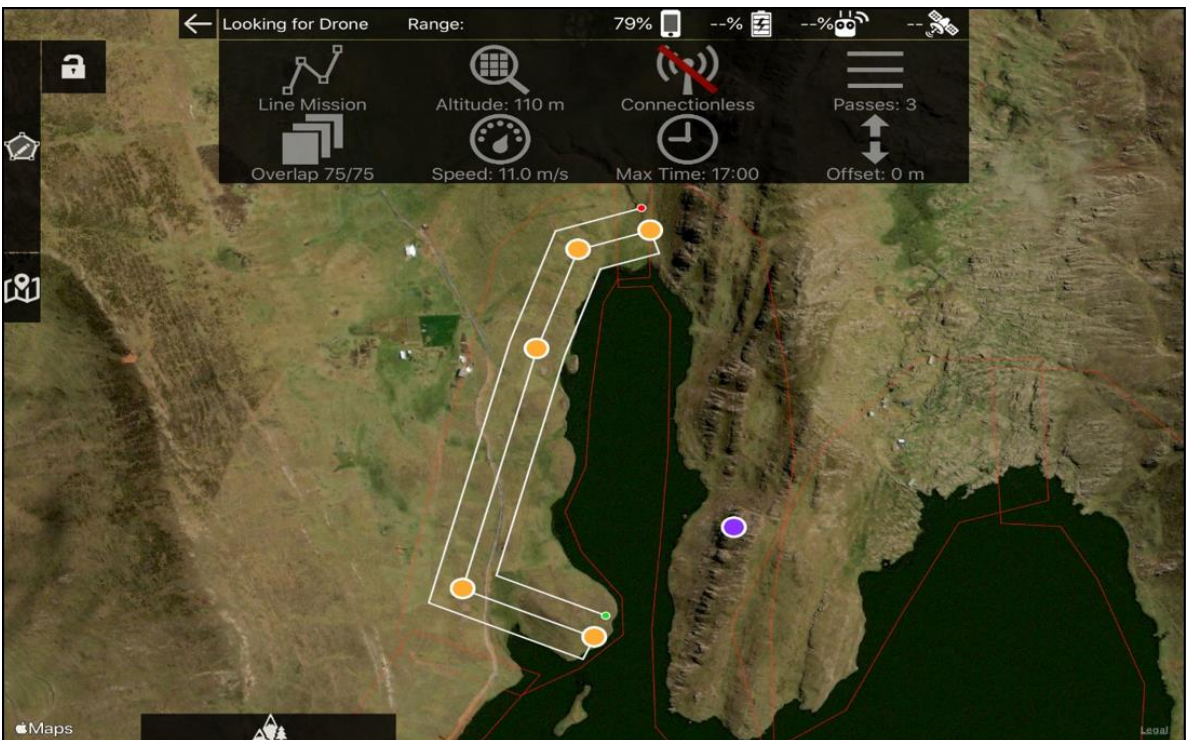
Plan de vuelo ejecutados en la laguna Huicra



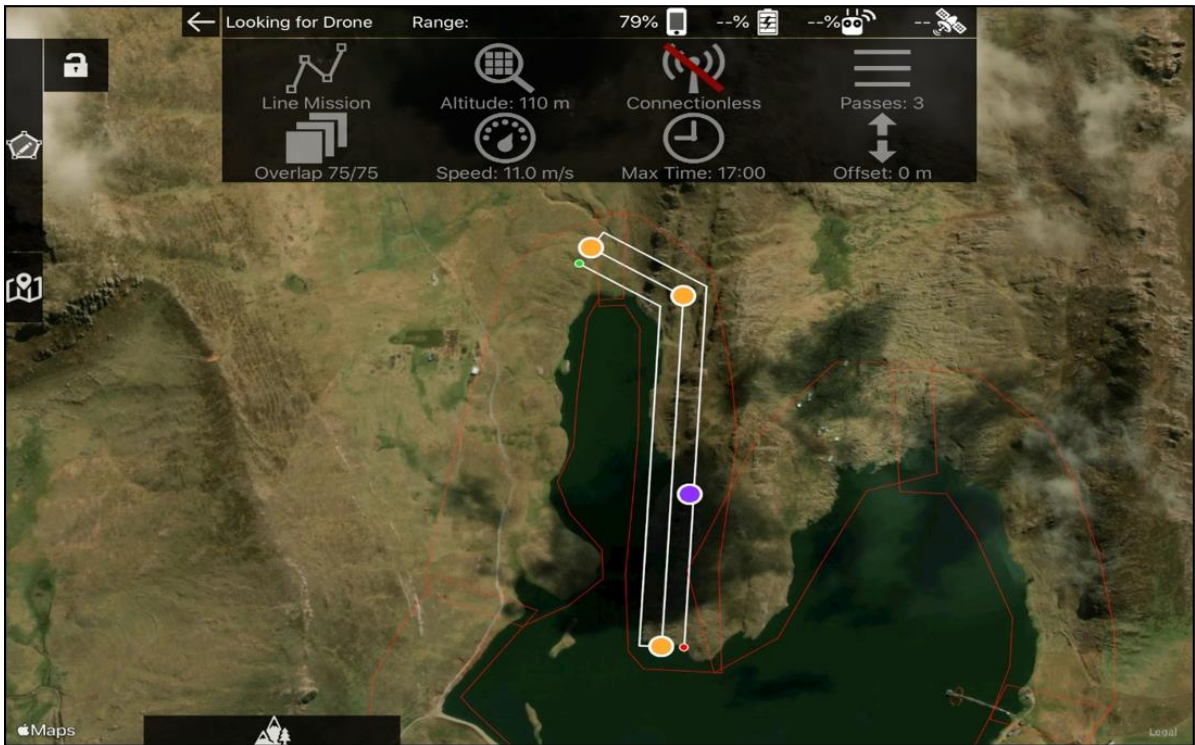
**Figura 67: Plan de vuelo 1 ejecutado en la laguna Huicra**



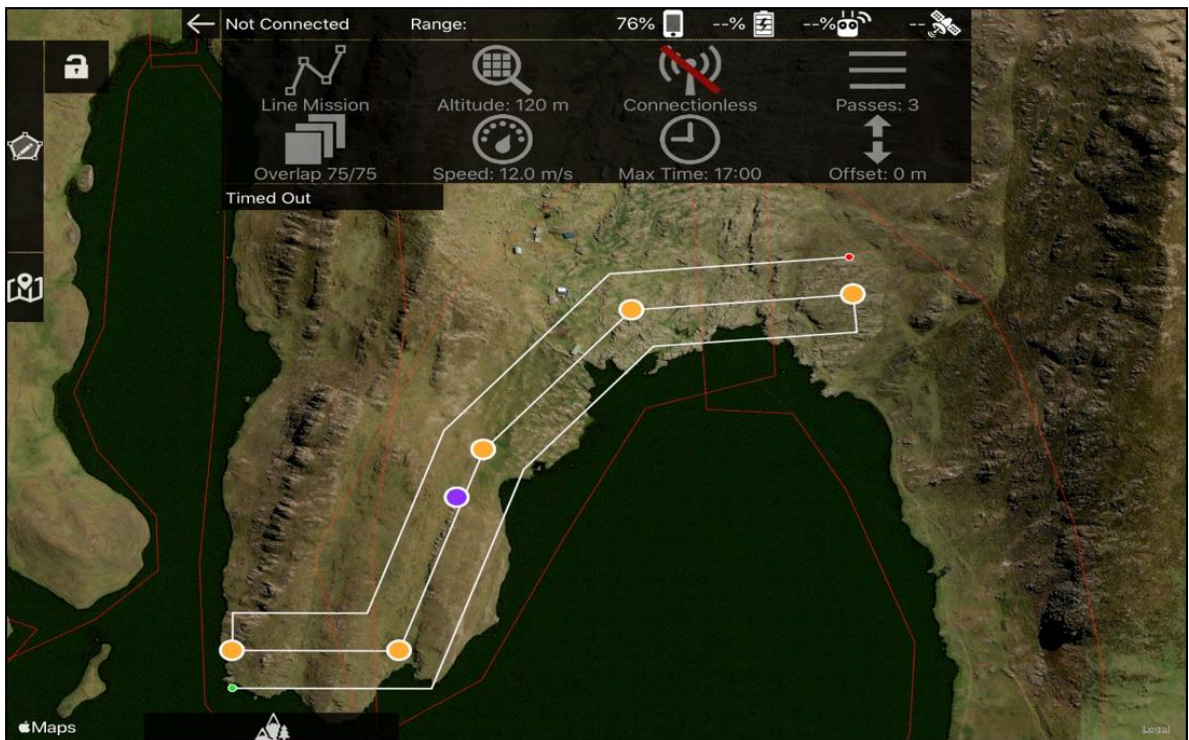
**Figura 68: Plan de vuelo 2 ejecutado en la laguna Huicra**



**Figura 69: Plan de vuelo 3 ejecutado en la laguna Huicra**

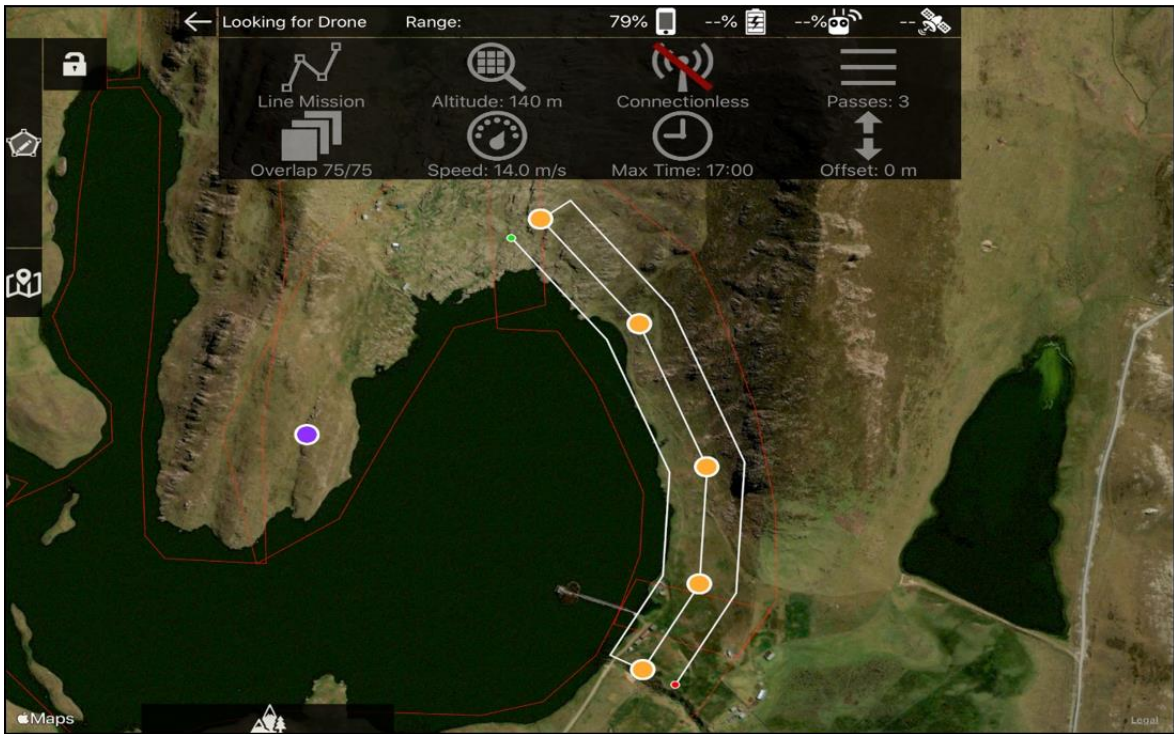


**Figura 70: Plan de vuelo 4 ejecutado en la laguna Huicra**



**Figura 71: Plan de vuelo 5 ejecutado en la laguna Huicra**





**Figura 72: Plan de vuelo 6 ejecutado en la laguna Huicra**

En la Figura 73 se muestra el resultado del post-procesamiento de la fotogrametría generado por el software Pix4D para la laguna Huicra. En los anexos se puede observar desde la figura 128 hasta la figura 137 las capturas de pantalla completas del reporte generado para la laguna Huicra.

# Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

**!** Important: Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

**?** Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

## Summary i

Project	Proceso_Huicra
Processed	2023-02-25 23:44:21
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.75 cm / 1.48 in
Area Covered	1.382 km <sup>2</sup> / 138.1788 ha / 0.53 sq. mi. / 341.6241 acres

## Quality Check i

<b>?</b> Images	median of 53957 keypoints per image	✓
<b>?</b> Dataset	646 out of 646 images calibrated (100%), all images enabled	✓
<b>?</b> Camera Optimization	0.89% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
<b>?</b> Matching	median of 29566.9 matches per calibrated image	✓
<b>?</b> Georeferencing	yes, 52 GCPs (52 3D), mean RMS error = 0.05 m	✓

## **?** Preview i

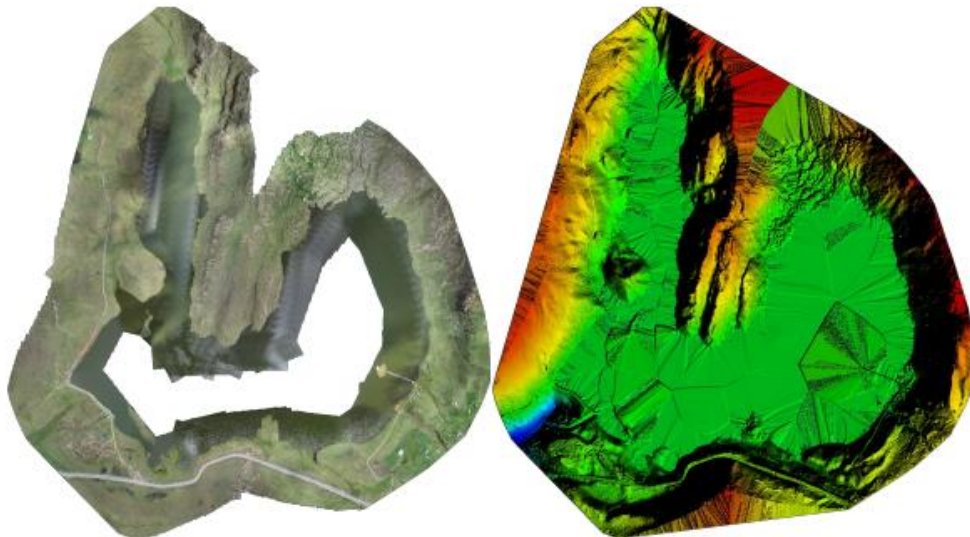
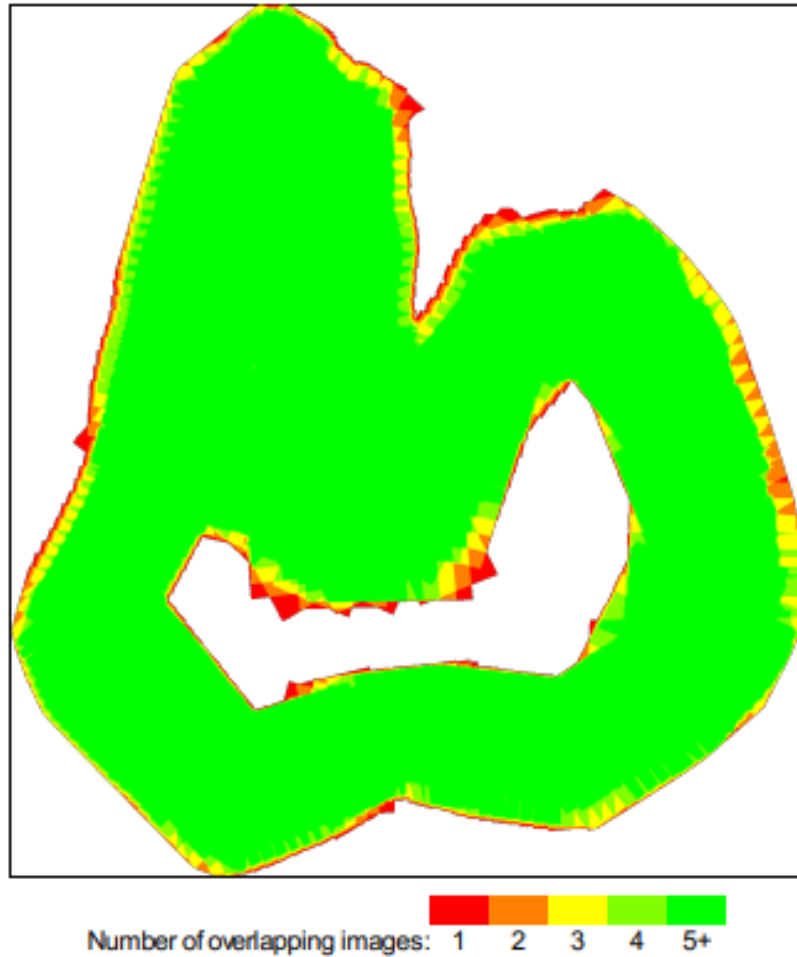


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

**Figura 73: Reporte del procesamiento fotogramétrico del software Pix4D en la laguna Huicra**

En la Figura 74 muestra un mapa de traslapes entre las fotografías tomadas en la laguna Huicra, se observa que se cumple con el traslape planificado.



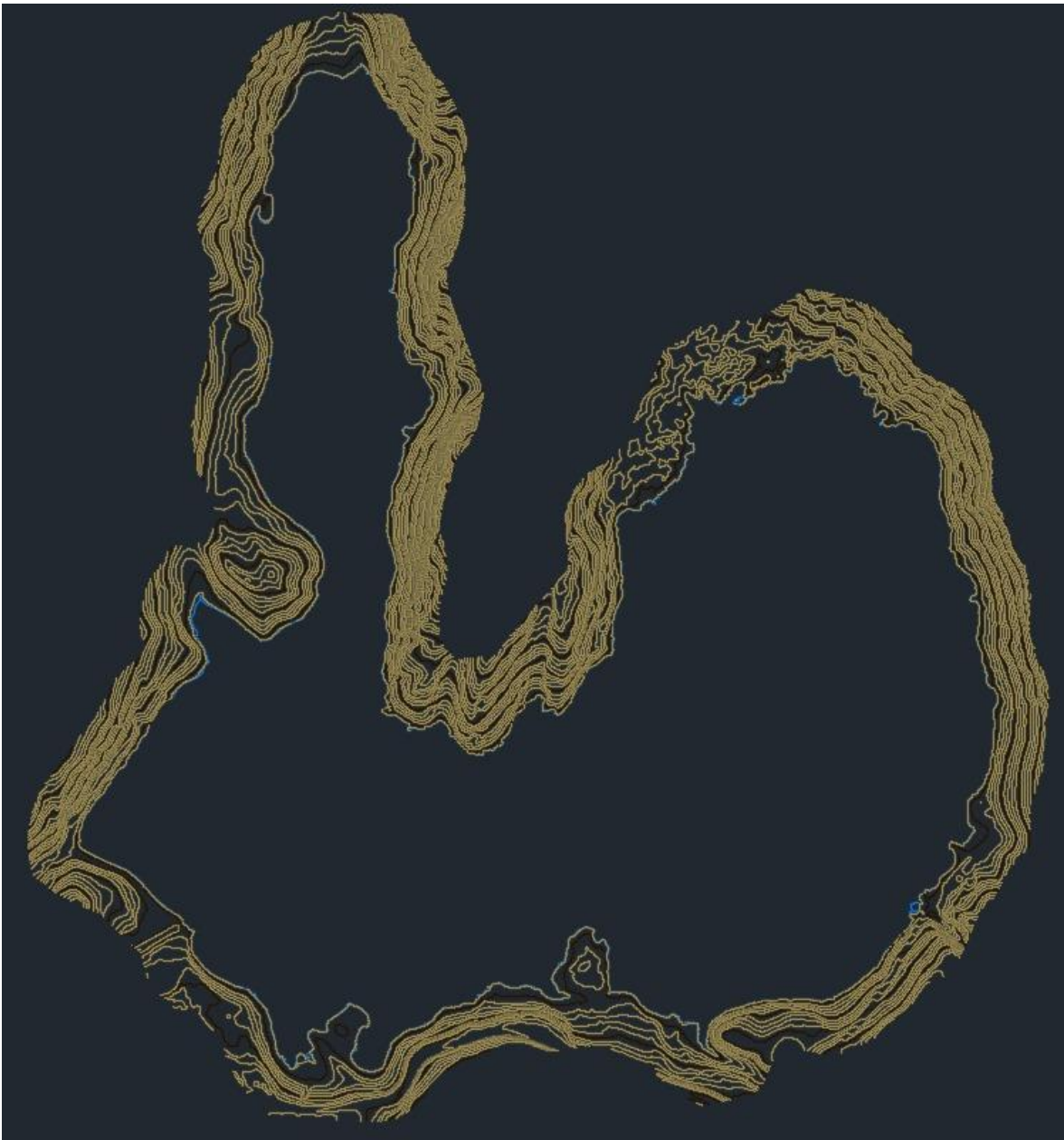
**Figura 74: Mapa de traslape de fotografías en la laguna Huicra**

En la Tabla 18 se muestra un cuadro resumen con los errores generados en la corrección a través de los puntos de fotocontrol, se observa que el error medio está por debajo del centímetro.

**Tabla 18: Errores generados por el modelo de la laguna Huicra**

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]
Mean [m]		0.004221	0.005507	-0.000255
Sigma [m]		0.043528	0.044445	0.062116
RMS Error [m]		0.043732	0.044785	0.062117

Se exportaron las curvas de nivel, estas se presentan en el software Civil 3D.

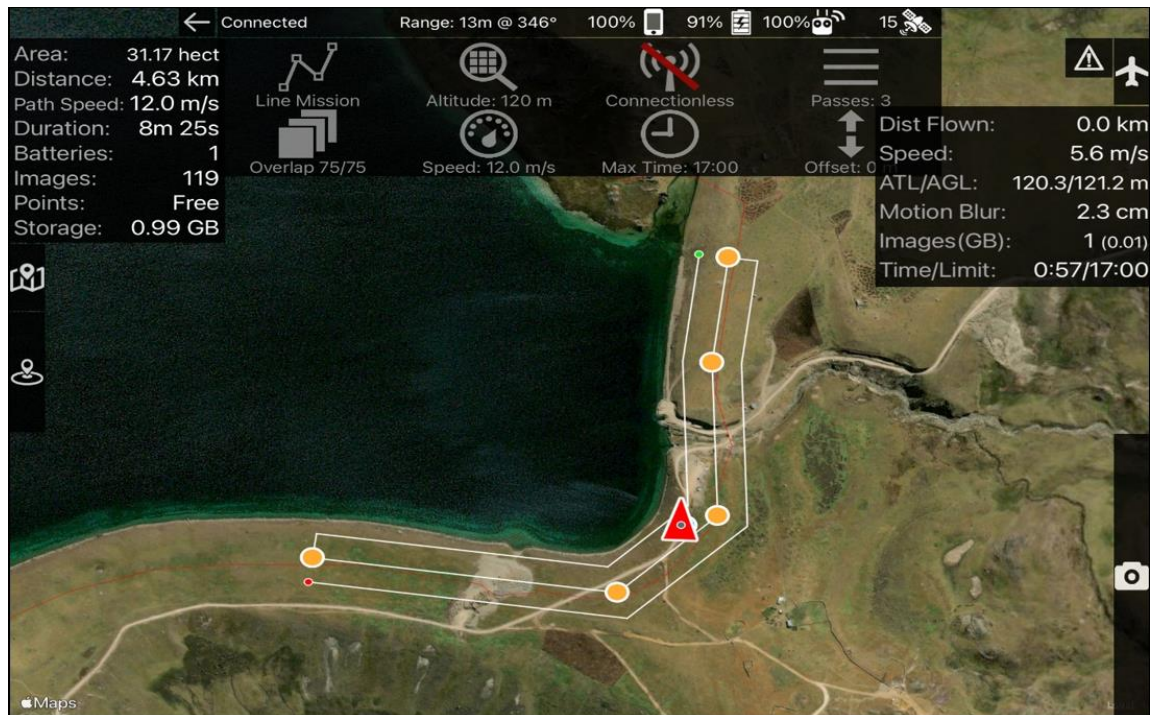


**Figura 75: Curvas de nivel generadas del postproceso fotogramétrico de la laguna Huicra**

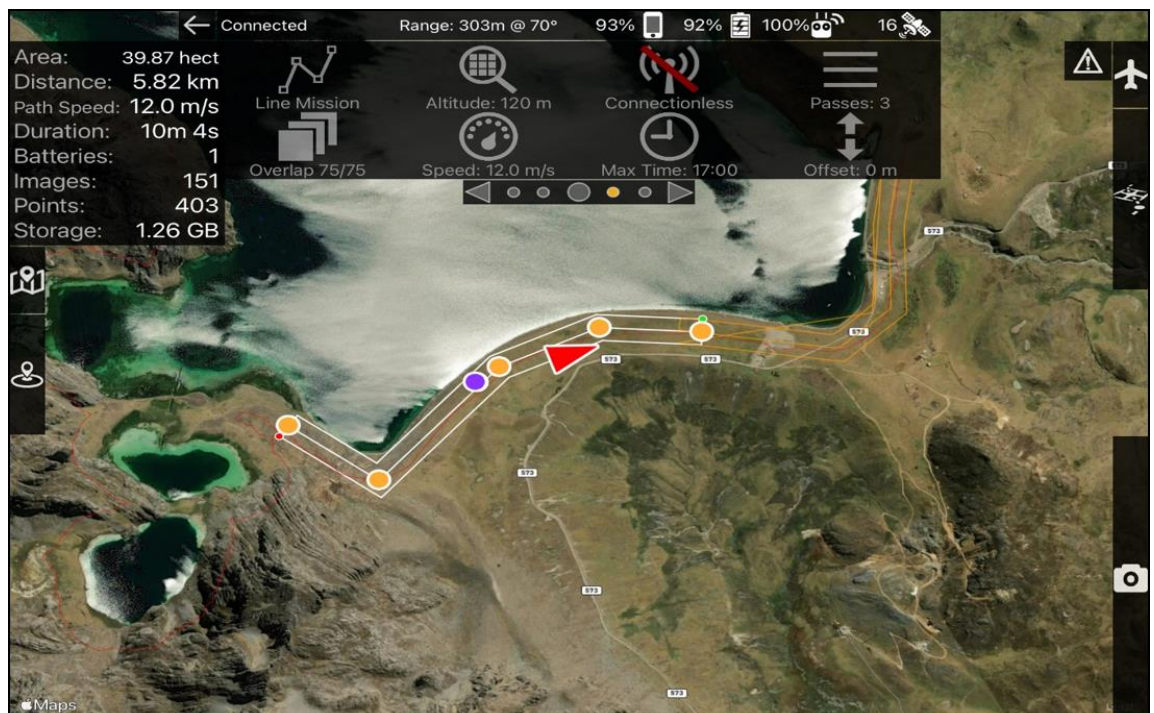
*Nota.* Curvas de nivel generada en el software Civil 3D en base a los puntos exportados del software Pix4D de la laguna Huicra

## 2. Laguna Acococha

Plan de vuelos ejecutados.



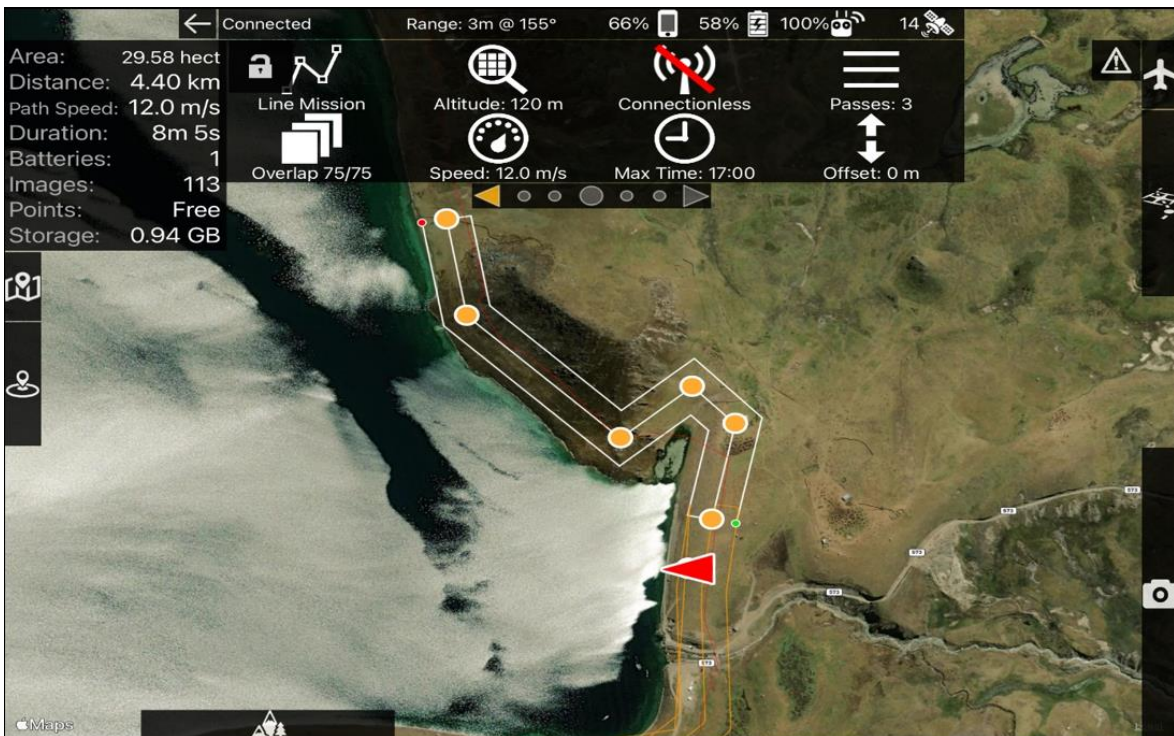
**Figura 76: Plan de vuelo 1 ejecutado en la laguna Acococha**



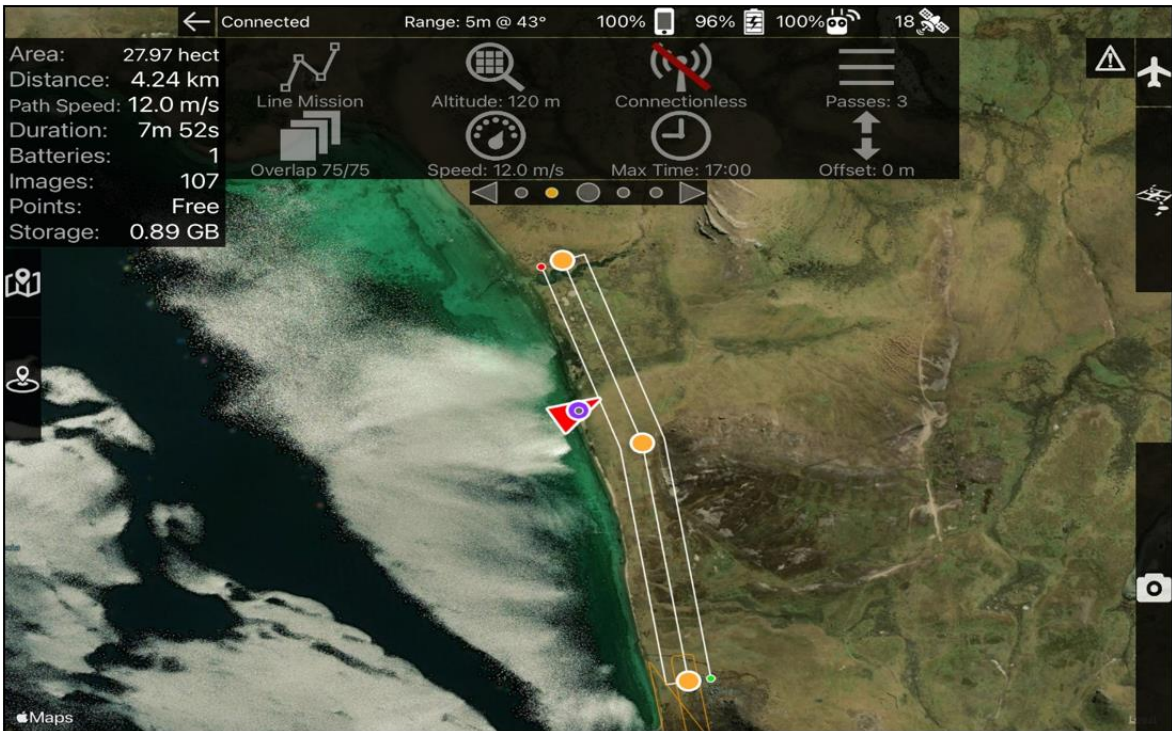
**Figura 77: Plan de vuelo 2 ejecutado en la laguna Acococha**



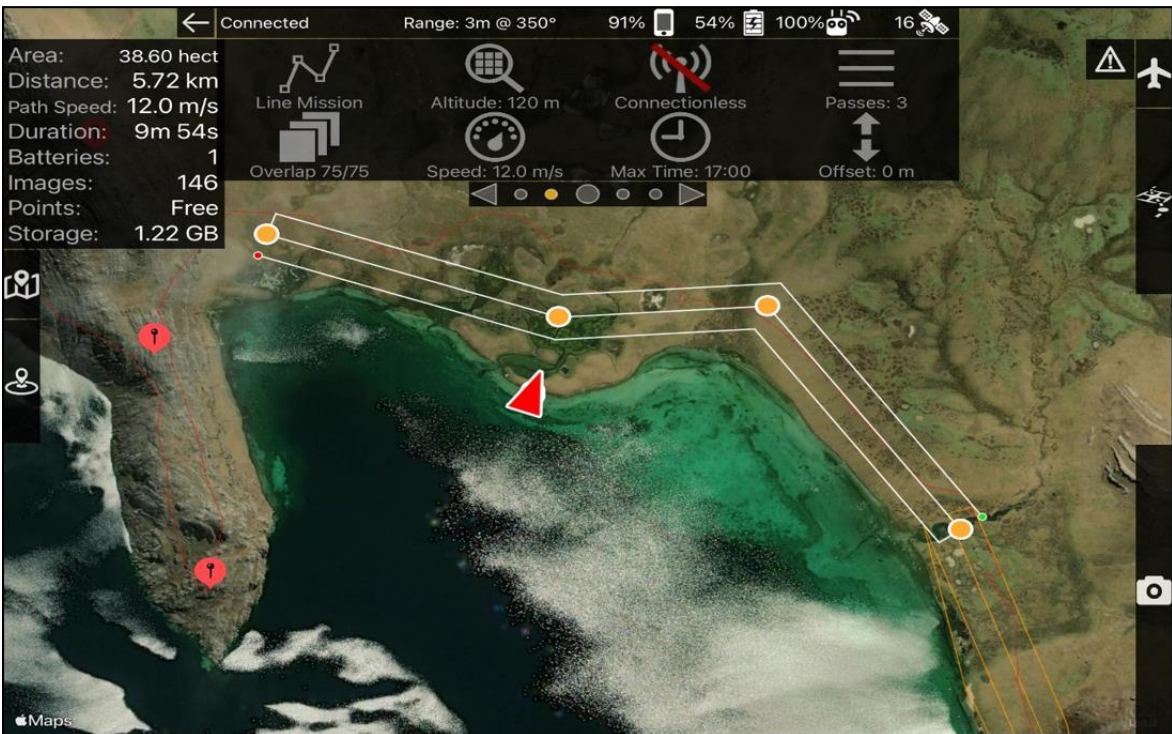
**Figura 78: Plan de vuelo 3 ejecutado en la laguna Acococha**



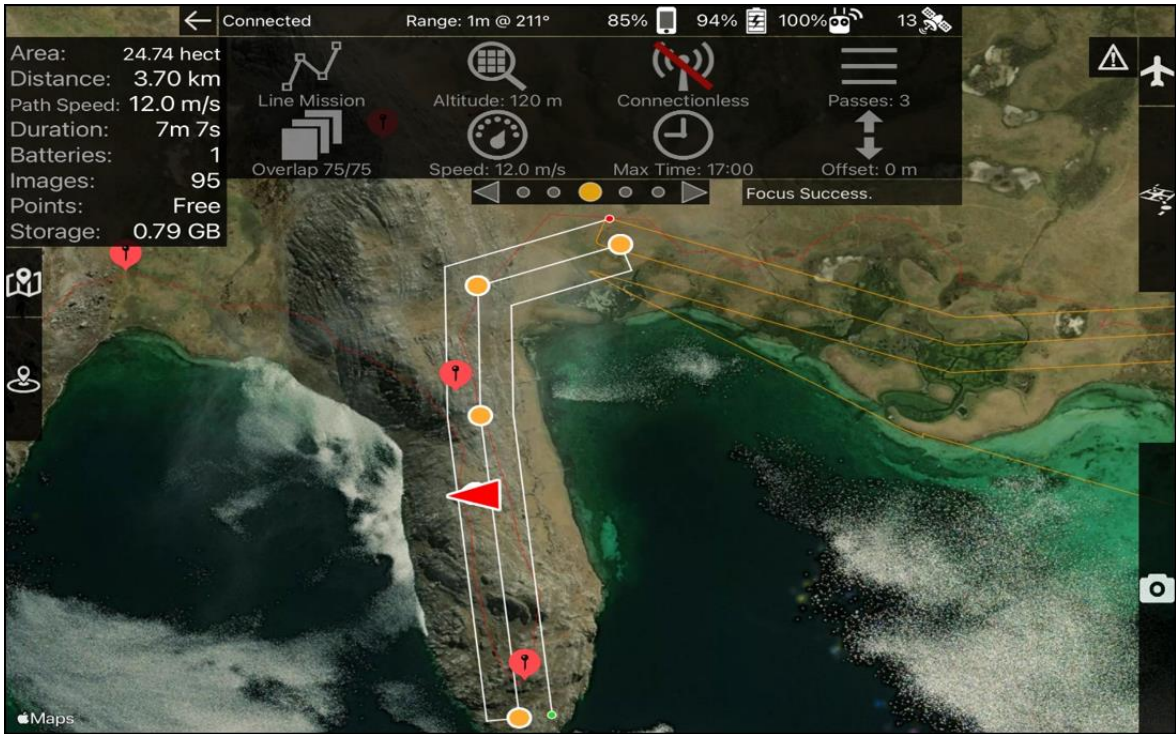
**Figura 79: Plan de vuelo 4 ejecutado en la laguna Acococha**



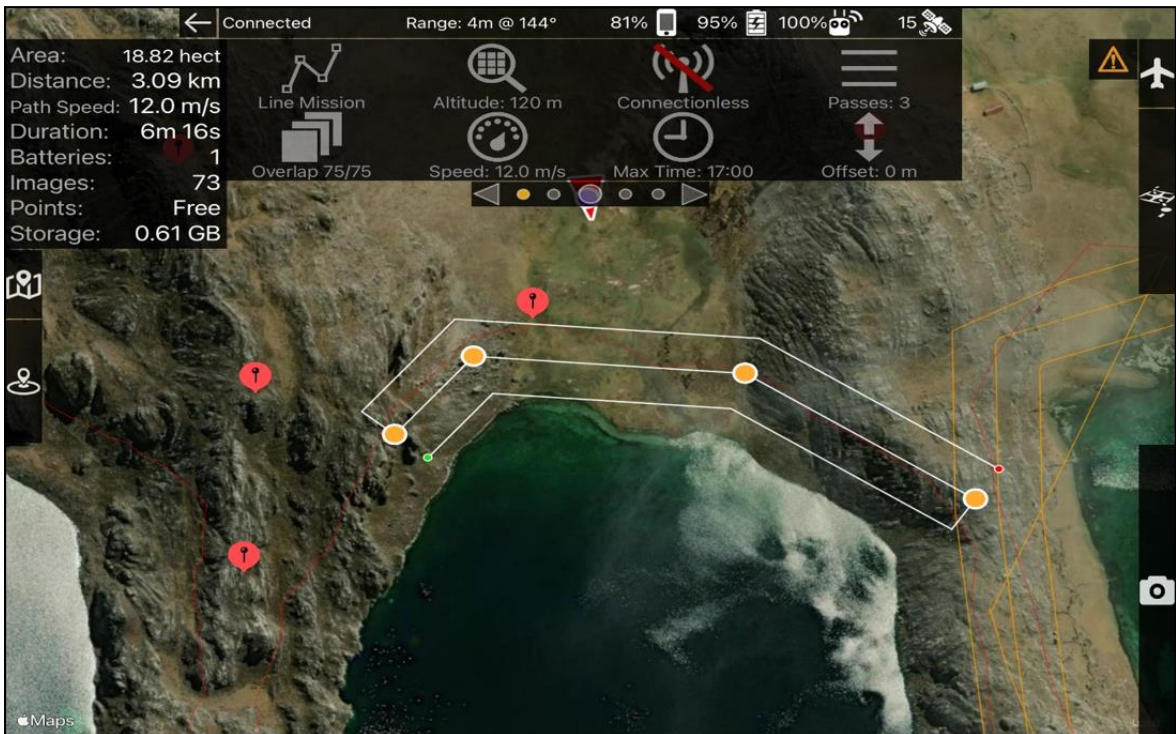
**Figura 80: Plan de vuelo 5 ejecutado en la laguna Acococha**



**Figura 81: Plan de vuelo 6 ejecutado en la laguna Acococha**

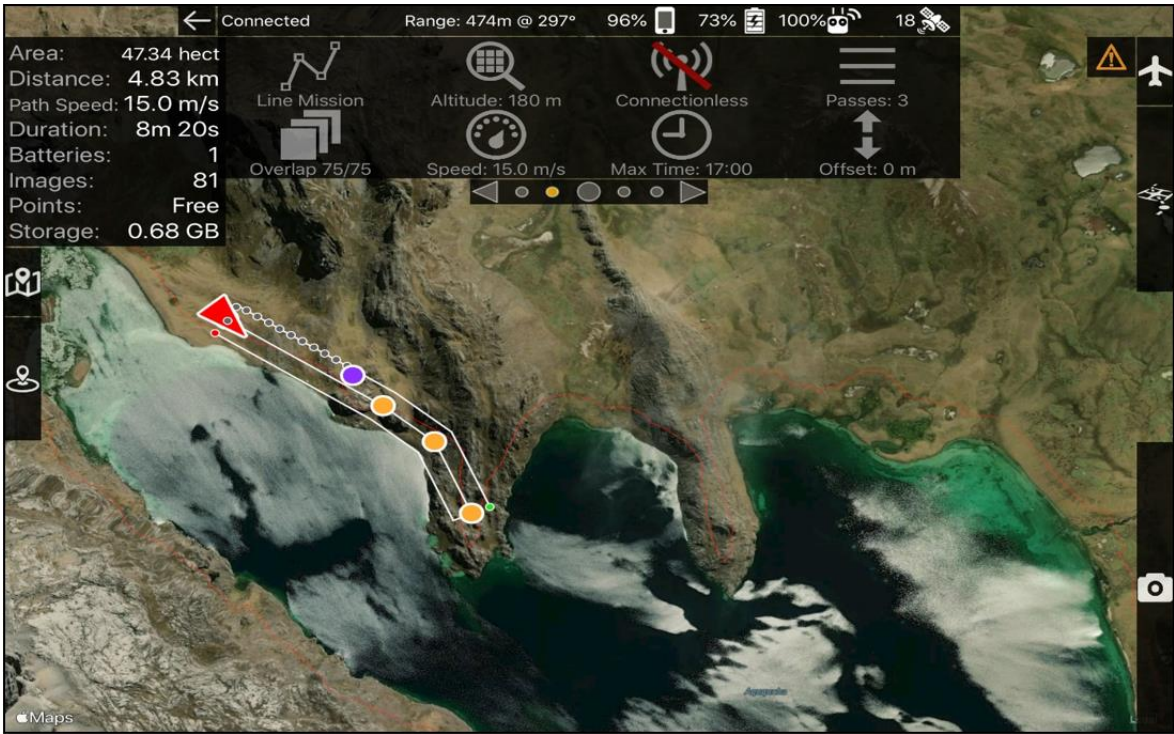


**Figura 82: Plan de vuelo 7 ejecutado en la laguna Acococha**

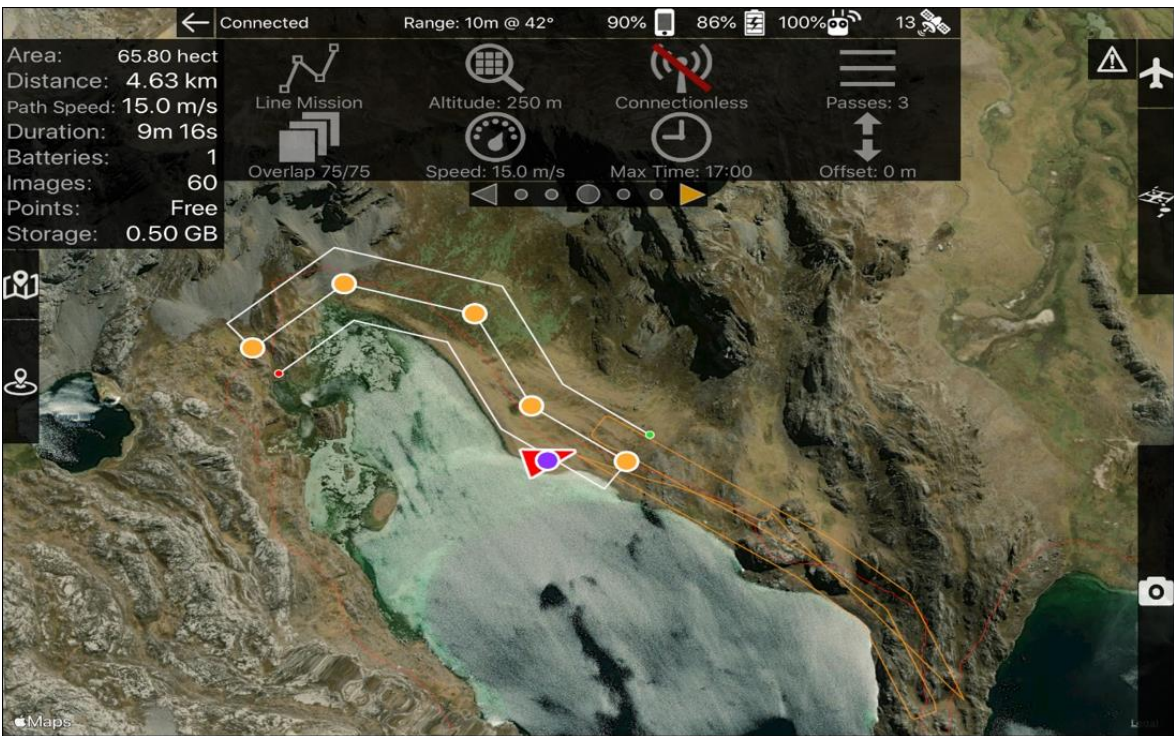


**Figura 83: Plan de vuelo 8 ejecutado en la laguna Acococha**

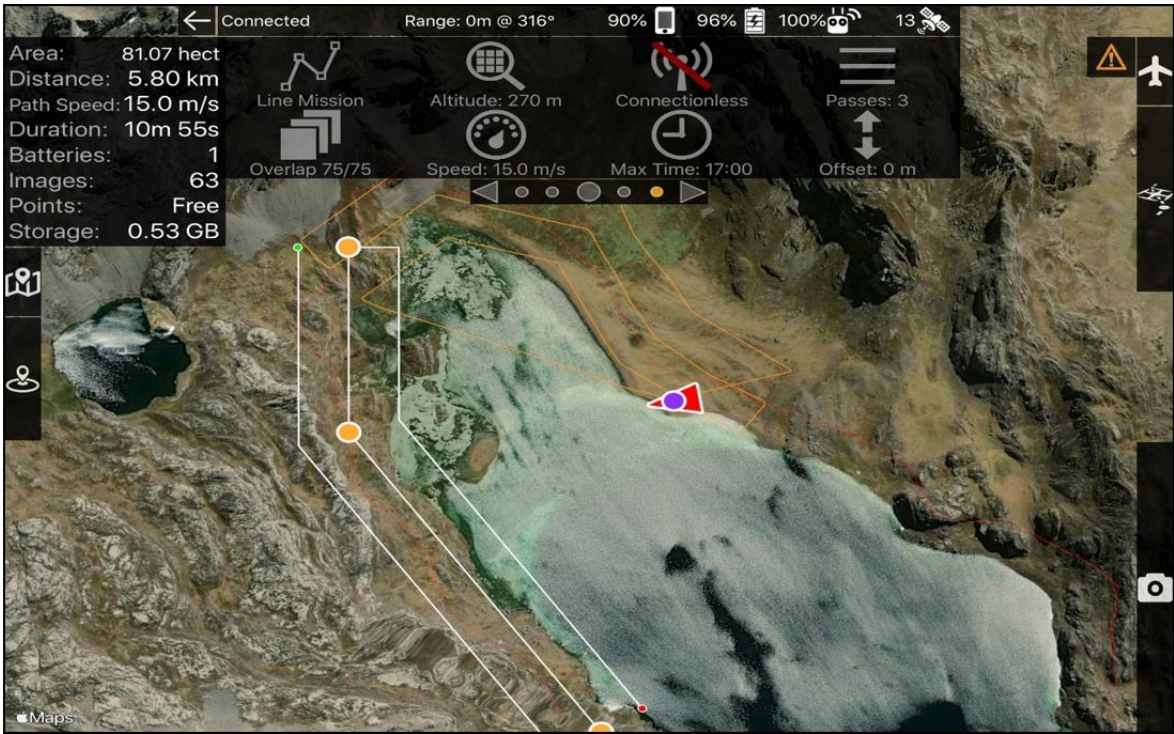




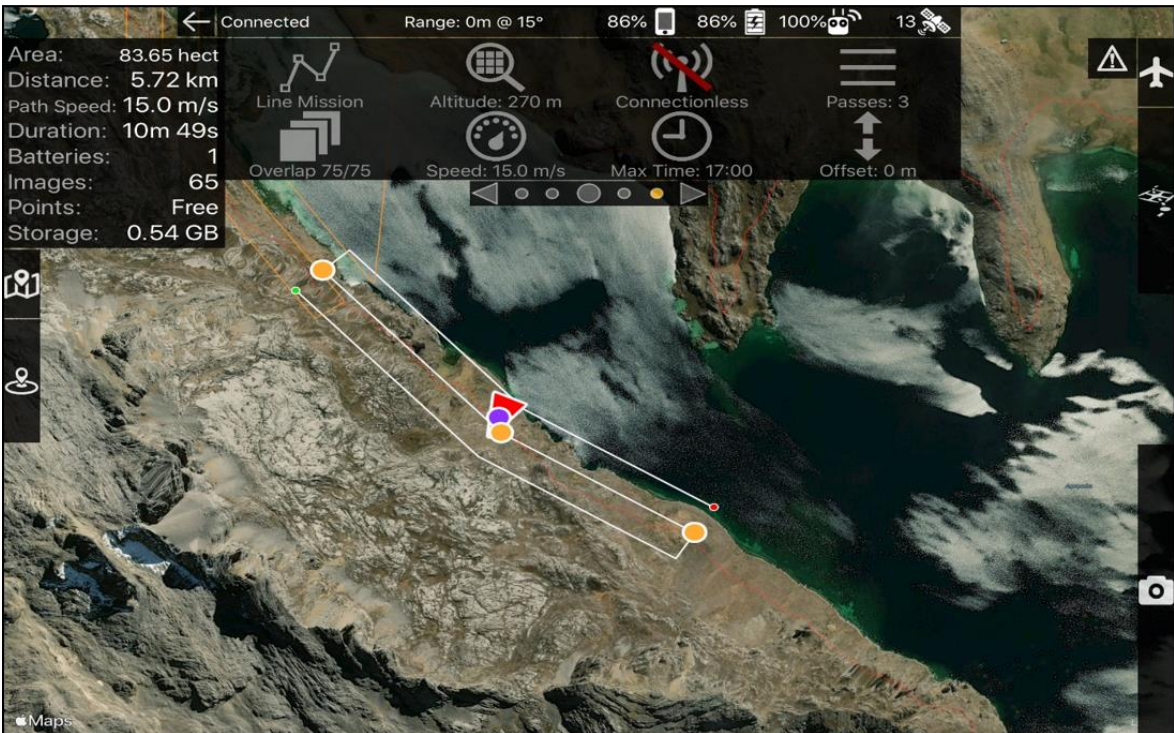
**Figura 84: Plan de vuelo 9 ejecutado en la laguna Acococha**



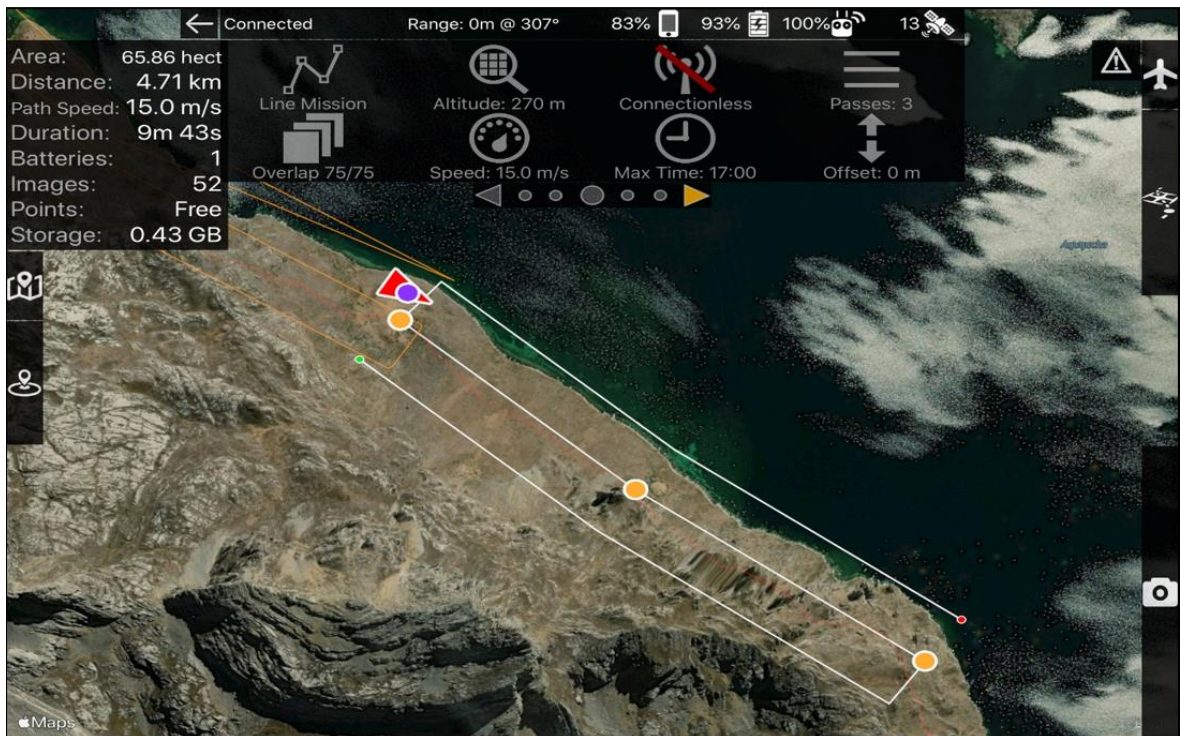
**Figura 85: Plan de vuelo 10 ejecutado en la laguna Acococha**



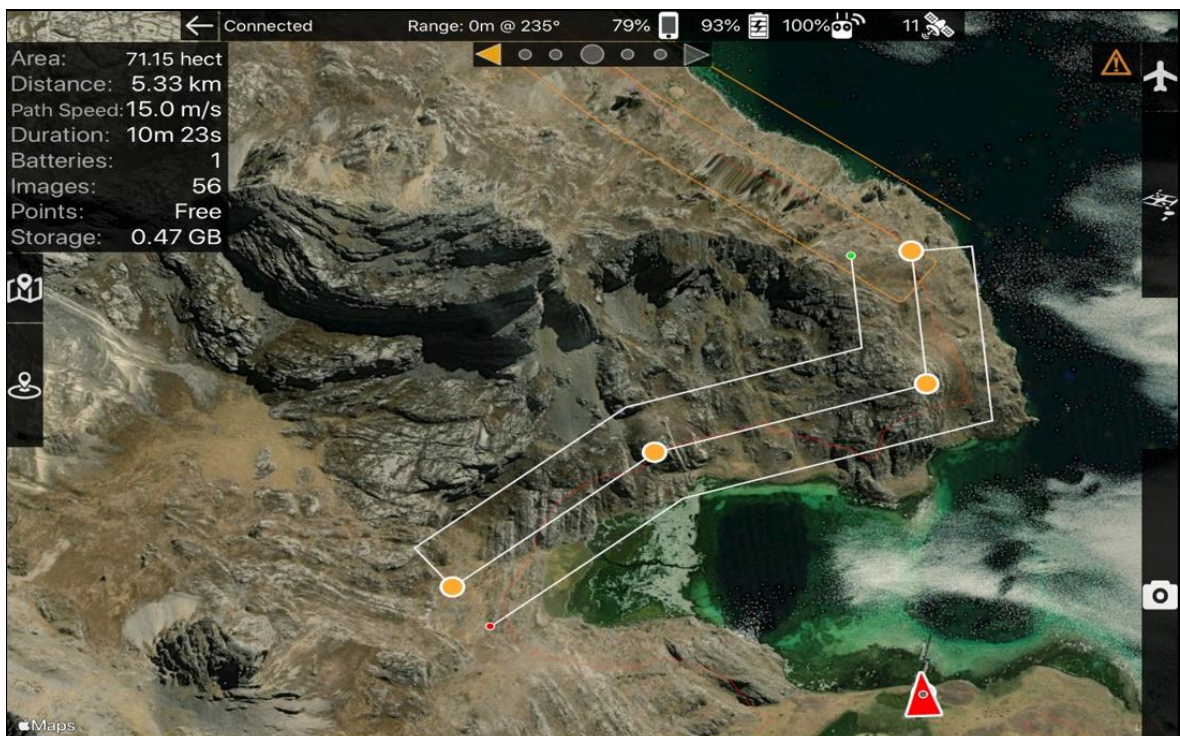
**Figura 86: Plan de vuelo 11 ejecutado en la laguna Acococha**



**Figura 87: Plan de vuelo 12 ejecutado en la laguna Acococha**



**Figura 88: Plan de vuelo 13 ejecutado en la laguna Acococha**



**Figura 89: Plan de vuelo 14 ejecutado en la laguna Acococha**



**Figura 90: Plan de vuelo 15 ejecutado en la laguna Acococha**

En la Figura 91 se muestra el resultado del post-procesamiento de la fotogrametría generado por el software Pix4D para la laguna Acococha. En los anexos se puede observar desde la Figura 138 hasta la Figura 147 las capturas de pantalla completas del reporte generado para la laguna Acococha.

# Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

**!** Important: Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

**💡** Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

## Summary

Project	Proceso_Acococho
Processed	2023-03-04 08:20:21
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.91 cm / 1.54 in
Area Covered	6.940 km <sup>2</sup> / 694.0471 ha / 2.68 sq. mi. / 1715.9154 acres

## Quality Check

<b>?</b> Images	median of 65572 keypoints per image	✓
<b>?</b> Dataset	1490 out of 1492 images calibrated (99%), all images enabled, 2 blocks	⚠
<b>?</b> Camera Optimization	0.82% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
<b>?</b> Matching	median of 24868 matches per calibrated image	✓
<b>?</b> Georeferencing	yes, 115 GCPs (115 3D), mean RMS error = 0.054 m	✓

## Preview

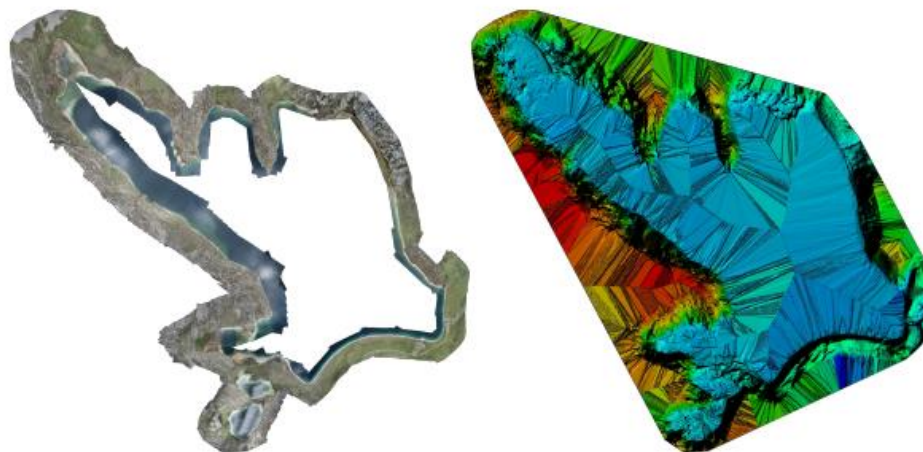
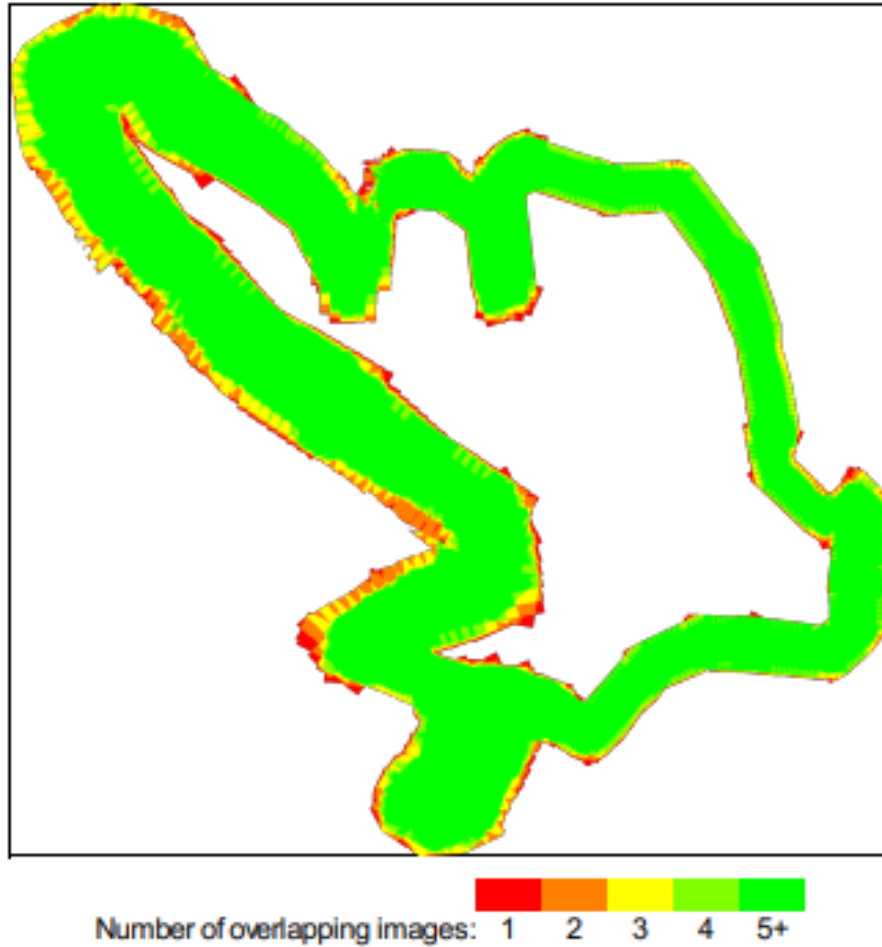


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

## Figura 91: Reporte del procesamiento fotogramétrico del software Pix4D en la laguna Acococho

La Figura 92 muestra un mapa de traslapes entre las fotografías tomadas en la laguna Acococho, se observa que se cumple con el traslape planificado.



**Figura 92: Mapa de traslape de fotografías en la laguna Acococha**

En la Tabla 19 se muestra un resumen con los errores generados en la corrección a través de los puntos de fotocontrol, se observa que el error medio está por debajo del centímetro.

**Tabla 19: Tabla de errores generados por el modelo de laguna Acococha**

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]
Mean [m]		0.008140	0.002104	0.001187
Sigma [m]		0.088935	0.032281	0.041314
RMS Error [m]		0.089307	0.032350	0.041331



**Figura 93: Curvas de nivel generadas del postproceso fotogramétrico de la laguna Acococha**

*Nota.* Curvas de nivel generada en el software Civil 3D en base a los puntos exportados del software Pix4D de la laguna Acococha

### 3. Laguna Huahuacocho

Plan de vuelos ejecutados.

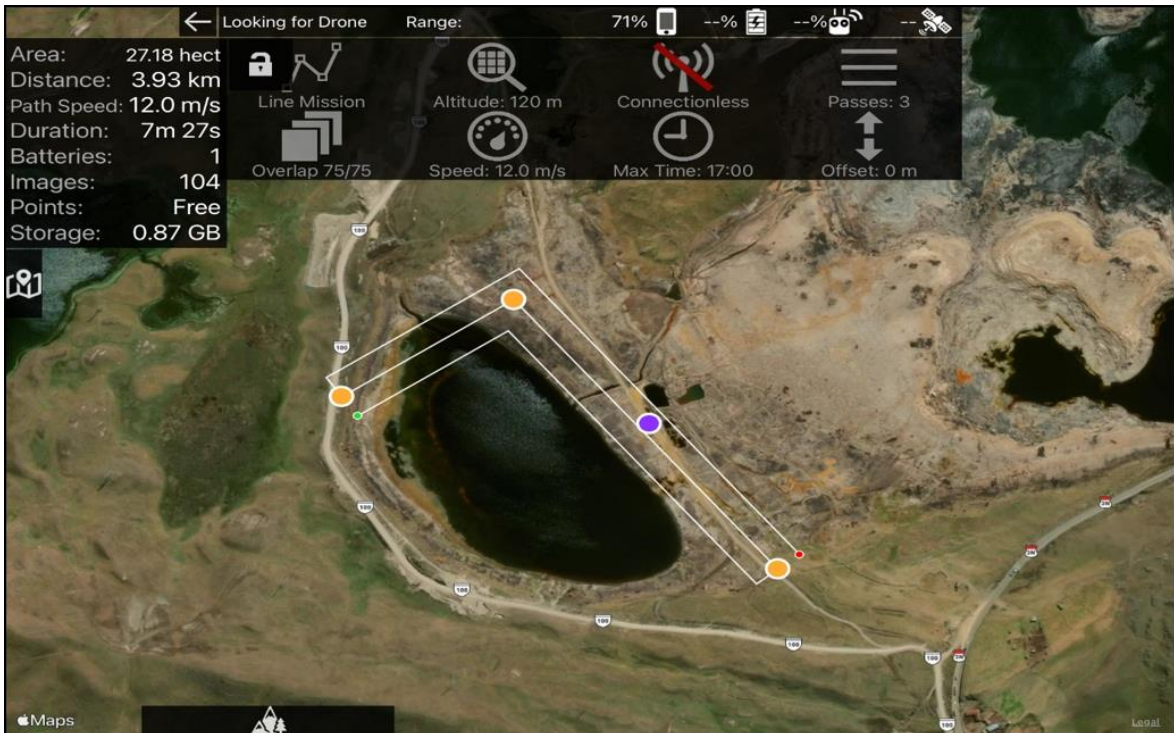


Figura 94: Plan de vuelo ejecutado en la laguna Huahuacocho

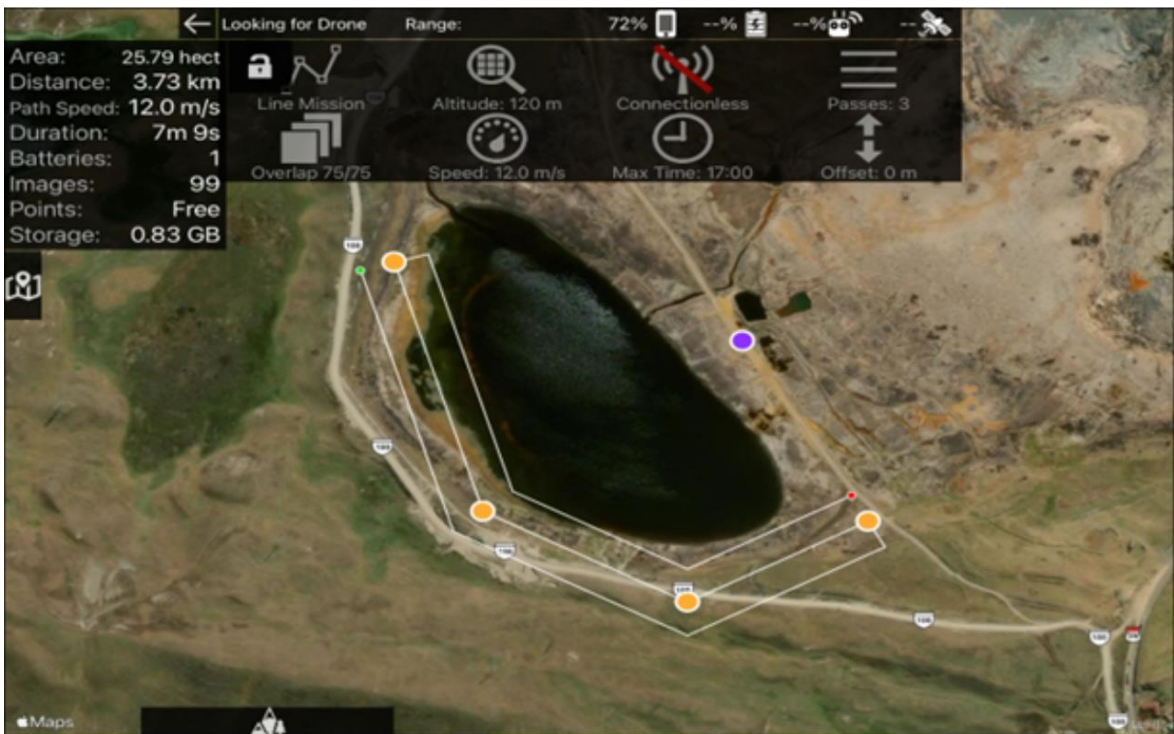


Figura 95: Plan de vuelo ejecutado en la laguna Huahuacocho



En la Figura 96 se muestra el resultado del post-procesamiento de la fotogrametría generado por el software Pix4D para la laguna Huahuacocho. En los anexos se puede observar desde la figura 148 hasta la figura 156 las capturas de pantalla completas del reporte generado para la laguna Huahuacocho.

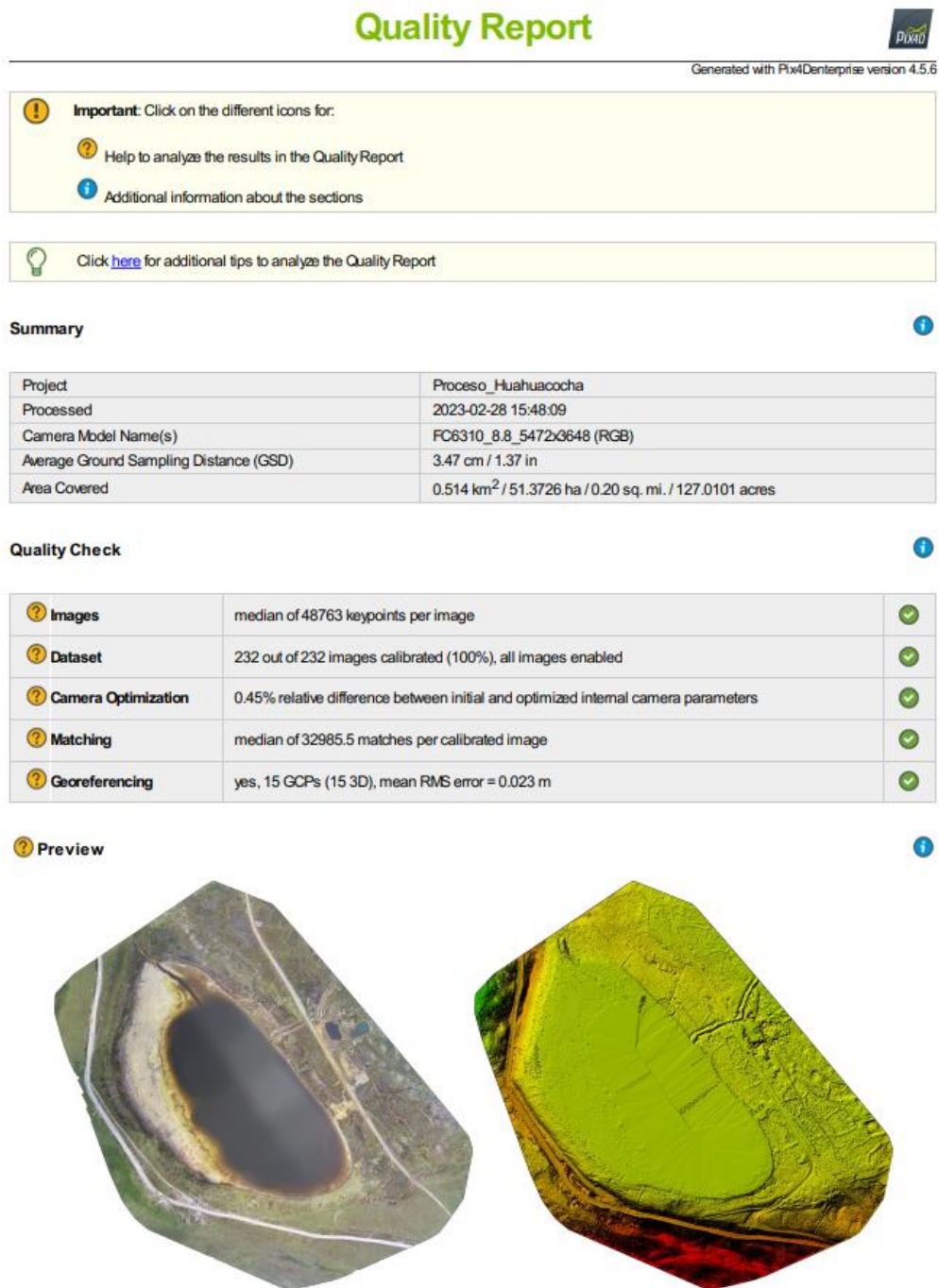
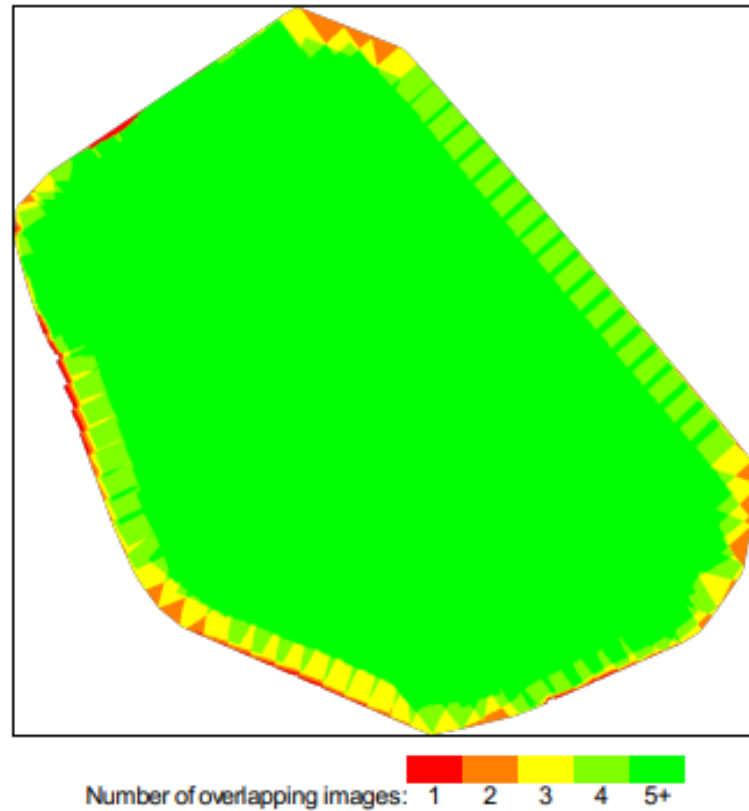


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

**Figura 96: Reporte del procesamiento fotogramétrico del software Pix4D en la laguna Huahuacocho**

La Figura 97 muestra un mapa de traslapes entre las fotografías tomadas en la laguna Huahuacochoa, se observa que se cumple con el traslape planificado.

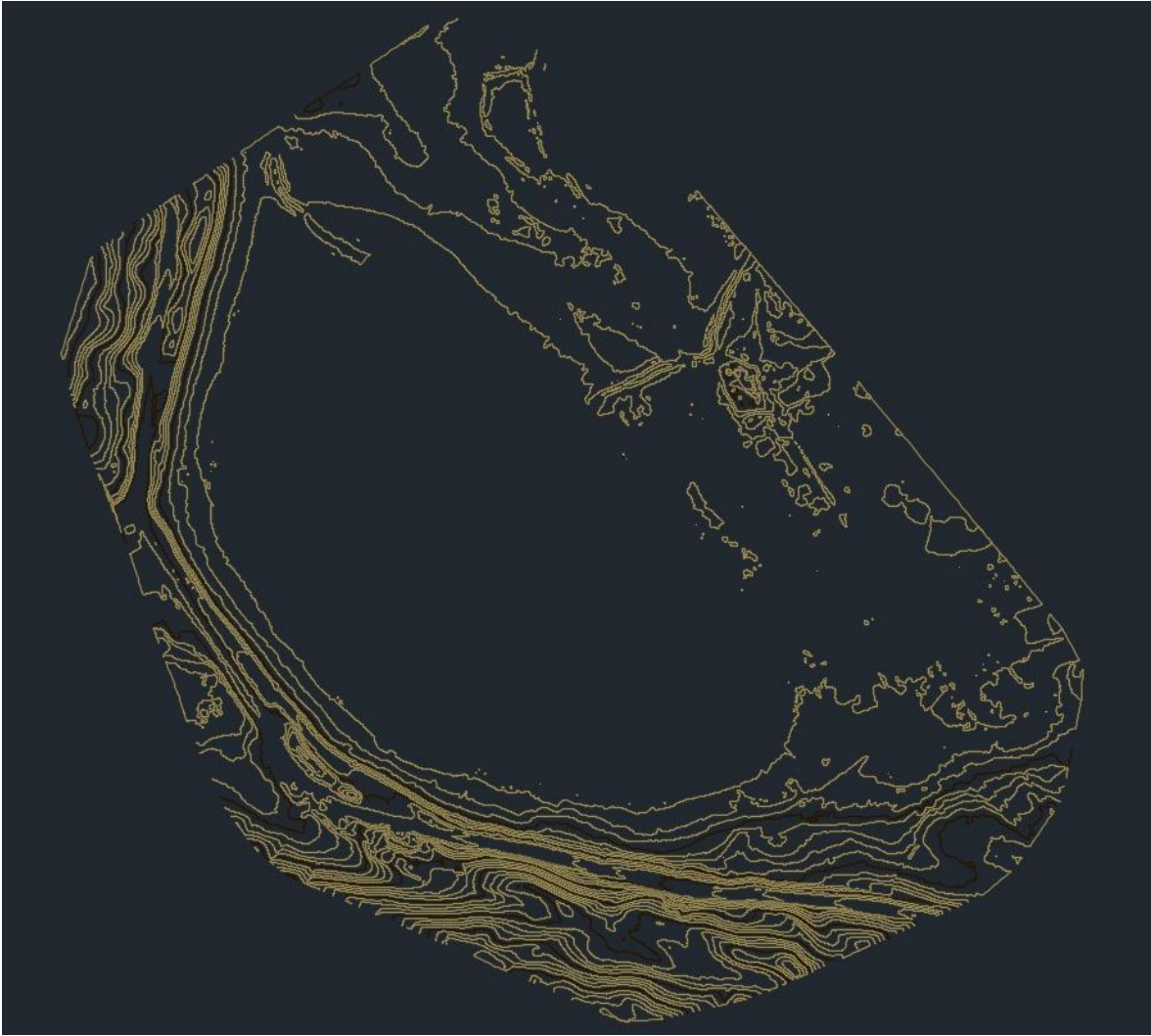


**Figura 97: Mapa de traslape de fotografías en la laguna Huahuacochoa**

En la Tabla 20 se muestra un resumen con los errores generados en la corrección a través de los puntos de fotocontrol, se observa que el error medio está por debajo del centímetro.

**Tabla 20: Errores generados por el modelo en la laguna Huahuacochoa**

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]
Mean [m]		0.001591	0.000997	0.003690
Sigma [m]		0.016549	0.015210	0.037922
RMS Error [m]		0.016625	0.015242	0.038102



**Figura 98: Curvas de nivel generadas del postproceso fotogramétrico de la laguna Huahuacocha**

*Nota.* Curvas de nivel generada en el software Civil 3D en base a los puntos exportados del software Pix4D de la laguna Huahuacocha.

#### 4. Laguna Alcacocha

Plan de vuelo ejecutados.

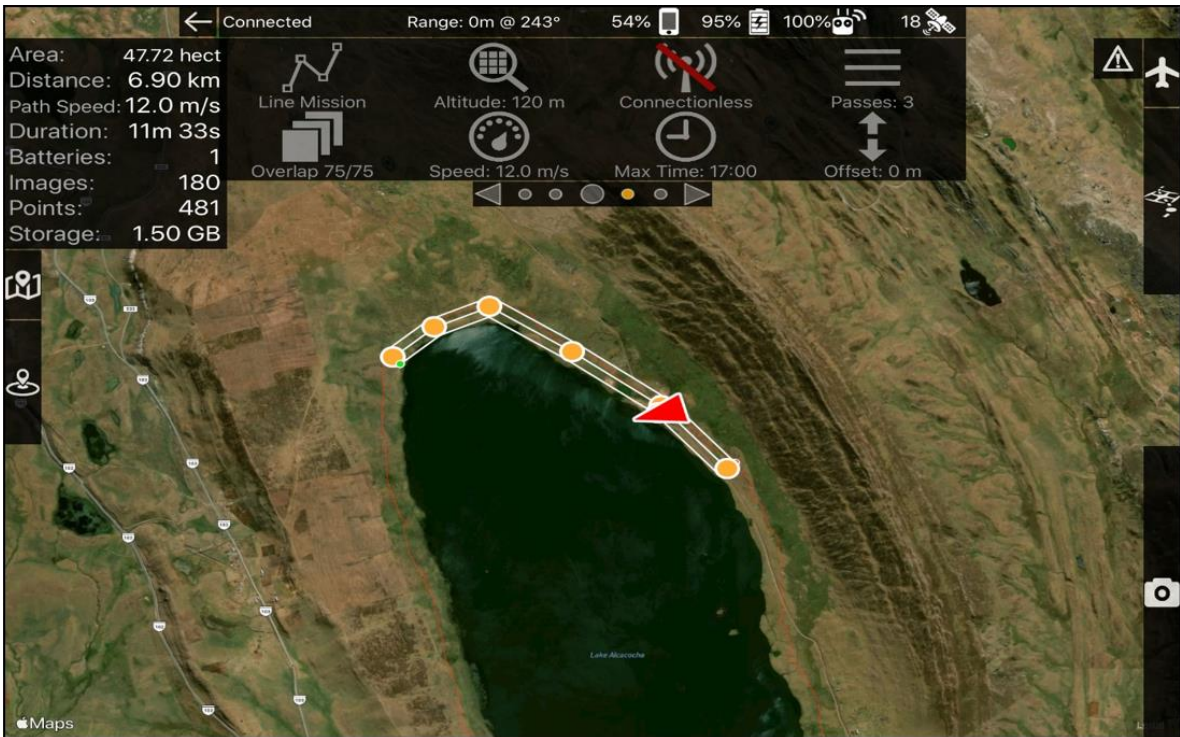


Figura 99: Plan de vuelo 1 ejecutado en la laguna Alcacocha

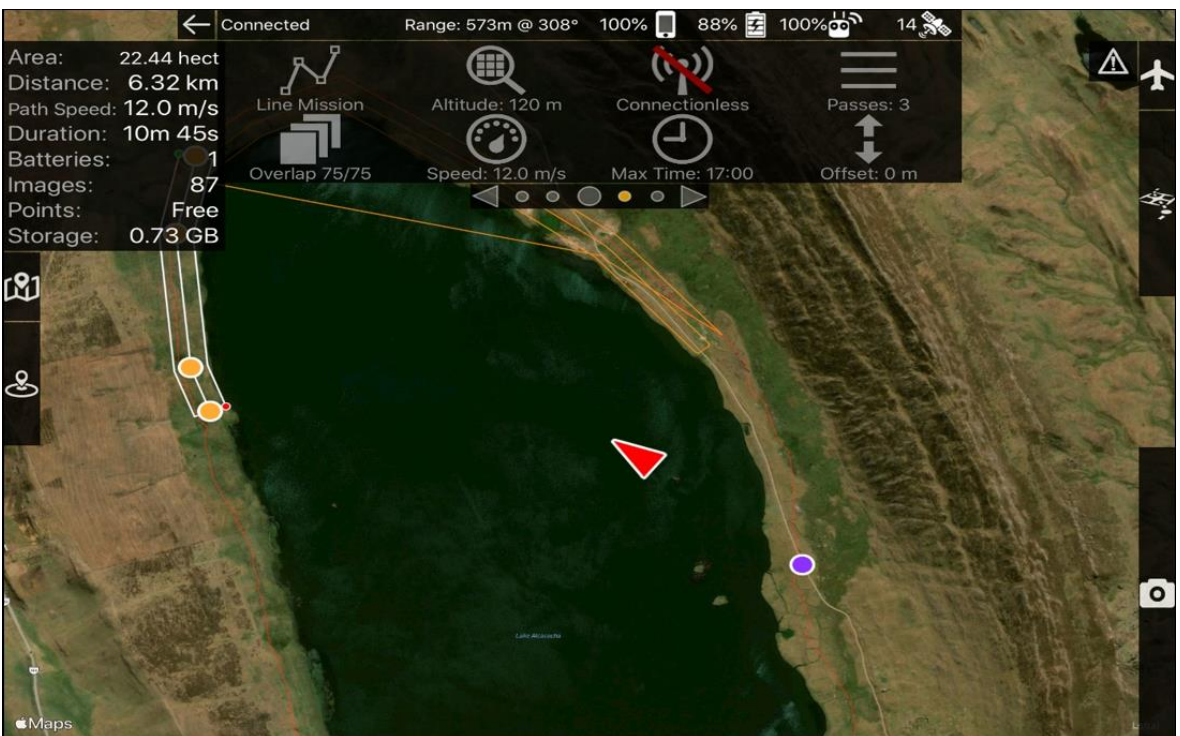
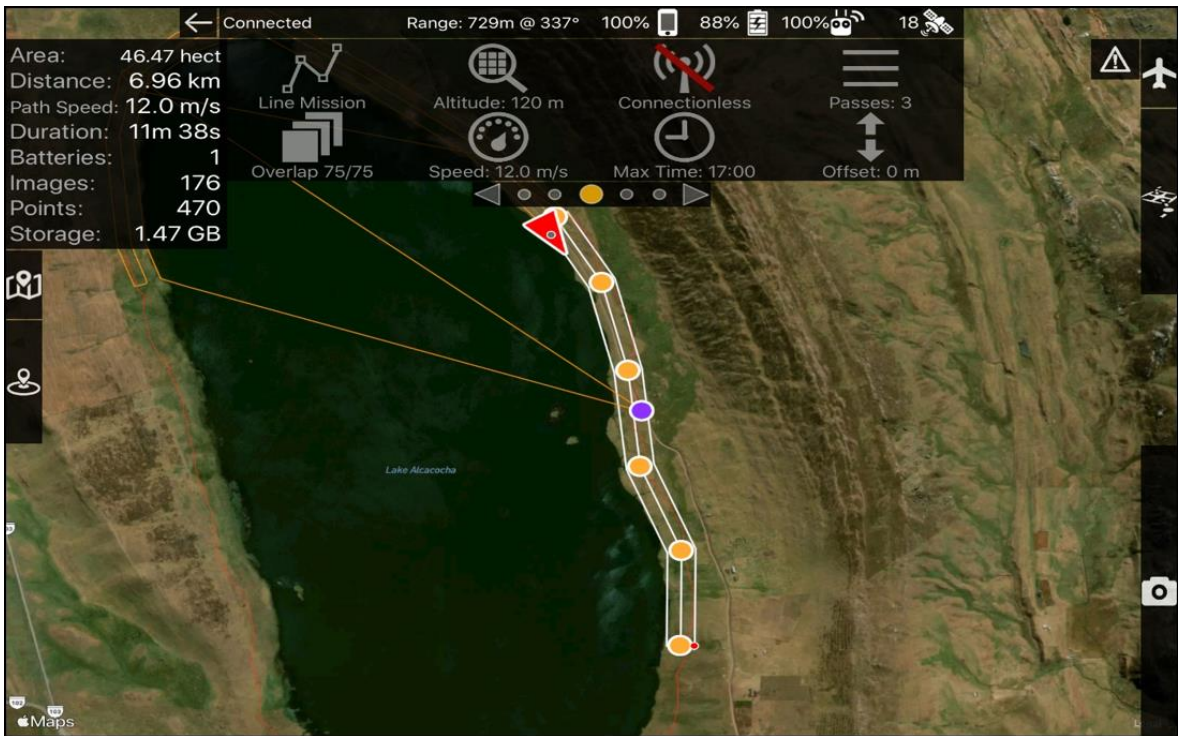
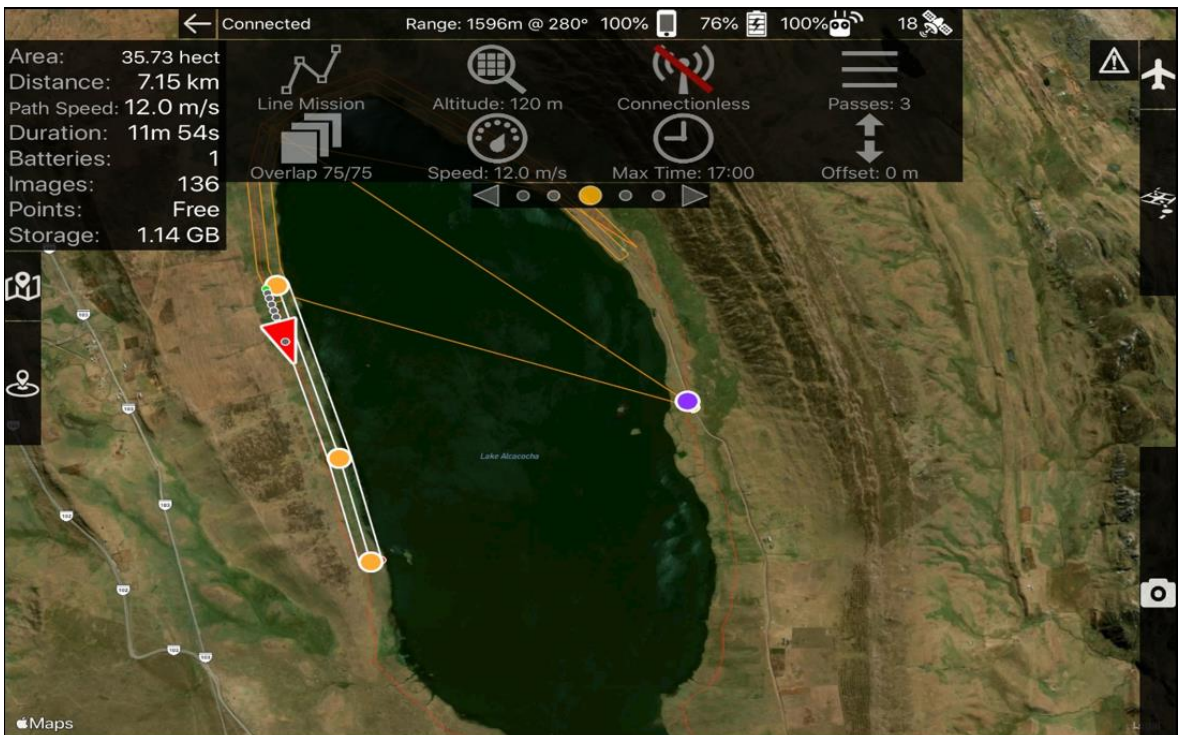


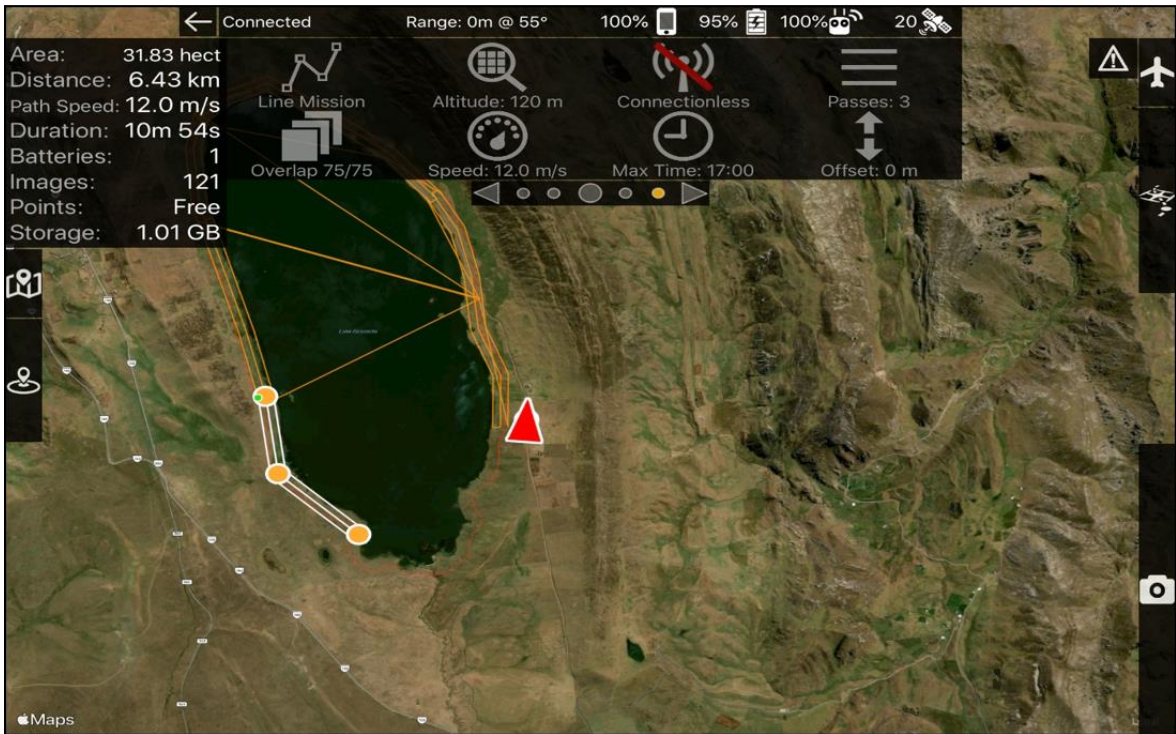
Figura 100: Plan de vuelo 2 ejecutado en la laguna Alcacocha



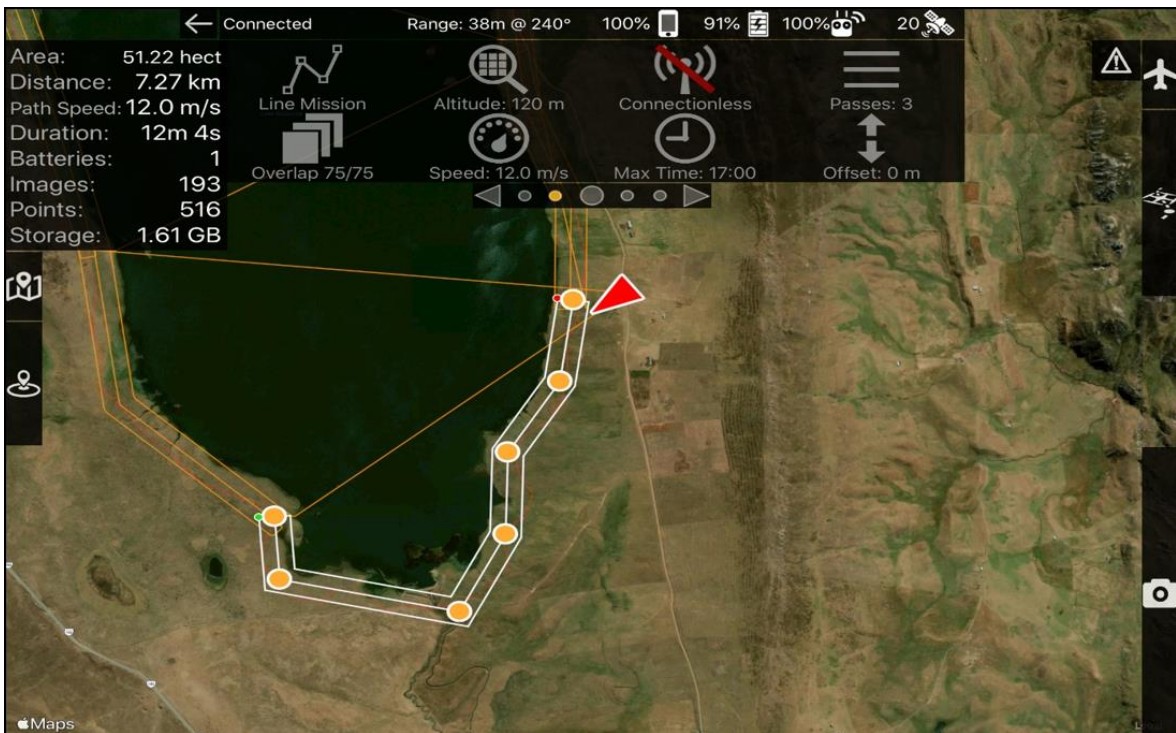
**Figura 101: Plan de vuelo 3 ejecutado en la laguna Alcacocha**



**Figura 102: Plan de vuelo 4 ejecutado en la laguna Alcacocha**



**Figura 103: Plan de vuelo 5 ejecutado en la laguna Alcacocha**



**Figura 104: Plan de vuelo 6 ejecutado en la laguna Alcacocha**

En la Figura 105 se muestra el resultado del post-procesamiento de la fotogrametría generado por el software Pix4D para la laguna Alcacocha. En los anexos se puede observar desde la figura 157 hasta la figura 165 las capturas de pantalla completas del reporte generado para la laguna Alcacocha.

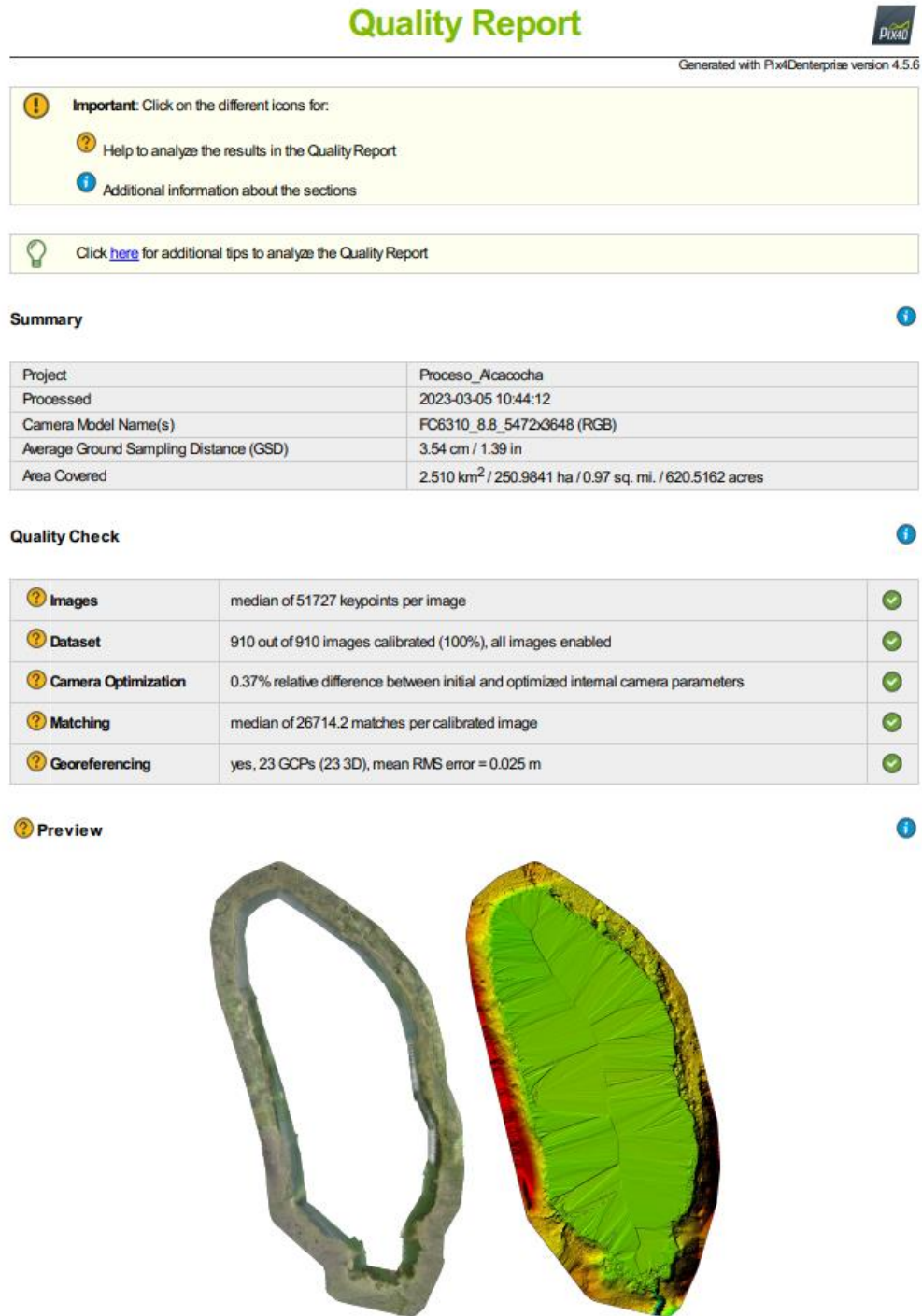


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

**Figura 105: Reporte del procesamiento fotogramétrico del software Pix4D en la laguna Alcacocha**

La Figura 106 muestra un mapa de traslapes entre las fotografías tomadas en la laguna Huahuacochoa, se observa que se cumple con el traslaje planificado.



**Figura 106: Mapa de traslaje de fotografías en la laguna Alcacocha**

**Tabla 21: Errores generados por el modelo en la laguna Alcacocha**

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]
Mean [m]		-0.001143	0.002626	0.005700
Sigma [m]		0.015701	0.016953	0.042537
RMS Error [m]		0.015742	0.017156	0.042917





**Figura 107: Curvas de nivel generadas del postproceso fotogramétrico de la laguna Alcacocho**

*Nota.* Curvas de nivel generada en el software Civil 3D en base a los puntos exportados del software Pix4D de la laguna Alcacocho

### 4.1.3. Levantamiento batimétrico

Los resultados del levantamiento batimétrico se aprecian en las siguientes capturas de pantalla del software RiverSurveyor Live.

Posteriormente al filtrado y al emparejamiento entre la información recolectada por el sensor ADCP M9 y el GPD Diferencial (rover) se procedió a plotear la información de las curvas de nivel en Civil3D.

#### 1. Laguna Huicra

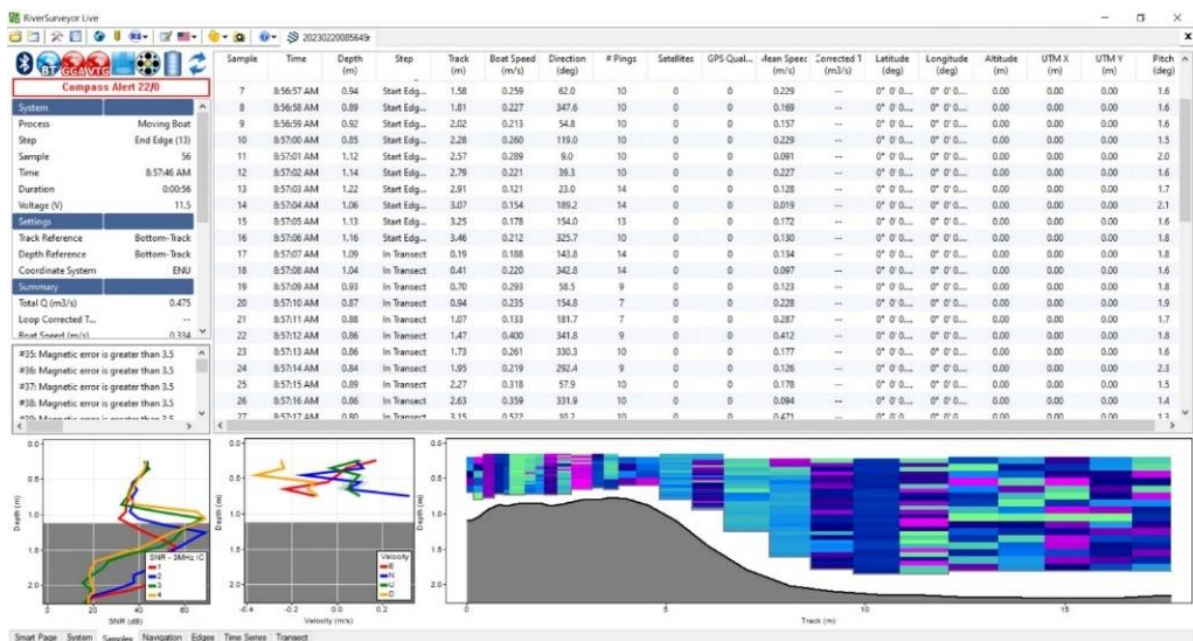
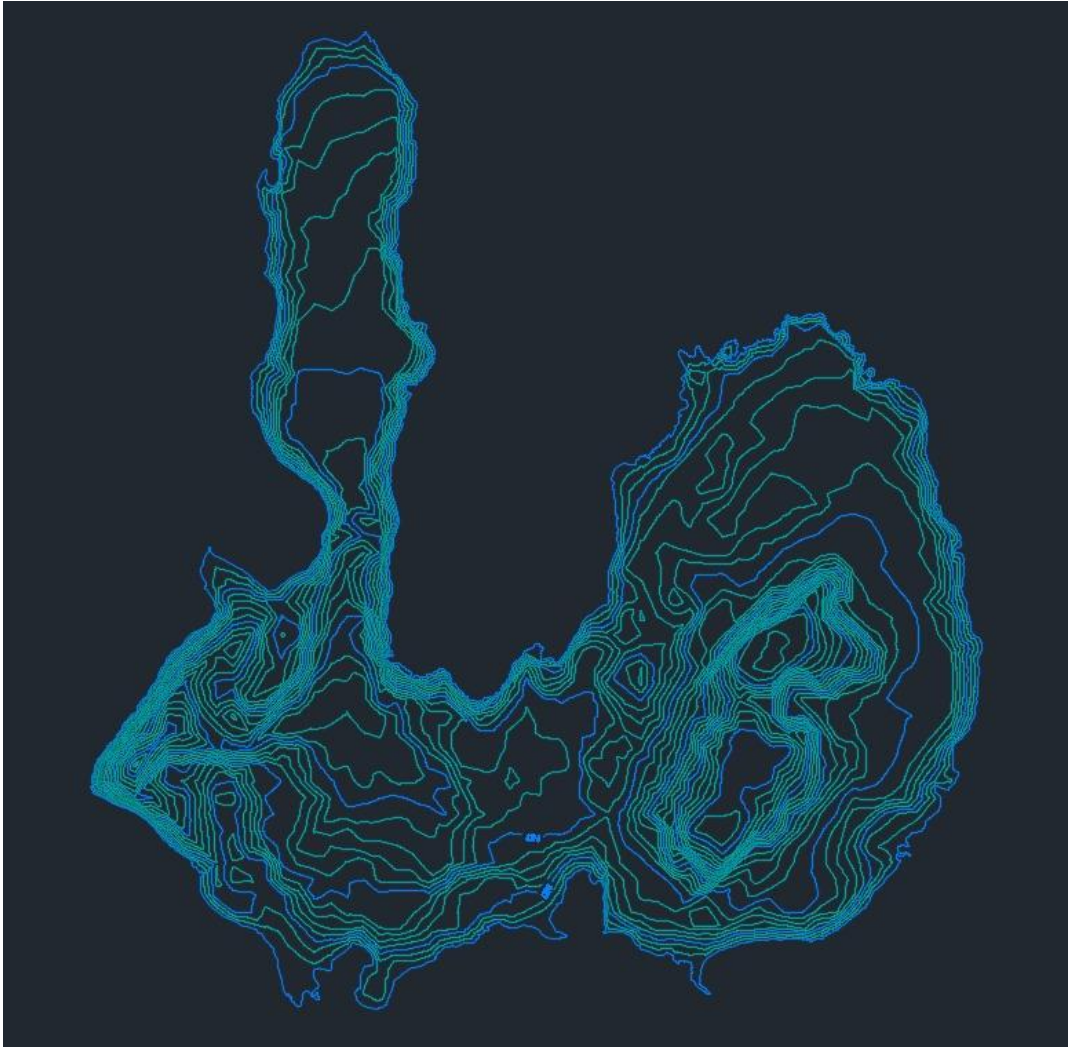
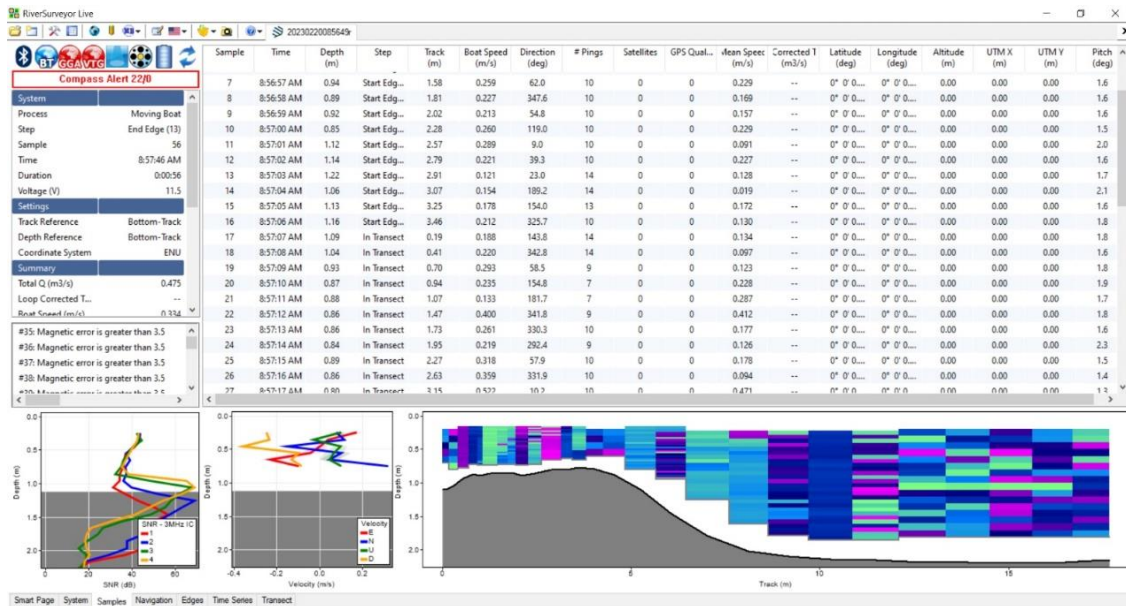


Figura 108: Captura de pantalla del RiverSurveyor Live de la laguna Huicra

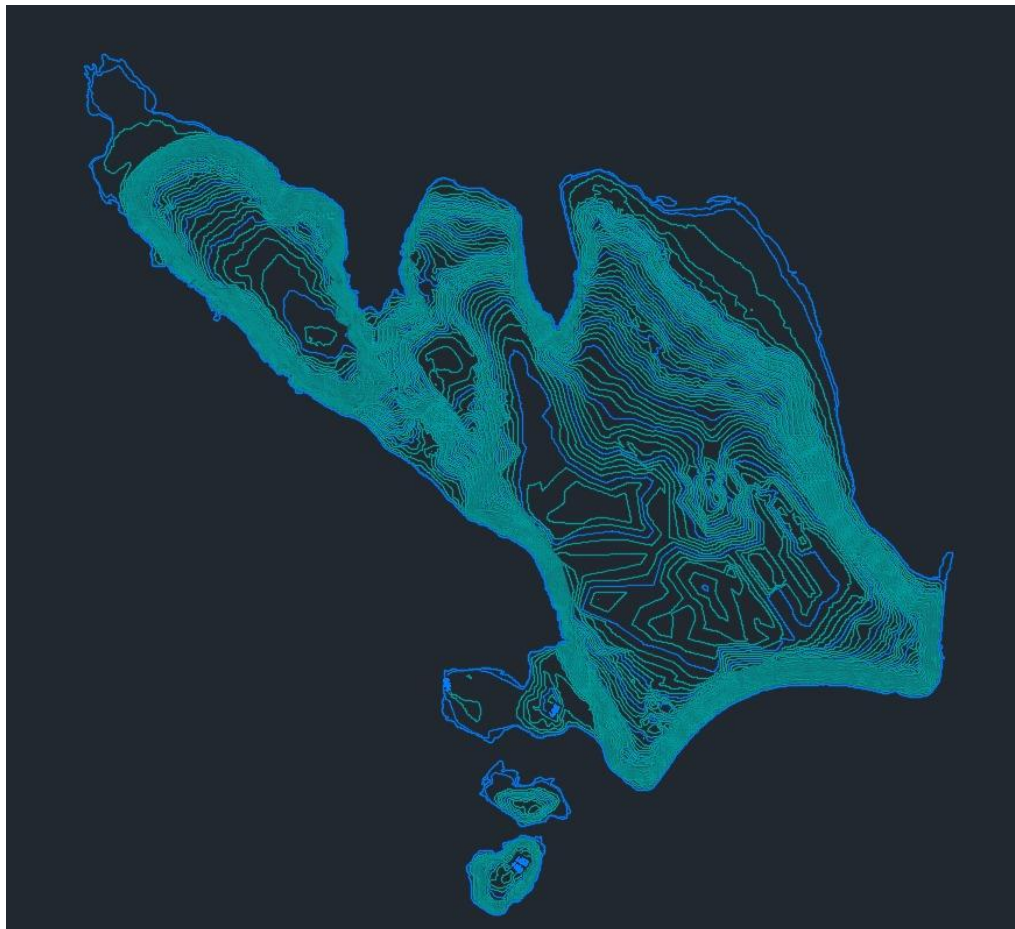


**Figura 109: Curvas de nivel generadas de la batimetría en la laguna Huicra**

## 2. Laguna Acococha

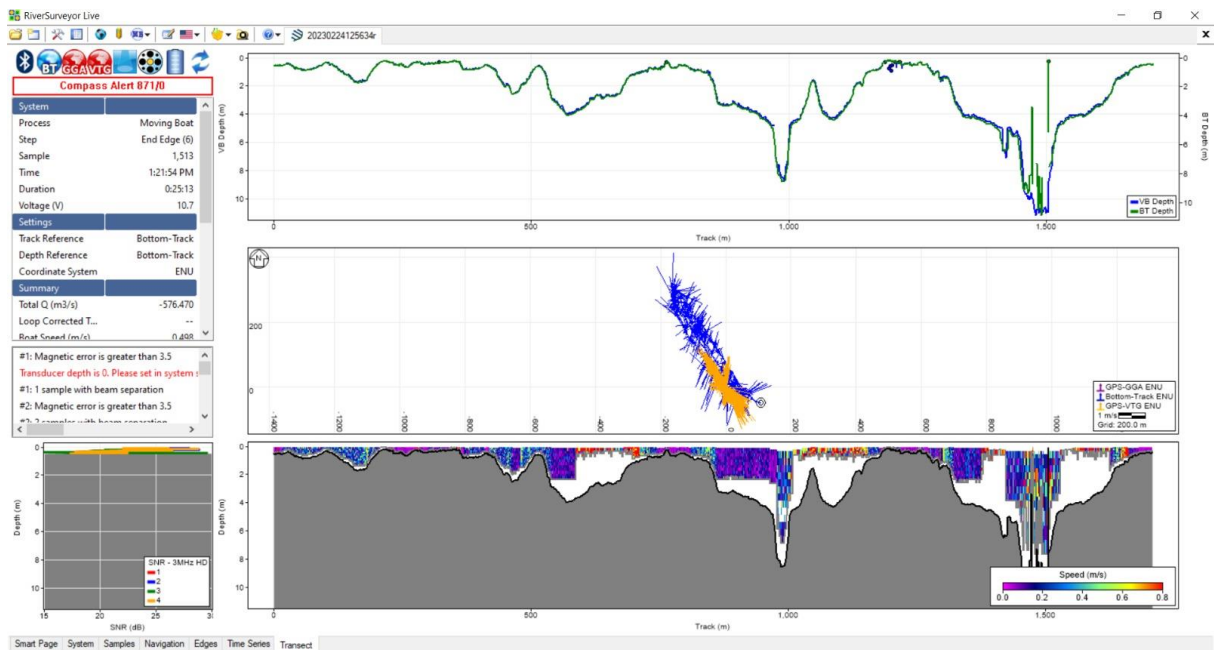


**Figura 110: Captura de pantalla del RiverSurveyor Live de la laguna Acococha**

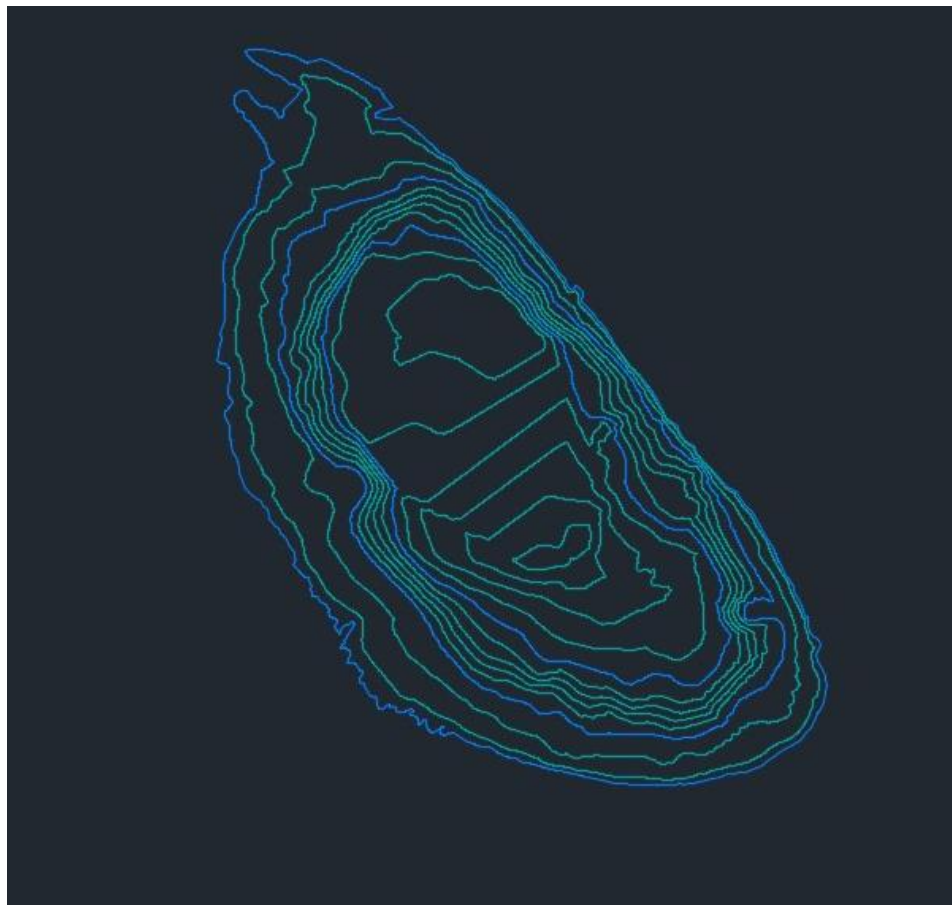


**Figura 111: Curvas de nivel generadas de la batimetría en la laguna Acococha**

### 3. Laguna Huahuacocha

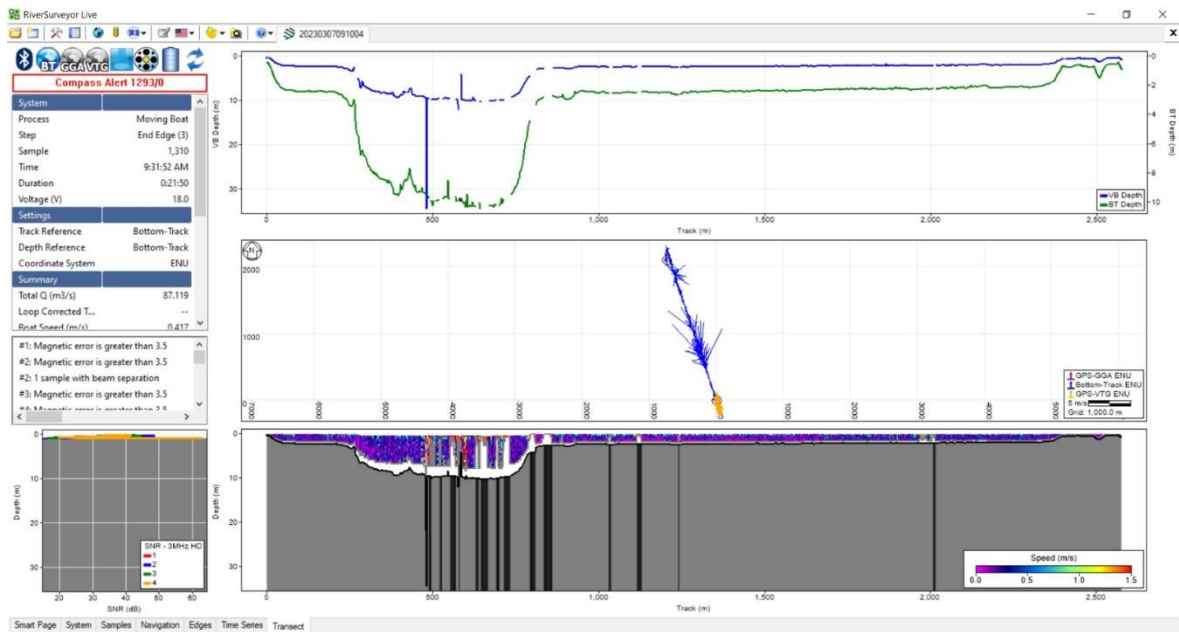


**Figura 112: Captura de pantalla del RiverSurveyor Live de la laguna Huahuacocha**



**Figura 113: Curvas de nivel generadas de la batimetría en la laguna Huahuacocha**

#### 4. Laguna Alcacocha



**Figura 114: Captura de pantalla del RiverSurveyor Live de la laguna Alcacocha**

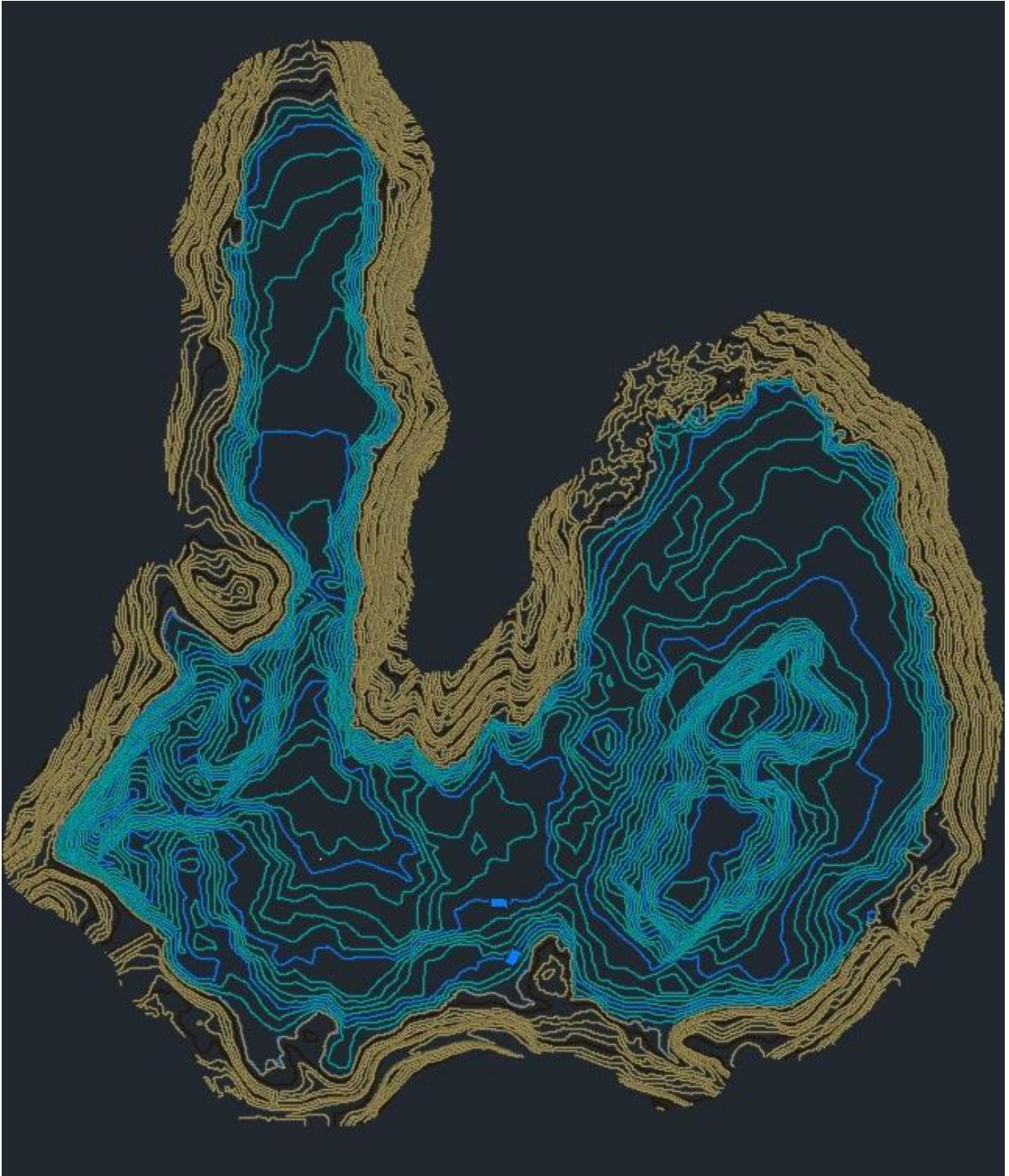


**Figura 115: Curvas de nivel generadas de la batimetría en la laguna Alcacocha**

#### 4.1.4. Integración entre información Batimétrica y Fotogramétrica

Generadas las dos superficies producto de la batimetría y la fotogrametría se procedió a juntarlas en el software Civil 3D.

##### 1. Laguna Huicra



**Figura 116: Topografía generada de la fotogrametría y batimetría de la laguna Huicra**

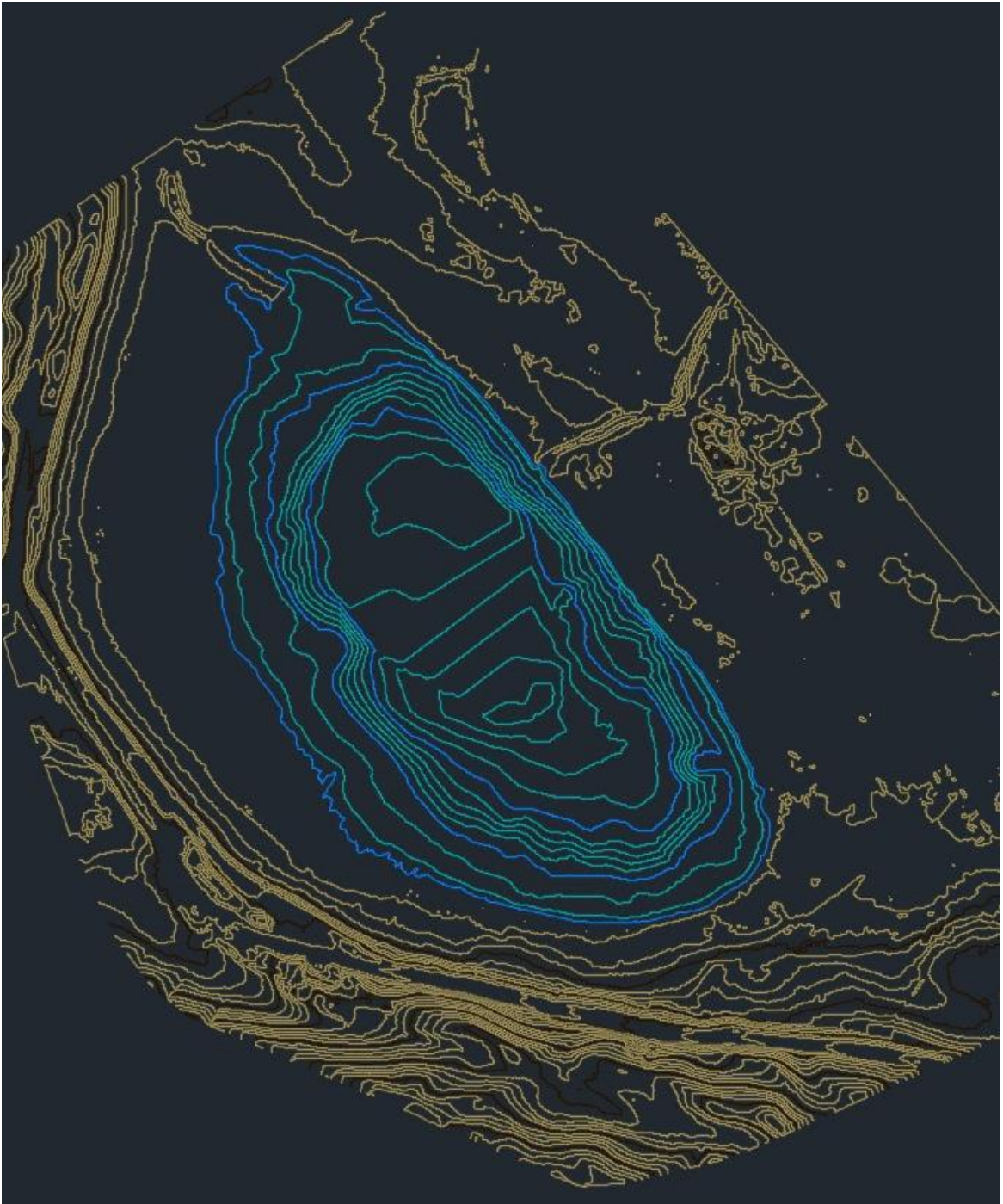
## 2. Laguna Acococha



**Figura 117: Topografía generada de la fotogrametría y batimetría de la laguna Acococha**



### 3. Laguna Huahuacocho



**Figura 118: Topografía generada de la fotogrametría y batimetría de la laguna Huahuacocho**

#### 4. Laguna Alcacocha



**Figura 119: Topografía generada de la fotogrametría y batimetría de la laguna Alcacocha**

### 4.1.5. Planos de Levantamiento Batimétrico

Planos resultantes de la integración, los planos a escala real los podemos encontrar en los anexos.

#### 1. Laguna Huicra

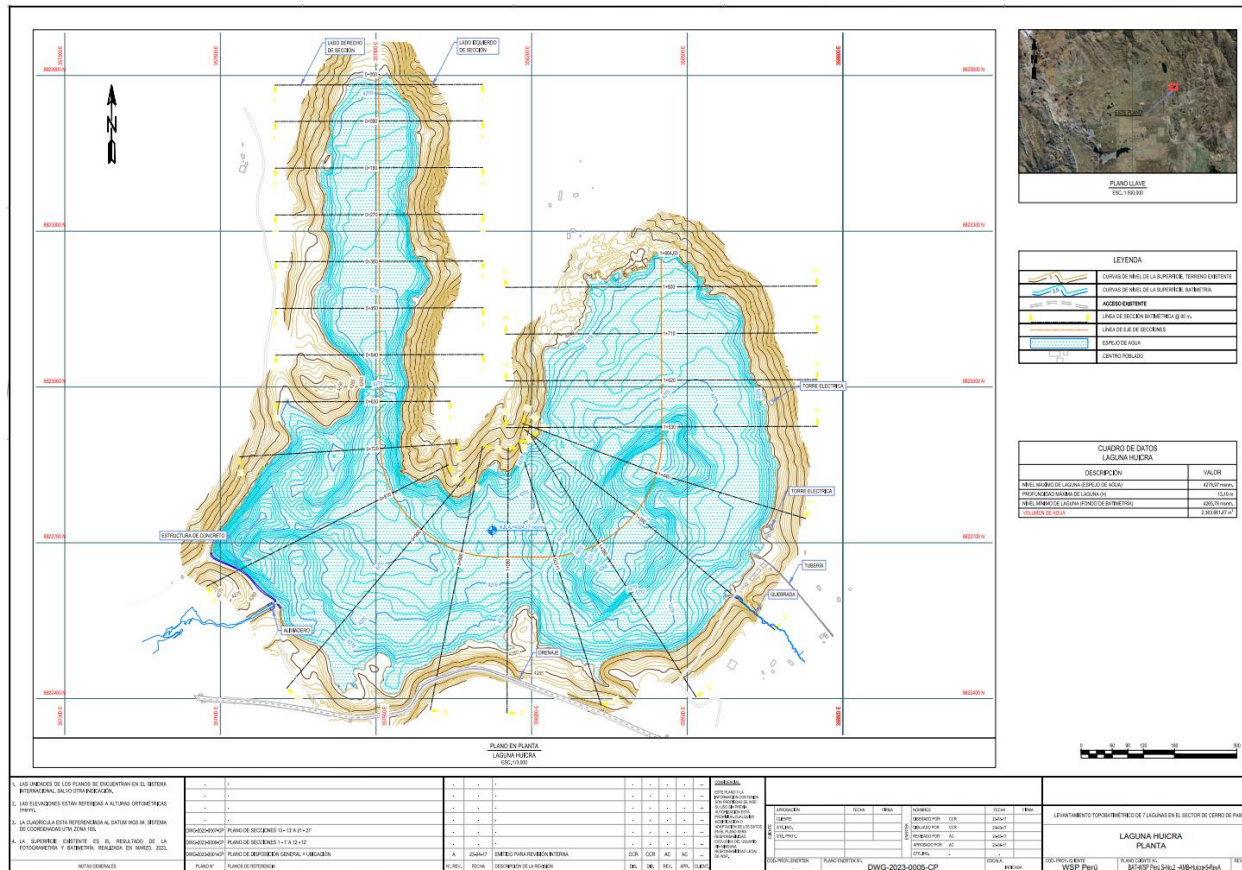
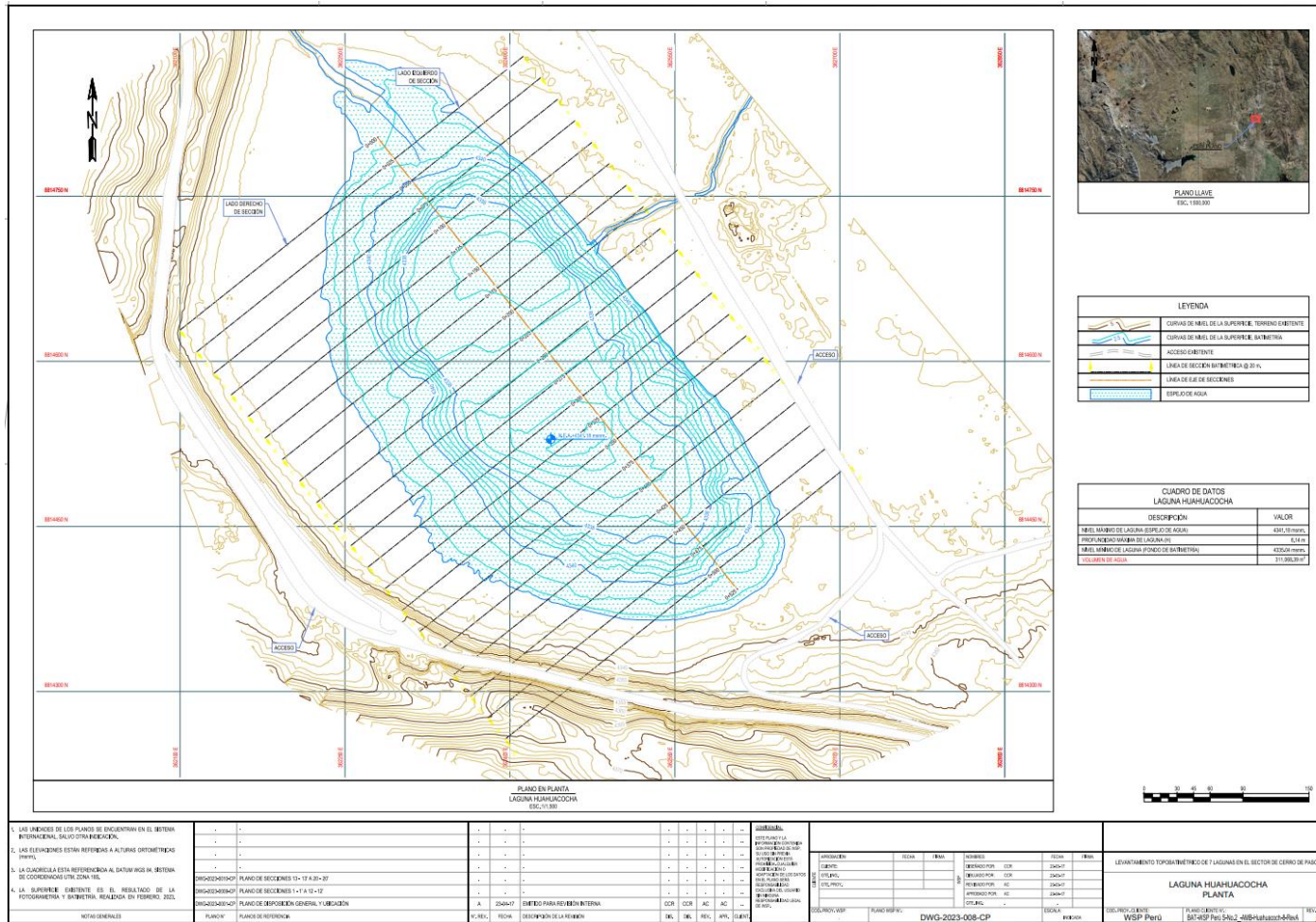


Figura 120: Plano topográfico final de la laguna Huicra



### 3. Laguna Huahuacocha



**Figura 122: Plano topográfico final de la laguna Huahuacocha**

#### 4. Laguna Alcacocho

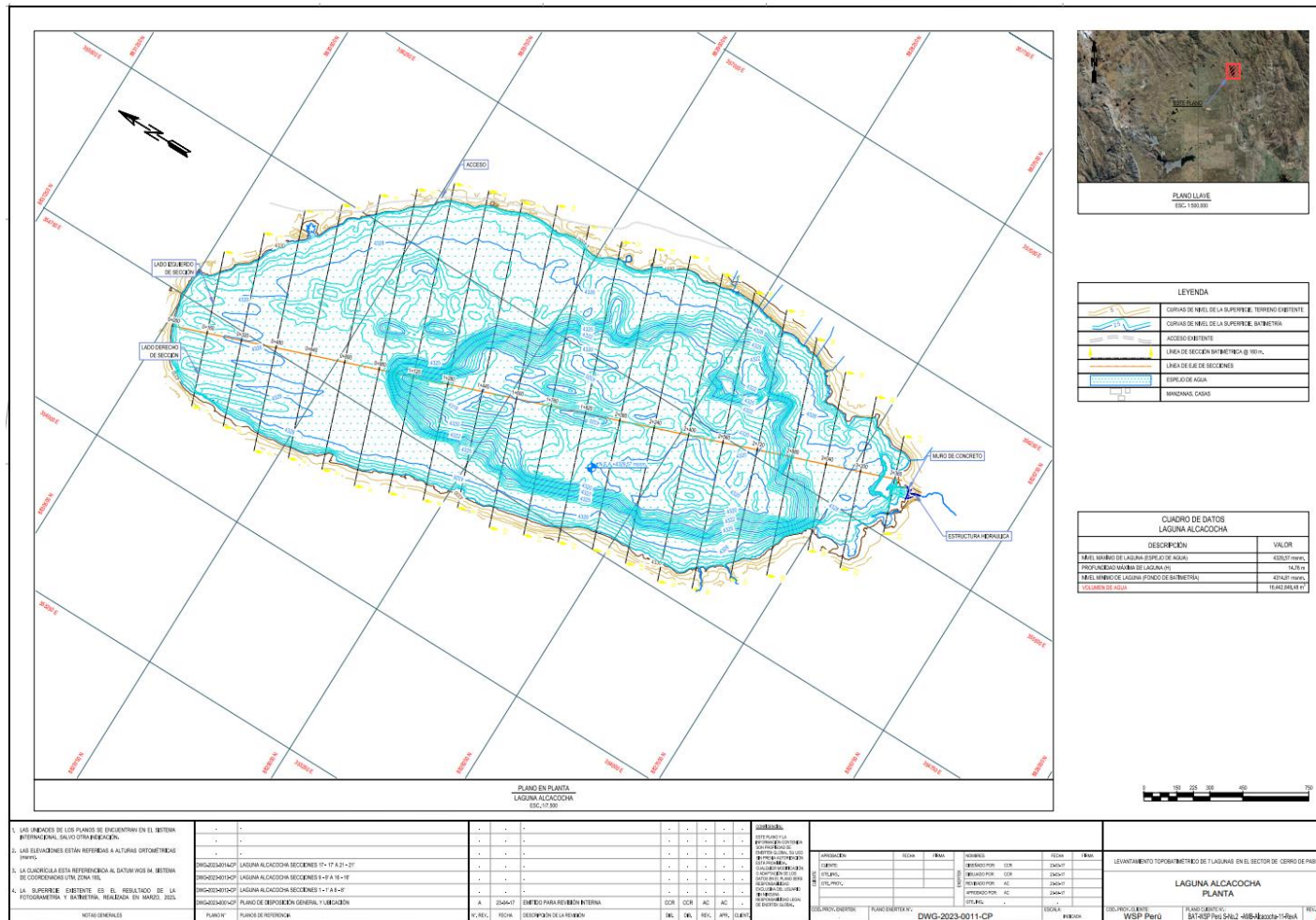


Figura 123: Plano topográfico final de la laguna Alcacocho

#### 4.1.6. Volumen útil y curva de capacidad

Como se observa en la Tabla 22 y 23, se realizó el cálculo de volumen de agua y la curva de capacidad. Para ello se utilizó el software Civil 3D y la herramienta “Cálculo de volumen”.

**Tabla 22: Volumen calculado de las lagunas**

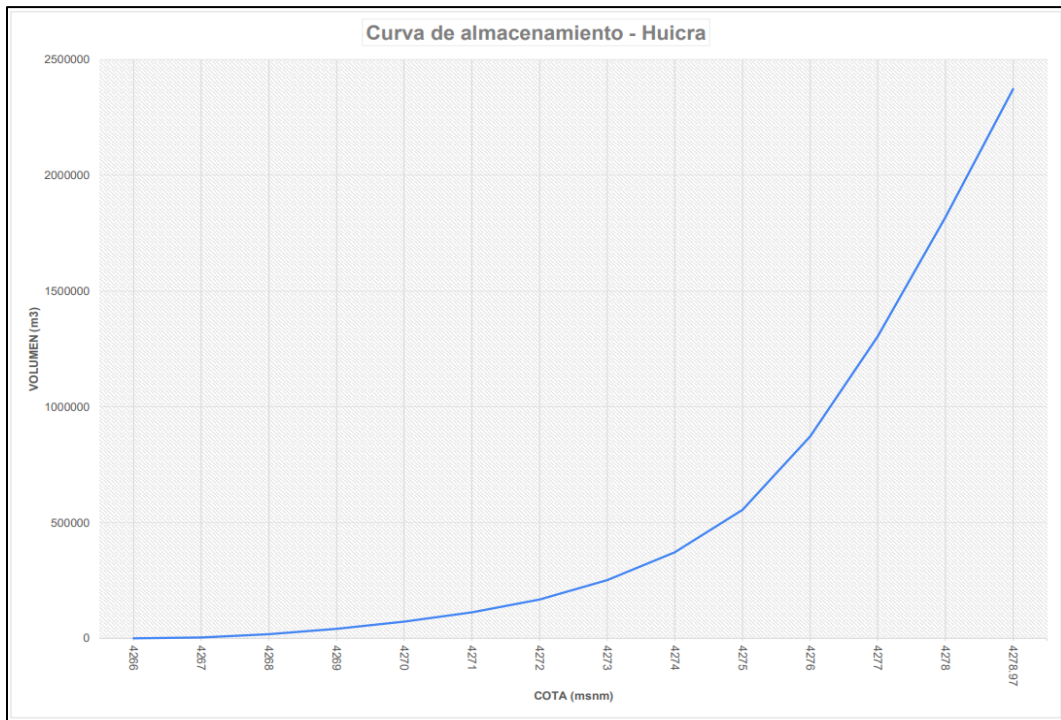
Laguna	Volumen (m3)
Laguna Huicra	2,363,661.67
Laguna Acococha	228,238,526.54
Laguna Huahuacocha	311,068.39
Laguna Alcacocha	16,442,849.48

El cálculo de la curva de capacidad se realizó en Excel.

##### 1. Laguna Huicra

**Tabla 23: Tabla de cota y volumen de la laguna Huicra**

Cota	Volumen (m3)
4266	39.42
4267	3175.89
4268	17188.73
4269	40440.62
4270	71822.49
4271	111972.8
4272	167363.62
4273	251796.71
4274	371932.87
4275	555137.27
4276	871847.73
4277	1303968.86
4278	1818601.21
4278.97	2372138.78



**Figura 124: Curva de capacidad de la laguna Huicra**

## 2. Laguna Acocochoa

**Tabla 24: Tabla de cota y volumen de la laguna Acocochoa**

Cota	Volumen (m3)
4414	833.21
4415	37,625.92
4416	126,732.68
4417	268,052.57
4418	459,336.71
4419	689,030.84
4420	948,881.58
4421	1,235,619.53
4422	1,545,520.17
4423	1,878,784.95
4424	2,236,068.96
4425	2,614,540.38
4426	3,017,394.71
4427	3,478,838.77
4428	4,036,814.16
4429	4,785,954.62
4430	5,779,603.60
4431	7,063,111.08
4432	8,583,524.32
4433	10,295,715.28
4434	12,140,486.55
4435	14,097,904.49
4436	16,154,075.91
4437	18,306,647.81
4438	20,551,572.57
4439	22,886,545.25



«Continuación»

4440	25,315,298.88
4441	27,831,729.35
4442	30,437,130.34
4443	33,123,974.86
4444	35,893,099.18
4445	38,742,547.45
4446	41,665,578.15
4447	44,658,148.57
4448	47,743,790.20
4449	50,906,155.30
4450	54,129,312.83
4451	57,408,797.67
4452	60,746,395.91
4453	64,137,920.75
4454	67,580,647.08
4455	71,076,084.12
4456	74,626,386.96
4457	78,231,226.82
4458	81,892,603.69
4459	85,612,799.76
4460	89,390,886.41
4461	93,229,648.20
4462	97,125,777.75
4463	101,078,717.02
4464	105,086,791.75
4465	109,148,934.71
4466	113,266,346.59
4467	117,438,514.22
4468	121,663,755.42
4469	125,939,366.70
4470	130,261,953.02
4471	134,628,780.95
4472	139,038,282.55
4473	143,489,331.27
4474	147,981,069.78
4475	152,512,759.77
4476	157,083,108.03
4477	161,690,861.78
4478	166,335,862.18
4479	171,018,718.94
4480	175,739,941.60
4481	180,500,500.85
4482	185,304,773.86
4483	190,155,964.81
4484	195,056,551.64
4485	200,014,929.71
4486	205,043,866.34
4487	210,168,455.01
4488	215,433,820.90
4489	220,909,368.98
4490	226,761,741.94
4490.24	228,238,526.54

---

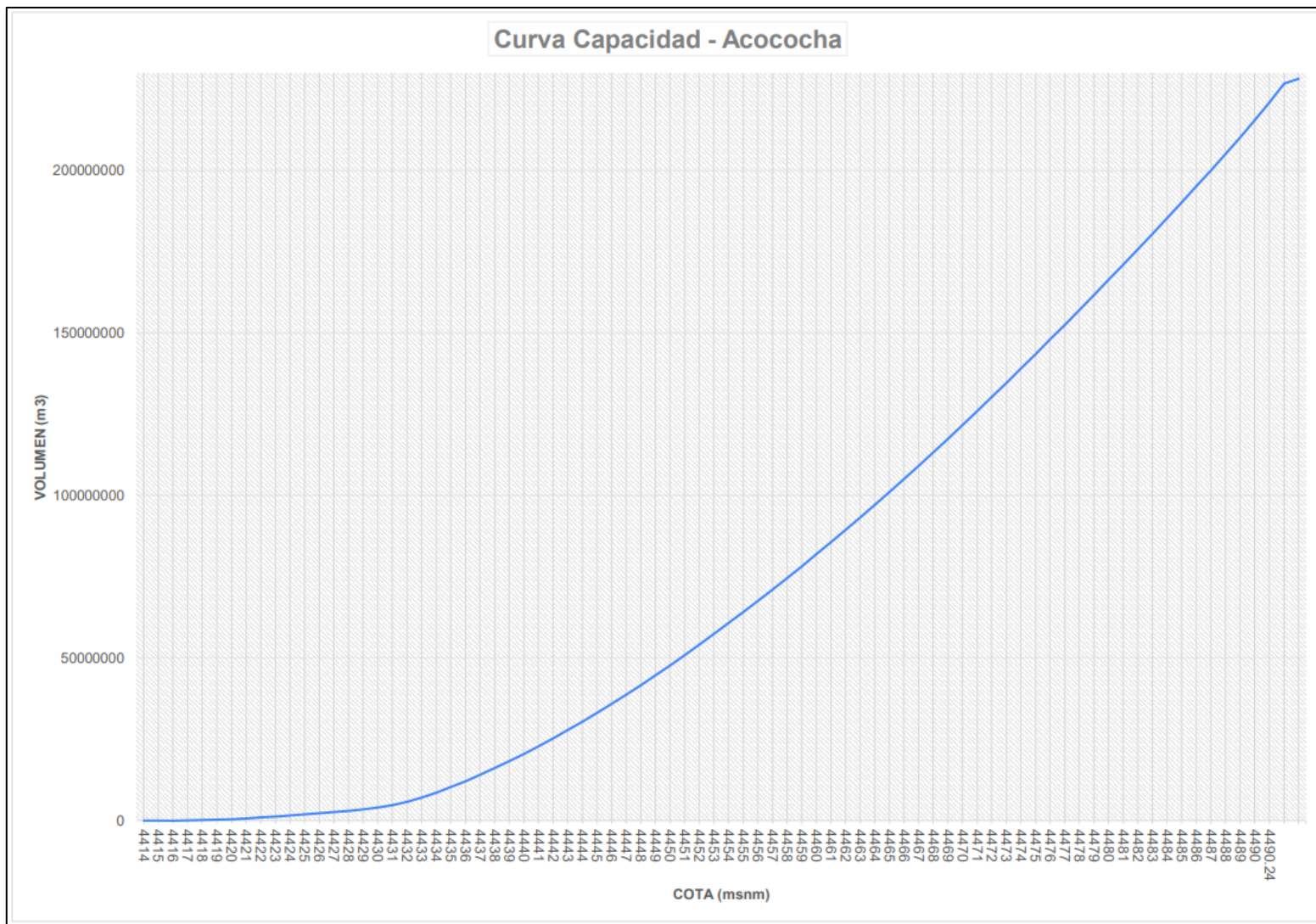
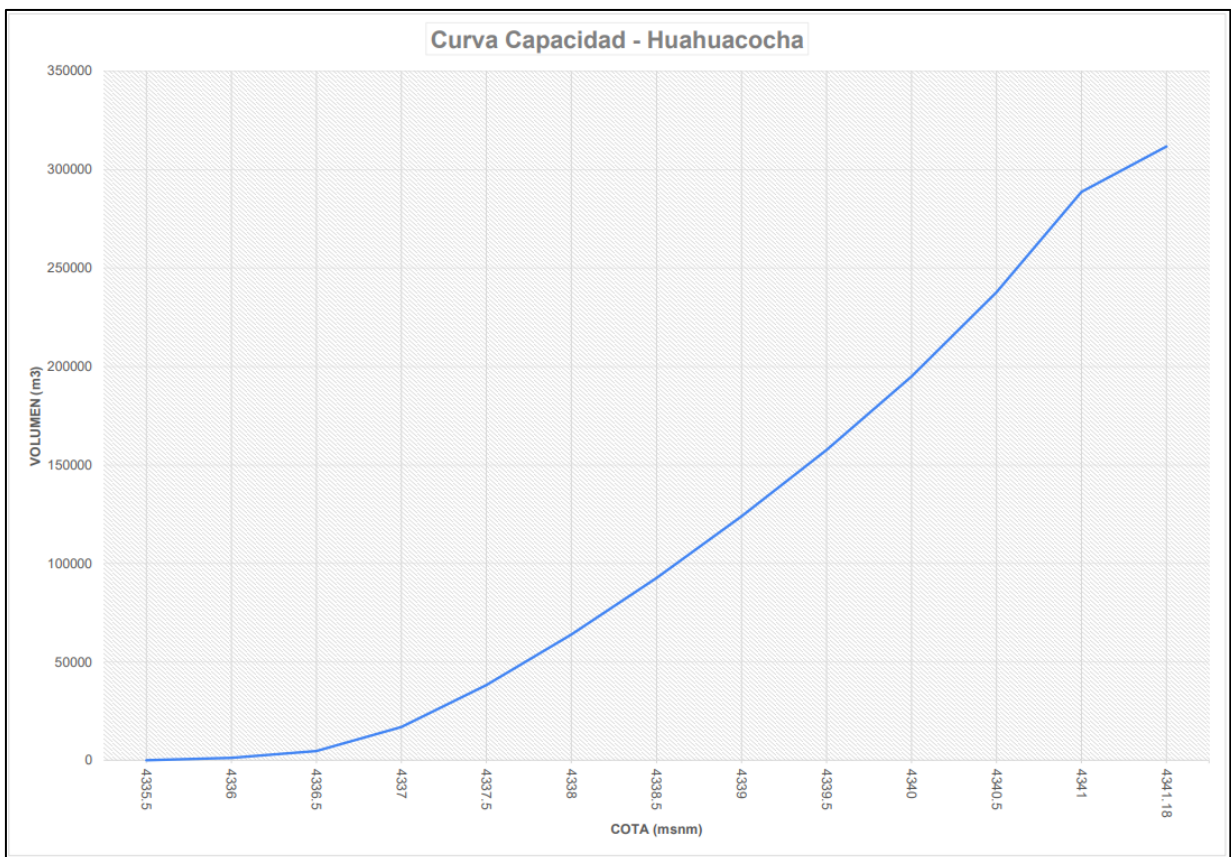


Figura 125: Curva de capacidad de la laguna Acococha

### 3. Laguna Huahuacocho

**Tabla 25: Tabla de cota y volumen de la laguna Huahuacocho**

Cota	Volumen (m <sup>3</sup> )
4335.5	0.00
4336	1,183.24
4336.5	4,629.87
4337	16,787.89
4337.5	38,185.13
4338	63,836.60
4338.5	92,561.93
4339	123,856.24
4339.5	157,658.70
4340	194,917.57
4340.5	237,661.50
4341	288,654.79
4341.18	311,788.25

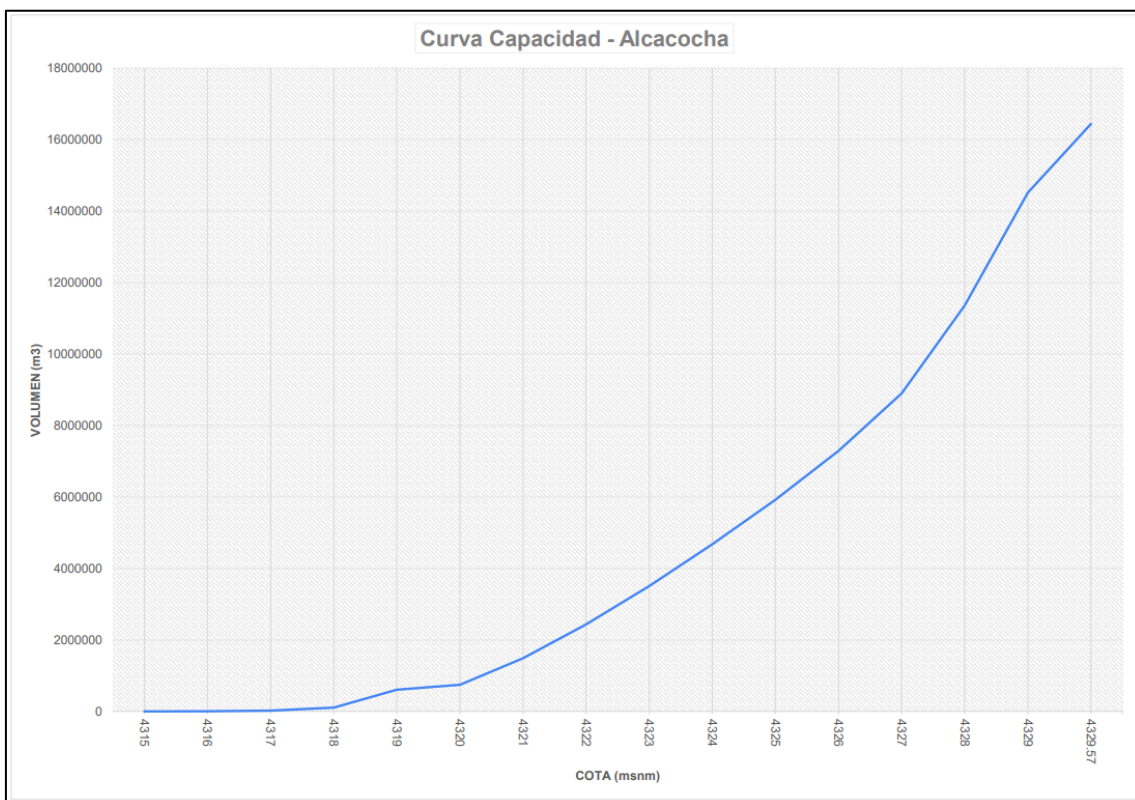


**Figura 126: Curva de capacidad de la laguna Huahuacocho**

#### 4. Laguna Alcacocha

**Tabla 26: Tabla de cota vs volumen de la laguna Alcacocha**

Cota	Volumen (m3)
4315	4.50
4316	2,097.31
4317	18,761.58
4318	108,150.14
4319	604,046.85
4320	742,063.57
4321	1,485,779.66
4322	2,437,160.76
4323	3,507,442.89
4324	4,674,271.35
4325	5,921,867.32
4326	7,289,119.37
4327	8,893,673.72
4328	11,356,654.64
4329	14,511,993.22
4329.57	16,436,525.78



**Figura 127: Curva de capacidad de la laguna Alcacocha**

## V. CONCLUSIONES

- El uso de equipos RPA en topografía ofrece ventajas muy significativas tanto en seguridad y salud laboral como en términos económicos, ya que aumenta la eficiencia en la planificación y desarrollo de un cronograma de trabajos en campo, permitiendo la captura rápida de datos e información de grandes áreas.
- Los volúmenes determinados con el postproceso de la información recolectada en campo fueron para la laguna Huicra 2,363,661.67 m<sup>3</sup> de agua, para la laguna Acococha 228,238,526.54 m<sup>3</sup> de agua, para la laguna Huahuacocha 311,068.39 m<sup>3</sup> y para la laguna Alcacocha 16,442,849.48 m<sup>3</sup> de agua.
- La incorporación de drones, como el Phantom 4, ha agilizado nuestras operaciones topográficas, facilitando la cobertura de áreas extensas requeridas por el usuario, incluso en ubicaciones remotas y de difícil acceso, como en el caso de la laguna Acococha.
- Optamos por el posicionamiento satelital en modo PPK en lugar del RTK, que es más común, para el levantamiento geodésico en campo debido a su mayor precisión por tratarse de las distancias considerables entre el punto base en la orilla y las zonas más alejadas de las lagunas. El modo RTK, que permite realizar correcciones en tiempo real, presentaba problemas frecuentes de desconexión, lo que resultaría en pérdida de datos y requeriría la repetición de tareas en áreas complicadas.
- Aunque el trabajo de posicionamiento satelital en modo PPK implica una etapa adicional de procesamiento en el gabinete, estas ventajas compensan las dificultades en campo, como el cambio de estaciones base o la necesidad de mantener una línea de visión directa entre los receptores, que implicarían una inversión de recursos considerable.
- En el procesamiento de datos fotogramétricos (postproceso fotogramétrico), los trabajos de clasificación de puntos fueron mínima debido a que no hubo presencia de vegetación densa o estructuras humanas en el área requerida por el cliente, que es de 40 metros alrededor de las lagunas. Aunque no se realizó una clasificación extensiva,

es importante destacar que esto permitió obtener información más concisa sin sacrificar calidad ni detalle topográfico.

- La Topografía Aérea o Fotogramétrica permite la obtención una gran cantidad de información y con mucho nivel de detalle de las áreas de interés, lo que la hace altamente eficiente en comparación con métodos topográficos convencionales. En áreas sin obstáculos, resulta ser la mejor opción para proyectos topográficos debido a su eficiencia en la ejecución diaria.
- Un proyecto de batimetría puede beneficiarse enormemente de un levantamiento fotogramétrico del entorno acuático circundante. Ambos métodos pueden ejecutarse de manera paralela y complementarse para obtener datos precisos tanto del fondo del cuerpo de agua como de su superficie circundante.
- Los levantamientos batimétricos de lagunas se ejecutaron mediante el uso de un equipo Ecosonda ADCP M9, que, aunque se usa típicamente para aforos en canales y ríos, demostró ser una excelente opción para obtener datos batimétricos de alta calidad.
- Los proyectos de ingeniería que requieren de topografía y batimetría de lagunas o cuerpos de agua en general, la implementación y aplicación de las técnicas batimétricas y fotogramétricas con RPA son hoy muy asequibles y eficientes en costos y tiempos de ejecución. Además, la capacitación para operar equipos en campo y utilizar software en el gabinete es accesible para profesionales con formación en ingeniería agrícola que poseen conocimientos en topografía, fotogrametría e hidrología.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Basándonos en la experiencia adquirida en el desarrollo del proyecto, se sugiere incorporar metodologías fotogramétricas como un complemento a los trabajos batimétricos debido a la conveniencia de llevar a cabo y aplicar ambas tecnologías topográficas en paralelo. En el caso de las metodologías empleadas para el levantamiento fotogramétrico, es esencial que se sigan directrices de seguridad en relación con la exposición de los equipos. Esto incluye la consideración de horarios de vuelo, la planificación de vuelos con distancias adecuadas y una segmentación del área a sobrevolar para garantizar que el piloto mantenga una visión constante de la aeronave.
- Se recomienda optar por levantamientos geodésicos en modo PPK en proyectos de gran envergadura debido a su practicidad durante la fase de campo. Sin embargo, en proyectos de menor tamaño, el uso de levantamientos geodésicos en modo RTK puede ser una alternativa más factible.
- A pesar de que el ecosonda ADCP M9 se emplea típicamente como perfilador acústico en afloramientos en ríos y canales, también se puede utilizar como un transductor de gran precisión para llevar a cabo levantamientos batimétricos. Se recomienda su uso en proyectos donde no se requiere una representación detallada del lecho del cuerpo de agua.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acoustic Doppler Current Profiler (ADCPs) at Teledyne Marine. (2001). WinRiver User's Guide International Version. <https://n9.cl/u39tq>
- Ballesteros, M.L., y García, S.D. (2010). Estudio batimétrico con ecosonda multihaz y clasificación de fondos. Universitat Politècnica de Catalunya. 93 p.
- Bermúdez, C.A. (2020). RPA - Automatización robótica de procesos: una revisión de la literatura. *Rev. Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 8(15): 111-122. DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2021.v8.n15.a97>
- Bocco, G. (2007). La cartografía y los sistemas de información geográfica en el manejo integrado de cuencas. En H. Cotler (Ed.), *El manejo integral de cuencas en México* (pp. 59–64). Instituto de Ecología-Secretaría del Medio Ambiente (Eds.). <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2008/06/El-Manejo-Integral-de-Cuencas-en-Mexico-segunda-edici%C3%B3n.pdf>
- Herreros, J.L. (2015). Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Recuperado de <https://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015384.pdf>
- Filosa, N. (2016). Optimisation de l'acquisition et de la restitution des données structurées de réseaux enterrés - Application aux récolements de réseaux.
- Hashiba, M., Kai, T., Yorozuya, A. & Motonaga, Y. (2000) Field observation of the river flood flow and suspended sediment distribution using ADCP Ishikari \_ River Hokkaido Gauging point 125–128.
- Instituto Geográfico Nacional. (2023). Formulario de información de la estación de monitoreo permanente. Recuperado de <https://www.idep.gob.pe/>
- Instituto Geográfico Nacional. (2011). Especificaciones Técnicas para la producción de cartografía básica escala 1:1 000. Dirección de Normalización. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/670432/ESPECIFICACIONES-TECNICAS-PARA-LA-PRODUCCION-1-1.000.pdf?v=1588286577>



- Jaramillo, R. (2023). Memorias del Primer Congreso Internacional de Topografía y Geodesia 2023. Revista Conectividad, 4(2), 115-125. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v4i2.104>.
- Lara Vásconez, N. y Chamorro Sevilla, H. (2018). Uso de los sensores remotos en Mediciones Forestales. *European Scientific Journal* Vol.14: 66.
- León, M. J. (2003-2004). Del Escandallo a los Sondadores Multihaz. Escuela de Hidrografía.
- López, P.J. (2015). Caracterización cinemática de la elevación humeral en el plano escapular. Definición de patrones de normalidad y análisis del gesto patológico (Universitat Politècnica de València). Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/48880/Lopez%20-%20Caracterizaci%C3%B3n%20cinem%C3%A1tica%20de%20la%20elevaci%C3%B3n%20humeral%20en%20el%20plano%20escapular.%20Definici%C3%B3n%20de%20p....pdf?sequence=1>
- Macedo, M.J. (2009). Restituidores fotogramétricos en la facultad de ingeniería de la UNAM [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1098/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martín, Á., Raya, R., Sánchez, C., García-Carmona, R., Ramírez, Ó., & Otero, A. (2020). Definición de un protocolo para la medida precisa del rango cervical empleando tecnología inercial. XXXVIII Jornadas de Automática: Gijón, 6, 7, y 8 de septiembre de 2017.
- Mazariegos, M., y Ernesto, C. (2009). Modelos numéricos y teledetección en el lago de Izabal, Guatemala. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. <http://hdl.handle.net/10498/15739>.
- McMahon, K. (2014). Midnight Mapping. July 13, 2014. NOAA Teacher at Sea Blog. <https://noaateacheratsea.blog/2014/07/15/kevin-mcmahon-midnight-mapping-july-13-2014/>
- Nautic Expo. (s.f.). SIMRAD ES200-7C. PDF Catalogs. Documentation. Boating Brochures. Recuperado de <https://pdf.nauticexpo.com/pdf/simrad/es200-7c/21530-88763.html>
- Ocean Explorer. (2023). Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. Departamento de Comercio de EE.UU. Recuperado de <https://www.oceanexplorer.noaa.gov>.
- Plazaola, U. F. (2011). Técnicas de resolución de la ambigüedad de las medidas de fase en sistemas de navegación por satélite.

- <http://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/10630/4632/1/UFP.pdf>.
- Prizma drones. (2023). Dron Phantom 4 PRO. Prizma Drones Perú. Recuperado de <https://prizmadrones.pe/tienda/fotogrametria-topografia/phantom-4-series/phantom-4-pro-v2-0-2/>
- Rincón-Parada, I. K., y Arévalo-Vera, B. (2014). Vista de modelado de objetos arqueológicos: una propuesta usando fotogrametría digital. (s. f.). <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2043/1996>.
- Secretaría de Marina (SEMAR). (2013). Programa nacional de cartografía náutica 2013. 1st ed. México, D.f.: Secretaría de Marina.
- Secretaría de Marina (SEMAR). (1974). Compendio de Hidrografía. Primera parte.
- Wetzel, R.G. (2001). Limnología Ecosistemas de lagos y ríos. 3a Edición, Academic Press.
- Xylem. (2023). River Surveyor. Discharge, bathymetry and current profiling. Recuperado de <https://www.xylem.com/siteassets/brand/sontek/resources/specification/sontek-riversurveyor-spec-sheet.pdf>
- Yumpu. (2012). DATASHEET TRIMBLE R8 GNSS SYSTEM - Advanced Geodetic. [yumpu.com. https://www.yumpu.com/en/document/read/5140100/datasheet-trimble-r8-gnss-system-advanced-geodetic-](https://www.yumpu.com/en/document/read/5140100/datasheet-trimble-r8-gnss-system-advanced-geodetic-)

## **VIII. ANEXOS**

**Anexo 1: Reporte fotogramétrico del software Pix4D**

a. Reporte fotogramétrico de la laguna Huicra

## Quality Report

Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6

**!** Important: Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

**💡** Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

### Summary i

Project	Proceso_Huicra
Processed	2023-02-25 23:44:21
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.75 cm / 1.48 in
Area Covered	1.382 km <sup>2</sup> / 138.1788 ha / 0.53 sq. mi. / 341.6241 acres

### Quality Check i

<b>?</b> Images	median of 53957 keypoints per image	✔
<b>?</b> Dataset	646 out of 646 images calibrated (100%), all images enabled	✔
<b>?</b> Camera Optimization	0.89% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
<b>?</b> Matching	median of 29566.9 matches per calibrated image	✔
<b>?</b> Georeferencing	yes, 52 GCPs (52 3D), mean RMS error = 0.05 m	✔

### **?** Preview i

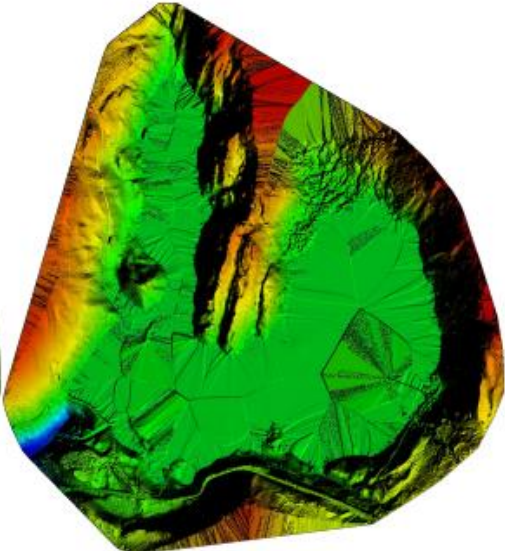



Figura 128: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 1

## Calibration Details

Number of Calibrated Images	646 out of 646
Number of Geolocated Images	646 out of 646

### Initial Image Positions

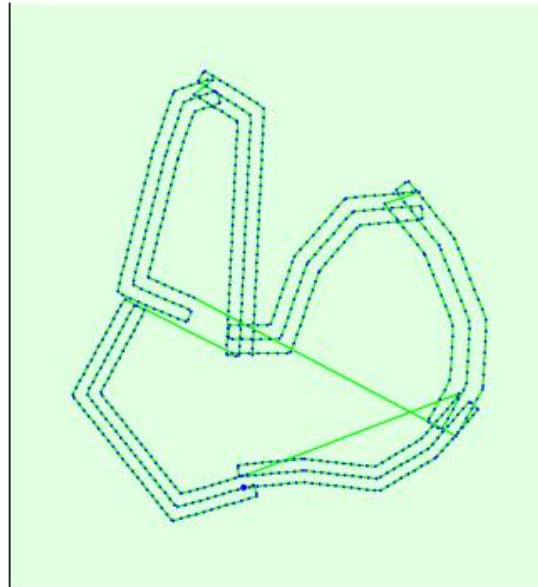


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

Figura 129: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 2

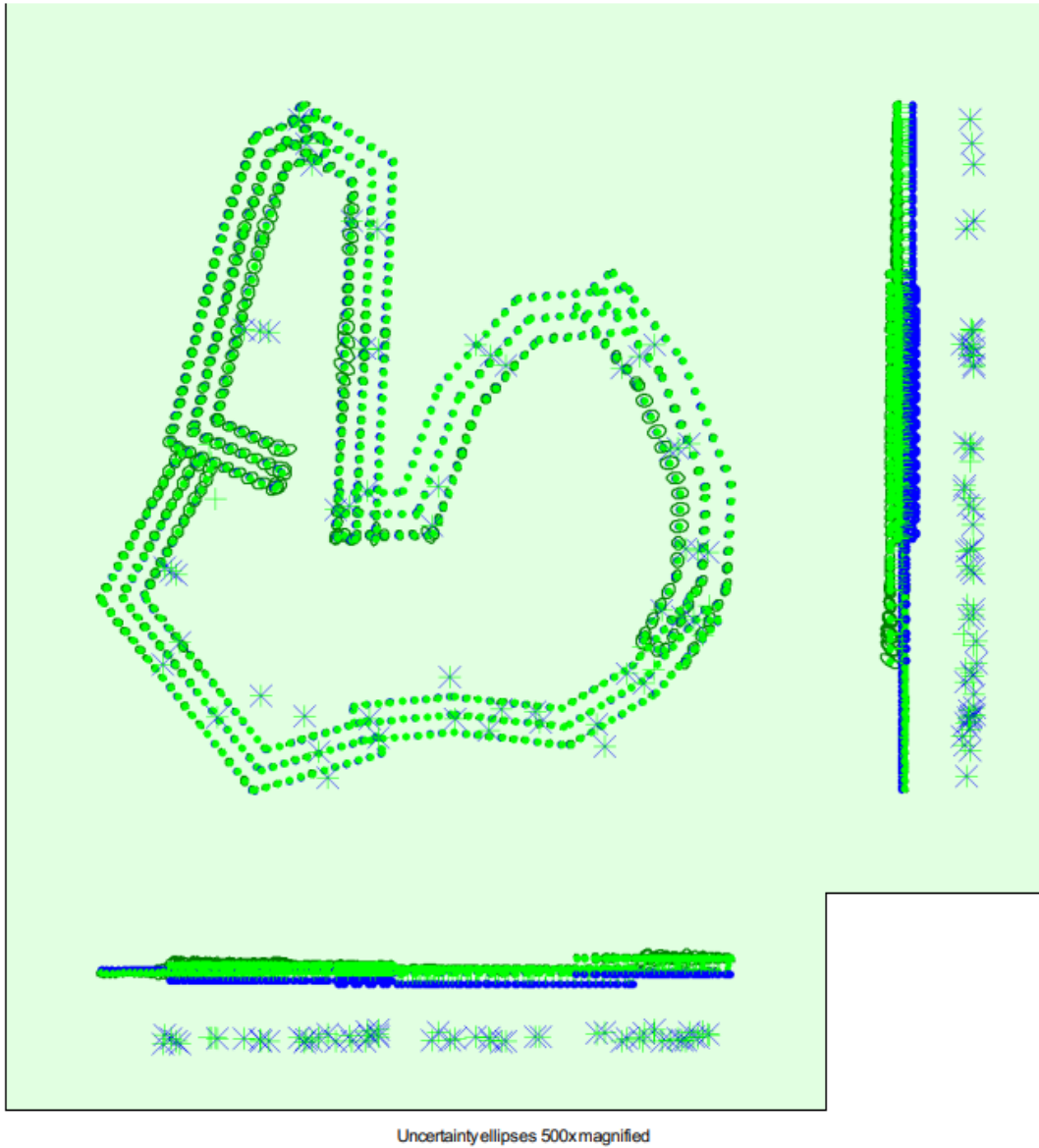


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

**Absolute camera position and orientation uncertainties**

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.018	0.017	0.018	0.007	0.006	0.002
Sigma	0.007	0.006	0.005	0.002	0.002	0.001

**Overlap**

Figura 130: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 3

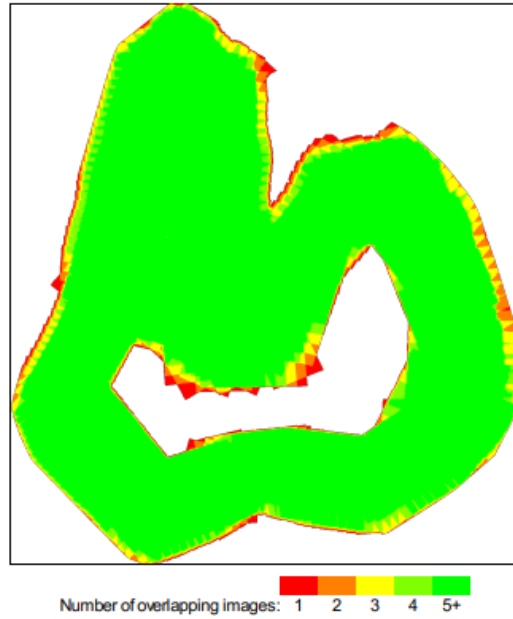


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

## Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	19141588
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	5929456
Mean Reprojection Error [pixels]	0.152

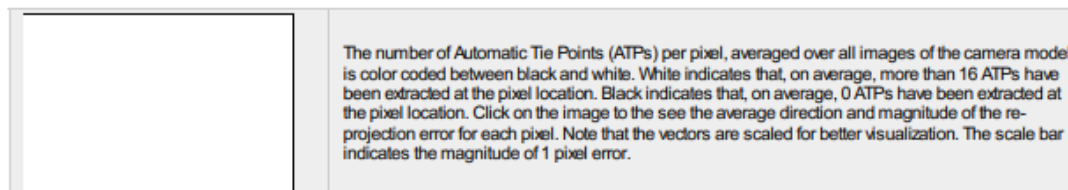
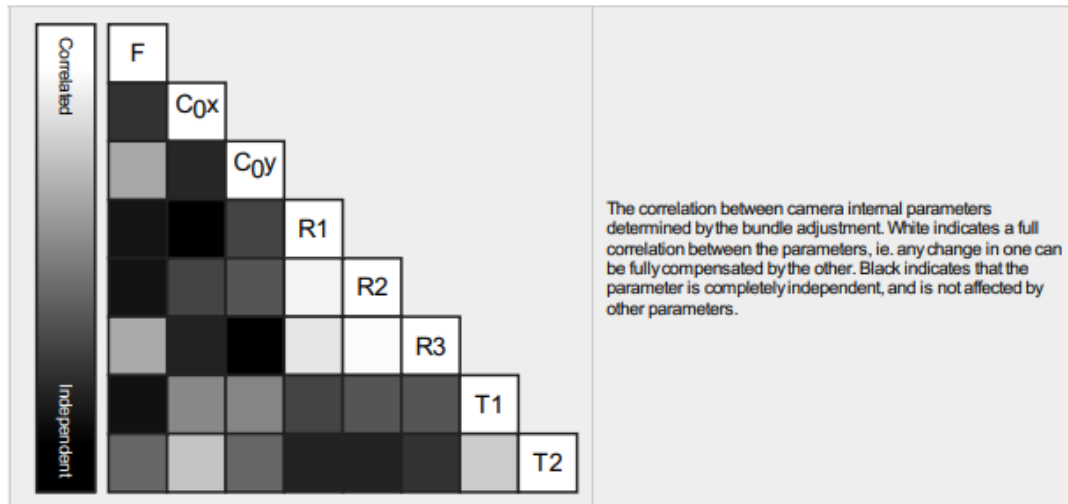
### Internal Camera Parameters

FC6310\_8.8\_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310S\_8.8\_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3701.749 [pixel] 8.682 [mm]	2726.364 [pixel] 6.394 [mm]	1806.241 [pixel] 4.236 [mm]	-0.013	0.002	0.006	-0.002	-0.001
Uncertainties (Sigma)	0.350 [pixel] 0.001 [mm]	0.052 [pixel] 0.000 [mm]	0.055 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 131: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 4



### 2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	53957	29567
Min	19142	5396
Max	89815	55458
Mean	53321	29631

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	3418414
In 3 Images	1101041
In 4 Images	510041
In 5 Images	276806
In 6 Images	171197
In 7 Images	115092
In 8 Images	83399
In 9 Images	60117
In 10 Images	45975
In 11 Images	33559
In 12 Images	26222
In 13 Images	20422
In 14 Images	16670
In 15 Images	13147
In 16 Images	10281
In 17 Images	7461
In 18 Images	5221
In 19 Images	3695
In 20 Images	2727
In 21 Images	2206
In 22 Images	1594
In 23 Images	1204

Figura 132: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 5



In 24 Images	933
In 25 Images	620
In 26 Images	439
In 27 Images	271
In 28 Images	202
In 29 Images	169
In 30 Images	116
In 31 Images	87
In 32 Images	52
In 33 Images	38
In 34 Images	20
In 35 Images	10
In 36 Images	7
In 39 Images	1

2D Keypoint Matches

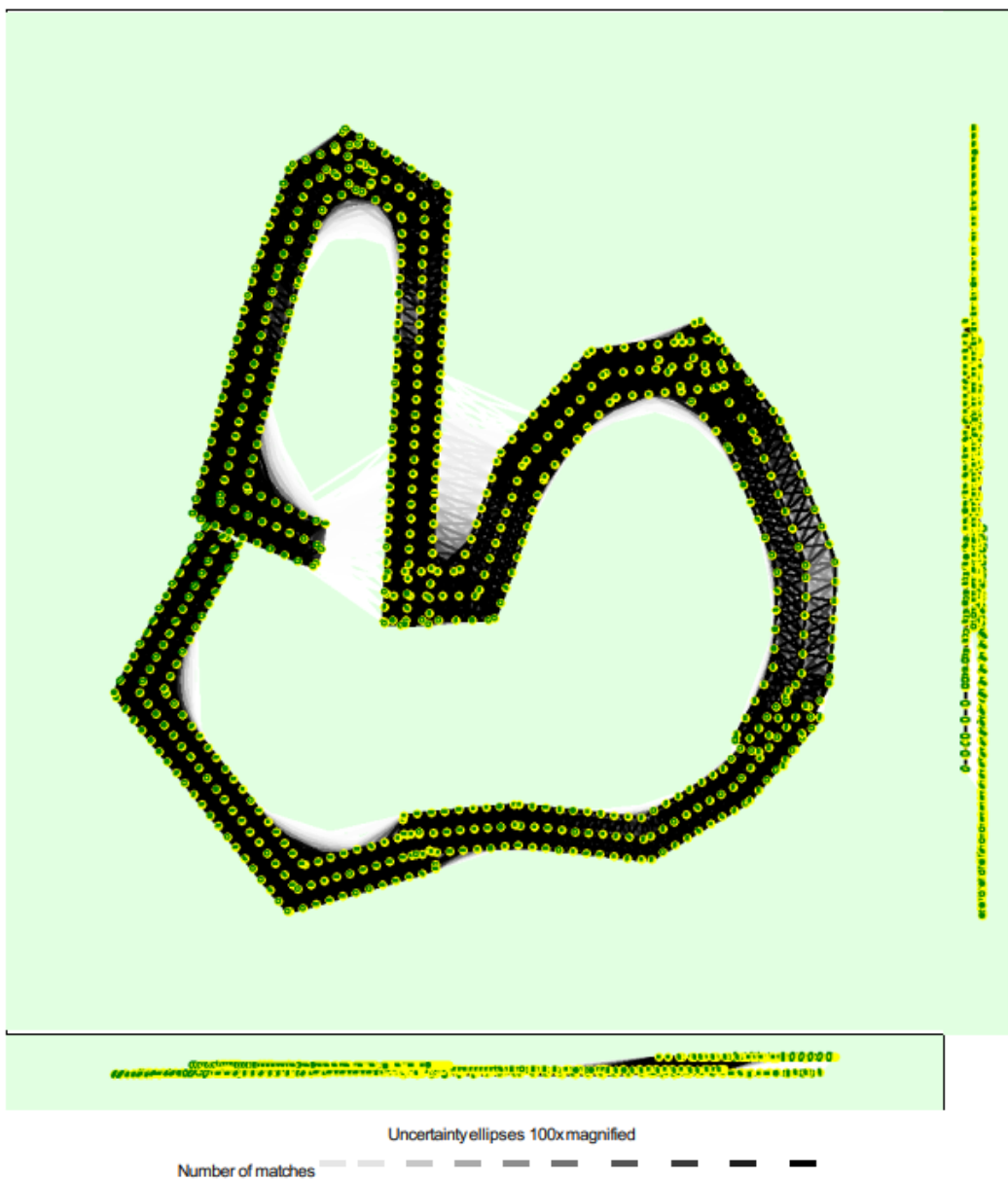


Figura 133: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 6

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

**Relative camera position and orientation uncertainties**

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.033	0.033	0.031	0.011	0.011	0.005
Sigma	0.008	0.008	0.010	0.003	0.003	0.001

**Manual Tie Points**

MTP Name	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
mtp1	2.707	10 / 10
mtp2	1.403	5 / 5
mtp3	1.085	10 / 10
mtp4	1.149	9 / 9
mtp5	0.578	6 / 6
mtp7	1.444	8 / 8
mtp8	1.886	6 / 6

Projection errors for manual tie points. The last column counts the number of images where the manual tie point has been automatically verified v.s. manually marked.

**Geolocation Details**

**Ground Control Points**

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
HU_A4 (3D)	0.020/0.020	-0.021	0.008	0.083	0.700	16 / 16
HU_A5 (3D)	0.020/0.020	0.025	-0.011	-0.079	1.203	9 / 9
HU_A7 (3D)	0.020/0.020	-0.013	0.003	-0.065	0.867	16 / 16
HU_A8 (3D)	0.020/0.020	0.070	0.041	-0.132	0.558	12 / 12
HU_A10 (3D)	0.020/0.020	0.148	0.202	-0.065	0.681	14 / 14
HU_A11 (3D)	0.020/0.020	-0.022	-0.052	0.053	0.947	11 / 11
HU_A13 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.007	0.010	0.811	17 / 17
HU_A15 (3D)	0.020/0.020	-0.035	0.000	0.033	0.433	18 / 18
HU_A16 (3D)	0.020/0.020	0.032	0.002	-0.034	0.538	18 / 18
HU-A1 (3D)	0.020/0.020	0.193	0.165	-0.093	0.514	17 / 17
HU-A2 (3D)	0.020/0.020	0.030	0.017	0.048	0.350	10 / 10
HU-A3 (3D)	0.020/0.020	0.004	0.019	0.006	0.621	18 / 18
HU-B1 (3D)	0.020/0.020	0.026	-0.060	-0.002	0.603	15 / 15
HU-B3 (3D)	0.020/0.020	-0.012	-0.020	0.026	0.765	17 / 17
HU-B4 (3D)	0.020/0.020	0.037	0.038	0.005	0.839	18 / 18
HU-B5 (3D)	0.020/0.020	0.000	0.037	0.057	1.145	15 / 15
HU-B6 (3D)	0.020/0.020	-0.085	-0.032	0.062	1.104	15 / 15
HU-B7 (3D)	0.020/0.020	-0.022	-0.018	-0.082	0.711	24 / 24
HU-B8 (3D)	0.020/0.020	-0.006	0.099	0.030	0.982	19 / 19
HU-B9 (3D)	0.020/0.020	0.012	-0.038	-0.039	1.026	16 / 16
HU-B10 (3D)	0.020/0.020	0.021	-0.037	0.063	1.400	23 / 23
HU_A17 (3D)	0.020/0.020	-0.008	-0.002	-0.032	0.767	14 / 14
HU_A18 (3D)	0.020/0.020	0.011	-0.015	0.008	0.750	17 / 17
HU_A19 (3D)	0.020/0.020	-0.004	0.018	0.025	0.994	18 / 18

Figura 134: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra – página 7

HU_A20 (3D)	0.020/ 0.020	0.034	0.001	-0.035	0.723	16 / 16
HU_A21 (3D)	0.020/ 0.020	-0.080	0.006	0.197	0.859	11 / 11
HU_A22 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	-0.010	-0.102	0.603	10 / 10
HU_A23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.021	-0.070	0.654	36 / 36
HU_A24 (3D)	0.020/ 0.020	0.014	-0.017	0.078	0.889	34 / 34
HU_A25 (3D)	0.020/ 0.020	-0.013	-0.007	0.006	0.511	29 / 29
HU_A26 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.001	0.036	0.435	19 / 19
HU_A28 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	-0.006	-0.016	0.551	15 / 15
HU_A29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.010	0.032	0.564	16 / 16
HU_A30 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.009	-0.036	0.664	13 / 13
HU_A32 (3D)	0.020/ 0.020	-0.066	-0.038	-0.049	0.523	28 / 28
HU_A33 (3D)	0.020/ 0.020	-0.028	-0.023	-0.042	0.639	30 / 30
HU_A34 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	0.000	-0.001	0.818	30 / 30
HU-B14 (3D)	0.020/ 0.020	-0.040	0.009	-0.018	0.895	16 / 16
HU-B15 (3D)	0.020/ 0.020	0.025	0.012	0.005	0.849	14 / 14
HU-B16 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	-0.010	-0.111	0.662	13 / 13
HU-B17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.024	-0.018	0.084	0.734	17 / 17
HU-B18 (3D)	0.020/ 0.020	0.017	0.019	0.020	0.579	15 / 15
HU-B19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	-0.036	0.067	0.885	9 / 9
HU-B20 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.008	-0.014	0.975	12 / 12
HU-B21 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	-0.002	-0.040	0.513	23 / 23
HU-B22 (3D)	0.020/ 0.020	0.025	0.026	0.070	0.841	20 / 20
HU-B23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.045	-0.020	-0.009	0.562	16 / 16
HU-B24 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.021	0.009	0.666	12 / 12
HU-B25 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.036	-0.096	0.742	15 / 15
HU-B26 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.028	0.084	0.460	17 / 17
HU-B27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.018	-0.021	0.816	14 / 14
HU-B29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	0.017	0.072	0.741	14 / 14
Mean [m]		0.004221	0.005507	-0.000255		
Sigma [m]		0.043528	0.044445	0.062116		
RMS Error [m]		0.043732	0.044785	0.062117		

0 out of 4 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
HU-B2		-0.0280	0.0129	-0.1483	0.8767	18 / 18
HU_A27		-0.0063	-0.0456	-0.0180	1.0372	19 / 19
HU_A31		0.0232	0.0192	0.0389	0.8405	9 / 9
HU-B28		-0.0198	-0.0084	-0.0521	0.7063	15 / 15
Mean [m]		-0.007735	-0.005477	-0.044855		
Sigma [m]		0.019479	0.025312	0.067964		
RMS Error [m]		0.020959	0.025898	0.081431		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

### 🔍 Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.15
-15.00	-12.00	0.00	0.00	43.03
-12.00	-9.00	0.00	0.00	19.20
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	43.96	54.02	0.00
0.00	3.00	56.04	45.98	0.00
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00

Figura 135: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 8

12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	37.62
<b>Mean [m]</b>		-1.288259	0.369644	-18.815750
<b>Sigma [m]</b>		0.716462	0.698616	16.543474
<b>RMS Error [m]</b>		1.474086	0.790381	25.054321

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-1.288259	0.369644	-18.815750

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

### ? Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	0.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	74.77
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
<b>Mean of Geolocation Accuracy [m]</b>	5.000000	5.000000	10.000000
<b>Sigma of Geolocation Accuracy [m]</b>	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.666
Phi	0.534
Kappa	7.761

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz RAM: 32GB GPU: Intel(R) HD Graphics 630 (Driver: 23.20.16.4973), NVDIA GeForce GTX 1050 (Driver: 30.0.15.1278)
Operating System	Windows 10 Home Single Language, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (+280m)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S (EGM2008 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S (EGM2008 Geoid)

### Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic

Figura 136: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 9

Advanced: Calibration	Calibration Method: Geolocation Based Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no
-----------------------	--

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	02h:13m:10s
Time for Point Cloud Classification	27m:26s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

### Results

Number of Processed Clusters	3
Number of Generated Tiles	4
Number of 3D Densified Points	61029346
Average Density (per m <sup>3</sup> )	75.31

## DSM, Orthomosaic and Index Details

### Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.75 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 5
Time for DSM Generation	01h:53m:53s
Time for Orthomosaic Generation	02h:27m:17s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Figura 137: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huicra - página 10

## b. Reporte fotogramétrico de la laguna Acococha

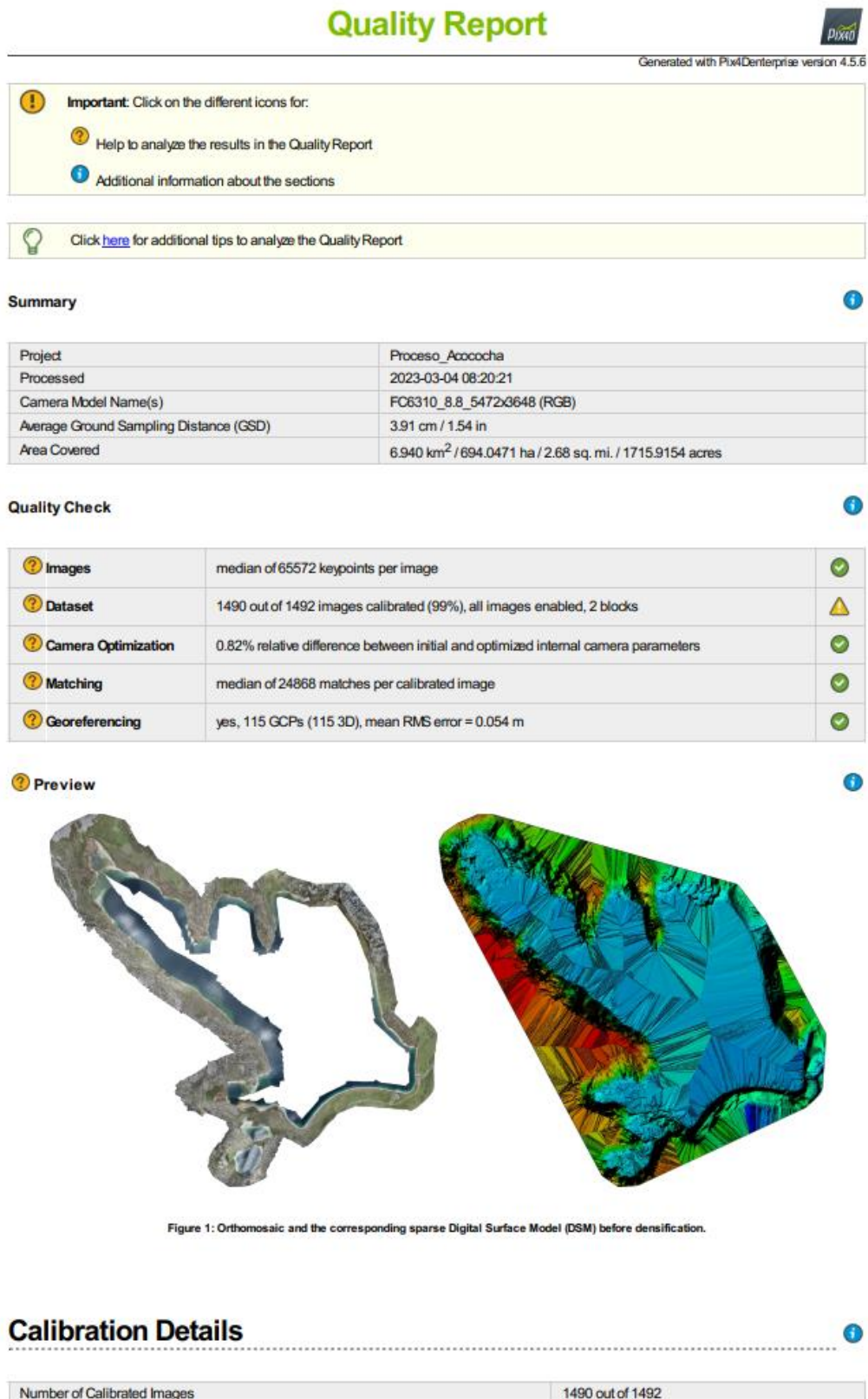


Figura 138: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 1

Initial Image Positions

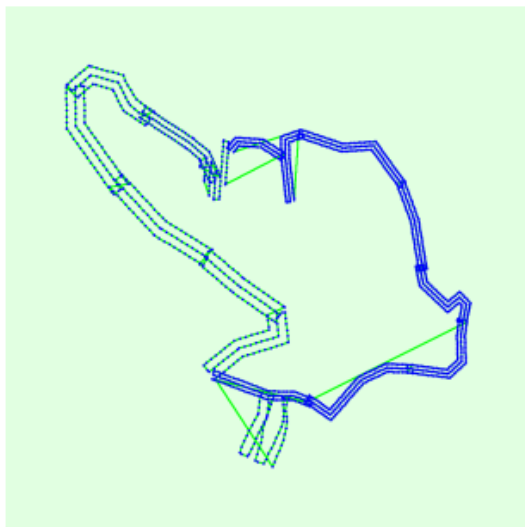


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

Figura 139: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 2

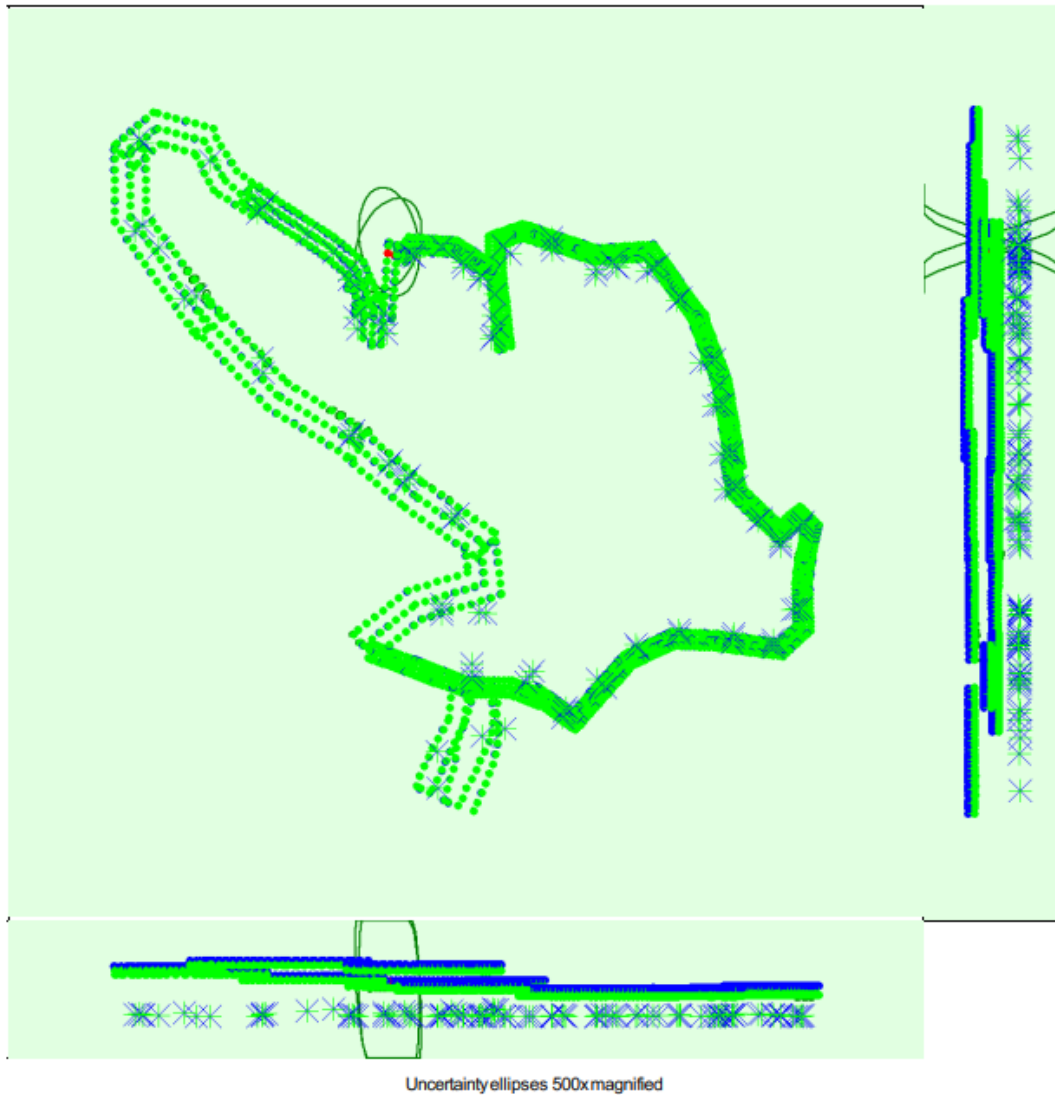


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

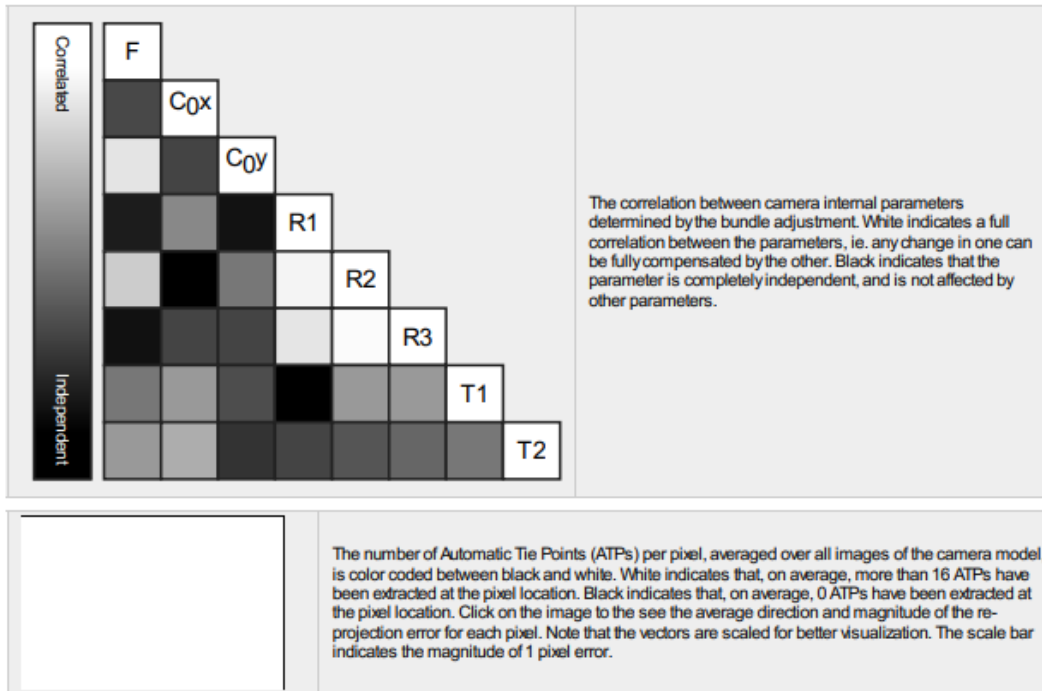
**? Absolute camera position and orientation uncertainties**

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.021	0.021	0.025	0.006	0.006	0.003
Sigma	0.017	0.026	0.067	0.004	0.005	0.007

**? Overlap**

Figura 140: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 3





**2D Keypoints Table**

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	65572	24868
Mn	20651	26
Max	91393	62316
Mean	63954	26162

**3D Points from 2D Keypoint Matches**

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	6529296
In 3 Images	2430635
In 4 Images	1190240
In 5 Images	631336
In 6 Images	397023
In 7 Images	272797
In 8 Images	197588
In 9 Images	131821
In 10 Images	94293
In 11 Images	71255
In 12 Images	55102
In 13 Images	31205
In 14 Images	18541
In 15 Images	11524
In 16 Images	7054
In 17 Images	4501
In 18 Images	3207
In 19 Images	2323
In 20 Images	1662
In 21 Images	1293
In 22 Images	942
In 23 Images	724

Figura 141: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 4

In 24 Images	535
In 25 Images	327
In 26 Images	223
In 27 Images	124
In 28 Images	95
In 29 Images	66
In 30 Images	56
In 31 Images	40
In 32 Images	25
In 33 Images	16
In 34 Images	8
In 35 Images	8
In 36 Images	5

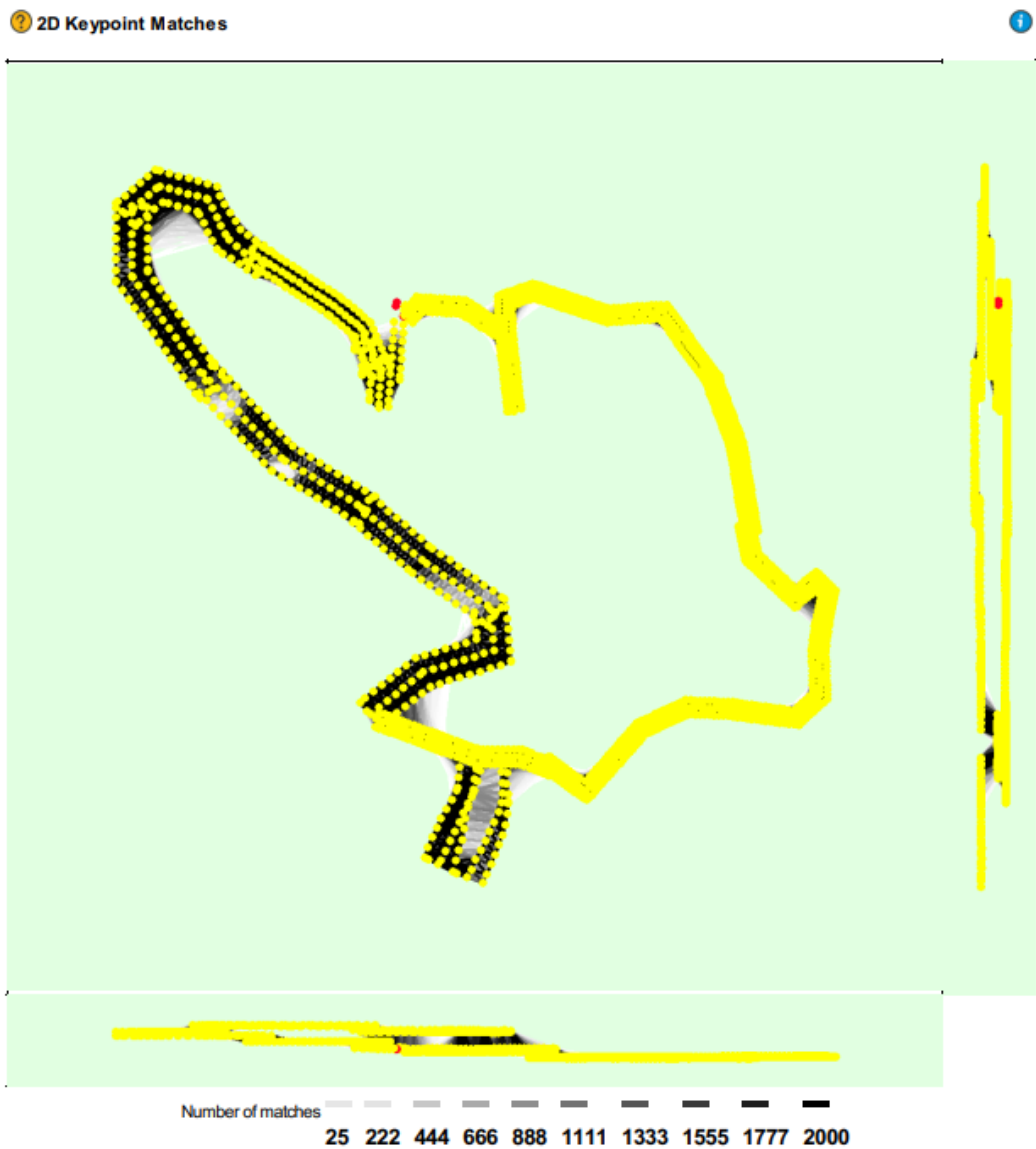


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Figura 142: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 5

## Geolocation Details



### Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
AC_A1 (3D)	0.020/0.020	0.024	-0.029	-0.022	0.748	14 / 14
AC_A10 (3D)	0.020/0.020	0.018	0.002	-0.043	0.533	13 / 13
AC_A11 (3D)	0.020/0.020	0.026	-0.008	0.013	0.535	32 / 32
AC_A12 (3D)	0.020/0.020	-0.000	-0.006	-0.029	0.555	23 / 23
AC_A13 (3D)	0.020/0.020	-0.020	0.003	0.018	0.557	10 / 10
AC_A15 (3D)	0.020/0.020	-0.003	0.021	0.018	0.573	19 / 19
AC_A16 (3D)	0.020/0.020	-0.011	0.001	0.041	0.629	20 / 20
AC_A17 (3D)	0.020/0.020	0.004	-0.017	-0.035	0.688	18 / 18
AC_A18 (3D)	0.020/0.020	0.012	0.038	0.084	0.918	4 / 4
AC_A19 (3D)	0.020/0.020	-0.012	-0.013	-0.028	0.898	10 / 10
AC_A2 (3D)	0.020/0.020	0.008	0.055	-0.044	0.783	16 / 16
AC_A20 (3D)	0.020/0.020	-0.007	-0.010	-0.016	0.571	13 / 13
AC_A21 (3D)	0.020/0.020	0.021	0.028	0.044	0.616	14 / 14
AC_A22 (3D)	0.020/0.020	0.015	0.016	0.059	0.791	14 / 14
AC_A23 (3D)	0.020/0.020	0.008	-0.032	-0.070	0.870	16 / 16
AC_A24 (3D)	0.020/0.020	0.001	0.015	0.037	0.823	6 / 6
AC_A25 (3D)	0.020/0.020	-0.005	0.016	-0.010	1.005	9 / 9
AC_A26 (3D)	0.020/0.020	0.001	-0.015	-0.066	0.678	12 / 12
AC_A27 (3D)	0.020/0.020	-0.002	-0.011	0.077	0.641	12 / 12
AC_A28 (3D)	0.020/0.020	0.002	-0.001	-0.030	0.824	10 / 10
AC_A29 (3D)	0.020/0.020	0.003	0.028	0.018	0.635	10 / 10
AC_A3 (3D)	0.020/0.020	-0.020	-0.042	0.002	0.743	15 / 15
AC_A30 (3D)	0.020/0.020	0.015	0.019	-0.017	0.612	10 / 10
AC_A31 (3D)	0.020/0.020	-0.007	0.039	0.078	0.773	8 / 8
AC_A33 (3D)	0.020/0.020	0.005	-0.012	-0.010	0.546	3 / 3
AC_A34 (3D)	0.020/0.020	-0.013	-0.016	-0.023	0.875	8 / 8
AC_A35 (3D)	0.020/0.020	0.030	0.028	-0.065	0.873	18 / 18
AC_A37 (3D)	0.020/0.020	-0.021	0.026	-0.088	0.803	13 / 13
AC_A38 (3D)	0.020/0.020	0.006	0.017	0.016	1.012	9 / 9
AC_A39 (3D)	0.020/0.020	0.017	-0.024	-0.025	0.600	13 / 13
AC_A4 (3D)	0.020/0.020	-0.007	0.029	-0.028	0.576	13 / 13
AC_A40 (3D)	0.020/0.020	0.042	0.067	0.133	0.704	21 / 21
AC_A41 (3D)	0.020/0.020	0.027	0.026	0.032	0.842	9 / 9
AC_A42 (3D)	0.020/0.020	-0.031	-0.004	-0.015	0.887	21 / 21
AC_A44 (3D)	0.020/0.020	0.020	-0.074	-0.059	0.665	14 / 14
AC_A45 (3D)	0.020/0.020	0.006	0.020	0.038	0.577	16 / 16
AC_A47 (3D)	0.020/0.020	0.030	0.019	-0.074	0.517	28 / 28
AC_A48 (3D)	0.020/0.020	-0.023	-0.006	-0.006	0.715	14 / 14
AC_A49 (3D)	0.020/0.020	0.936	0.251	0.056	0.669	18 / 18
AC_A50 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.028	-0.003	0.823	25 / 25
AC_A52 (3D)	0.020/0.020	0.018	-0.015	-0.057	0.676	20 / 20
AC_A53 (3D)	0.020/0.020	0.075	0.009	-0.071	0.690	16 / 16
AC_A54 (3D)	0.020/0.020	0.013	0.034	-0.029	0.757	13 / 13
AC_A55 (3D)	0.020/0.020	-0.025	0.009	-0.042	0.679	15 / 15
AC_A56 (3D)	0.020/0.020	0.020	-0.007	0.013	0.818	15 / 15
AC_A57 (3D)	0.020/0.020	-0.008	0.002	0.089	0.513	20 / 20
AC_A58 (3D)	0.020/0.020	-0.018	0.009	0.040	0.590	15 / 15
AC_A59 (3D)	0.020/0.020	-0.001	0.000	-0.015	0.843	12 / 12
AC_A6 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.017	0.001	1.405	12 / 12
AC_A60 (3D)	0.020/0.020	0.017	-0.006	0.051	0.700	14 / 14
AC_A61 (3D)	0.020/0.020	-0.007	-0.016	-0.015	0.751	12 / 12

Figura 143: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 6

AC_A62 (3D)	0.020/ 0.020	-0.033	0.005	0.050	0.870	9 / 9
AC_A63 (3D)	0.020/ 0.020	0.028	-0.001	-0.029	0.711	10 / 10
AC_A64 (3D)	0.020/ 0.020	-0.015	0.016	0.062	0.797	8 / 8
AC_A65 (3D)	0.020/ 0.020	0.008	0.022	0.010	0.822	12 / 12
AC_A66 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	0.004	-0.024	0.765	12 / 12
AC_A7 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	0.012	0.003	0.596	8 / 8
AC_A8 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	-0.024	0.023	0.770	10 / 10
AC_A9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.019	-0.014	-0.014	0.879	16 / 16
AC-B1 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	0.001	-0.004	0.900	14 / 14
AC-B10 (3D)	0.020/ 0.020	0.014	0.018	0.013	0.661	12 / 12
AC-B11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.011	0.046	0.914	10 / 10
AC-B12 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	0.015	-0.059	0.562	18 / 18
AC-B13 (3D)	0.020/ 0.020	-0.029	-0.028	0.043	0.740	11 / 11
AC-B14 (3D)	0.020/ 0.020	0.037	0.003	0.017	0.735	7 / 7
AC-B17B (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.037	-0.054	0.740	6 / 6
AC-B18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	0.030	-0.003	0.729	7 / 7
AC-B19 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	-0.016	0.010	0.782	11 / 11
AC-B2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.013	0.003	0.038	0.850	9 / 9
AC-B20 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.005	-0.025	0.821	12 / 12
AC-B21 (3D)	0.020/ 0.020	-0.021	0.017	0.027	0.636	15 / 15
AC-B22 (3D)	0.020/ 0.020	-0.012	-0.032	-0.033	0.562	10 / 10
AC-B23 (3D)	0.020/ 0.020	0.014	0.006	-0.035	0.693	11 / 11
AC-B24 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	0.019	0.023	0.628	13 / 13
AC-B25 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.001	0.034	1.156	12 / 12
AC-B27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.017	-0.037	-0.006	1.856	9 / 9
AC-B28 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	-0.048	-0.055	0.416	8 / 8
AC-B29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.012	0.001	-0.042	0.954	9 / 9
AC-B3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	0.001	0.032	1.149	14 / 14
AC-B30 (3D)	0.020/ 0.020	0.007	0.013	0.017	0.825	7 / 7
AC-B31 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.027	0.002	0.640	12 / 12
AC-B32 (3D)	0.020/ 0.020	0.025	-0.006	0.008	0.680	11 / 11
AC-B33 (3D)	0.020/ 0.020	-0.040	-0.066	0.055	0.988	23 / 23
AC-B39 (3D)	0.020/ 0.020	0.021	-0.025	0.031	0.865	14 / 14
AC-B4 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	-0.018	0.020	0.603	13 / 13
AC-B40 (3D)	0.020/ 0.020	-0.016	-0.014	0.029	0.583	13 / 13
AC-B41 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.002	-0.066	0.791	20 / 20
AC-B42 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	-0.018	0.025	0.900	13 / 13
AC-B43 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.038	-0.028	0.742	16 / 16
AC-B44 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.020	-0.001	0.724	17 / 17
AC-B45 (3D)	0.020/ 0.020	-0.023	-0.001	0.027	0.404	11 / 11
AC-B46 (3D)	0.020/ 0.020	-0.017	-0.009	-0.036	0.535	17 / 17
AC-B47 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	0.026	0.015	0.563	19 / 19
AC-B5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	-0.028	0.064	0.899	10 / 10
AC-B50 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	-0.022	0.076	0.579	24 / 24
AC-B51 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	0.017	0.010	0.408	13 / 13
AC-B52 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	0.018	-0.012	0.675	24 / 24
AC-B54 (3D)	0.020/ 0.020	0.008	0.008	0.002	0.898	15 / 15
AC-B55 (3D)	0.020/ 0.020	-0.016	0.009	0.072	0.710	18 / 18
AC-B56 (3D)	0.020/ 0.020	-0.082	-0.038	0.062	0.639	9 / 9
AC-B58 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	-0.003	0.029	0.488	14 / 14
AC-B59 (3D)	0.020/ 0.020	-0.017	-0.000	-0.018	0.525	16 / 16
AC-B6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	-0.003	0.002	0.818	14 / 14
AC-B60 (3D)	0.020/ 0.020	0.030	0.015	-0.019	0.540	19 / 19
AC-B61 (3D)	0.020/ 0.020	-0.020	-0.017	-0.061	0.581	21 / 21
AC-B63 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	0.005	-0.045	0.782	15 / 15
AC-B64 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.004	-0.017	0.621	10 / 10
AC-B65 (3D)	0.020/ 0.020	0.016	-0.018	-0.058	0.695	11 / 11
AC-B66 (3D)	0.020/ 0.020	-0.027	-0.021	0.003	0.613	11 / 11
AC-B67 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	0.004	0.045	0.660	9 / 9

Figura 144: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 7

AC-B68 (3D)	0.020/ 0.020	-0.024	0.002	-0.028	0.629	19 / 19
AC-B69 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	-0.004	0.006	0.885	15 / 15
AC-B7 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	0.003	-0.016	0.866	10 / 10
AC-B70 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	0.011	-0.015	0.568	12 / 12
AC-B9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.012	0.011	-0.009	1.012	12 / 12
Mean [m]		0.008140	0.002104	0.001187		
Sigma [m]		0.088935	0.032281	0.041314		
RMS Error [m]		0.089307	0.032350	0.041331		

0 out of 6 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
AC_A5		-0.0419	0.0396	-0.0427	1.1522	16 / 16
AC-B26		-0.0250	-0.0452	0.1152	0.6508	9 / 9
AC-B38A		0.0117	-0.0123	0.2569	0.7463	11 / 11
AC-B57		0.0257	0.0712	0.0459	0.6631	11 / 11
AC-B62		0.0218	0.0284	0.0077	0.5230	13 / 13
AC-B8		-0.0011	0.0403	0.0755	0.7658	12 / 12
Mean [m]		-0.001461	0.020325	0.076428		
Sigma [m]		0.024642	0.038260	0.094796		
RMS Error [m]		0.024686	0.043323	0.121769		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

### Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	4.90
-15.00	-12.00	0.00	0.00	7.18
-12.00	-9.00	0.00	0.00	12.48
-9.00	-6.00	0.13	0.00	5.44
-6.00	-3.00	0.00	0.47	14.90
-3.00	0.00	57.11	46.17	8.52
0.00	3.00	38.32	53.15	9.80
3.00	6.00	4.43	0.13	10.60
6.00	9.00	0.00	0.07	2.95
9.00	12.00	0.00	0.00	7.65
12.00	15.00	0.00	0.00	3.96
15.00	-	0.00	0.00	11.61
Mean [m]		-0.798413	-0.054126	42.347688
Sigma [m]		1.277095	1.543604	10.026697
RMS Error [m]		1.506133	1.544553	43.518517

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.798413	-0.054126	42.347688

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

### Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	99.87	99.87	59.33
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00

Figura 145: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 8

Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.551
Phi	0.629
Kappa	5.778

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz RAM: 32GB GPU: Intel(R) HD Graphics 630 (Driver: 23.20.16.4973), NVIDIA GeForce GTX 1050 (Driver: 30.0.15.1278)
Operating System	Windows 10 Home Single Language, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (+600m)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 18S (+250m)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 18S (+250m)

### Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Geolocation Based Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	04h:15m:10s
Time for Point Cloud Classification	01h:11m:15s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Figura 146: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 9

## Results



Number of Processed Clusters	18
Number of Generated Tiles	8
Number of 3D Densified Points	185465385
Average Density (per m <sup>3</sup> )	47.16

## DSM, Orthomosaic and Index Details



### Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.91 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 5
Time for DSM Generation	04m:04s
Time for Orthomosaic Generation	11h:55m:04s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Figura 147: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Acococha - página 10

### c. Reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocho

## Quality Report

Generated with Pix4D Enterprise version 4.5.6

**Important:** Click on the different icons for:

- ? Help to analyze the results in the Quality Report
- i Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

### Summary i

Project	Proceso_Huahuacocho
Processed	2023-02-28 15:48:09
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.47 cm / 1.37 in
Area Covered	0.514 km <sup>2</sup> / 51.3726 ha / 0.20 sq. mi. / 127.0101 acres

### Quality Check i

<span style="color: orange;">?</span> <b>Images</b>	median of 48763 keypoints per image	✔
<span style="color: orange;">?</span> <b>Dataset</b>	232 out of 232 images calibrated (100%), all images enabled	✔
<span style="color: orange;">?</span> <b>Camera Optimization</b>	0.45% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
<span style="color: orange;">?</span> <b>Matching</b>	median of 32985.5 matches per calibrated image	✔
<span style="color: orange;">?</span> <b>Georeferencing</b>	yes, 15 GCPs (15 3D), mean RMS error = 0.023 m	✔

### ? Preview i



Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

### Calibration Details i

Figura 148: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocho - página 1



Number of Calibrated Images	232 out of 232
Number of Geolocated Images	232 out of 232

**Initial Image Positions**

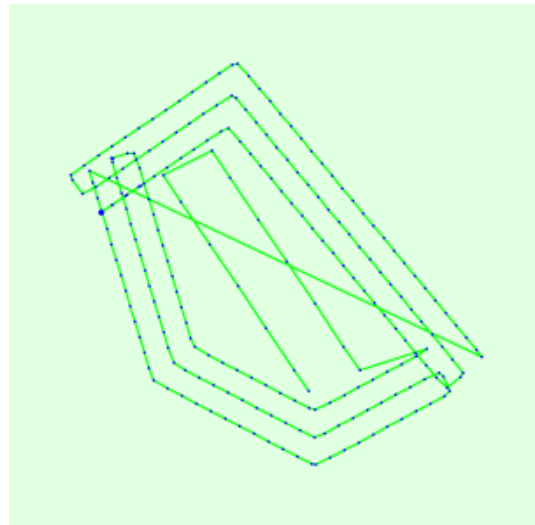
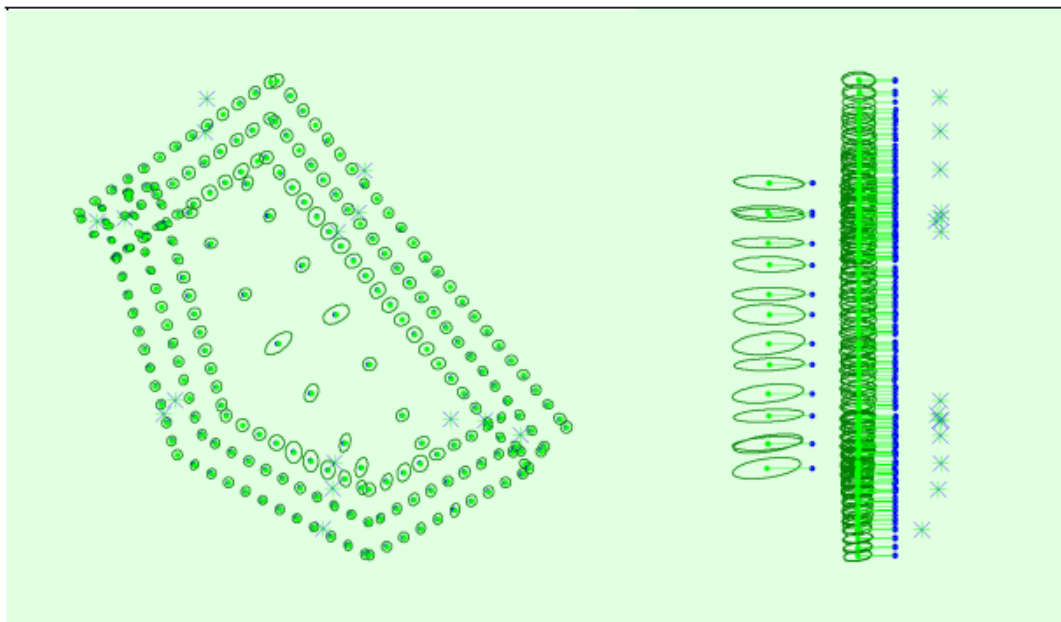
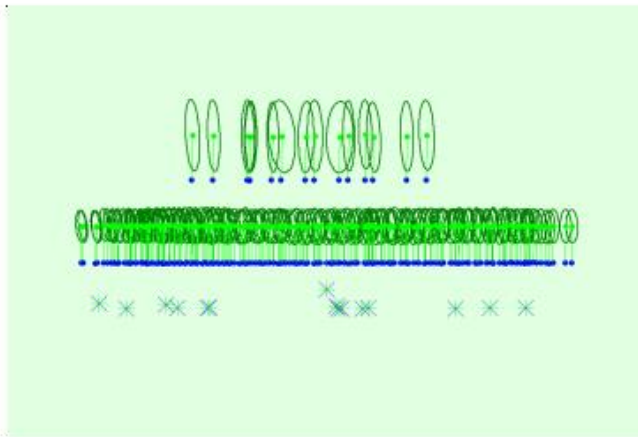


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

**Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions**



**Figura 149: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocho - página 2**



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

### 🔍 Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.009	0.009	0.028	0.003	0.004	0.001
Sigma	0.002	0.002	0.007	0.001	0.001	0.000

### 🔍 Overlap

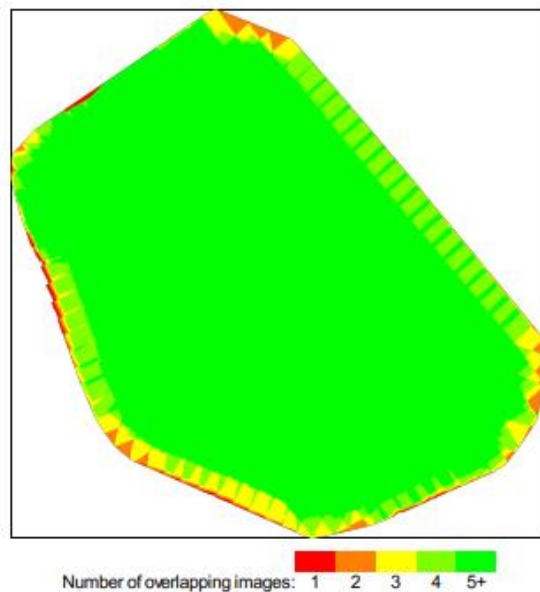


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

## Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	7452233
--	---------

Figura 150: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 3

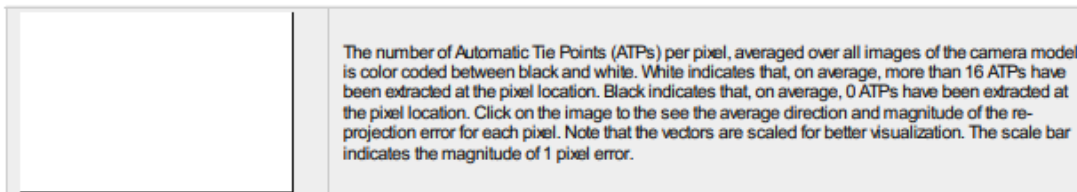
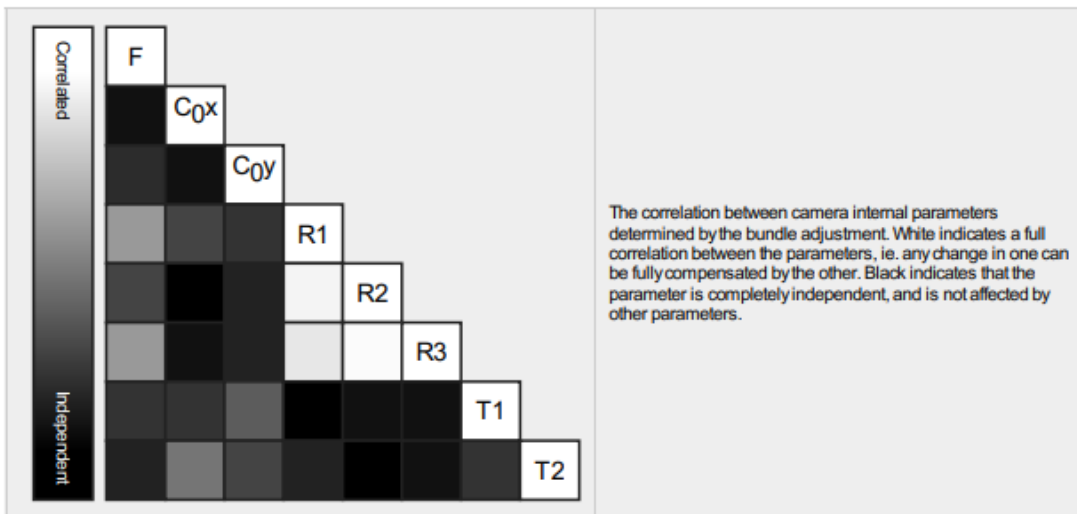
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1657618
Mean Reprojection Error [pixels]	0.179

### Internal Camera Parameters

FC6310\_8.8\_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310S\_8.8\_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3652.093 [pixel] 8.565 [mm]	2737.656 [pixel] 6.421 [mm]	1819.865 [pixel] 4.268 [mm]	-0.002	-0.008	0.007	-0.000	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.748 [pixel] 0.002 [mm]	0.081 [pixel] 0.000 [mm]	0.067 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



### 2D Keypoints Table


	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	48763	32985
Mn	18426	4443
Max	64028	49667
Mean	45483	32122

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	698583
In 3 Images	297238
In 4 Images	173912
In 5 Images	103715
In 6 Images	74518
In 7 Images	59278

Figura 151: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 4

In 8 Images	48474
In 9 Images	36610
In 10 Images	29118
In 11 Images	25571
In 12 Images	23482
In 13 Images	18285
In 14 Images	13410
In 15 Images	10172
In 16 Images	8353
In 17 Images	6337
In 18 Images	4930
In 19 Images	4041
In 20 Images	3320
In 21 Images	2905
In 22 Images	2450
In 23 Images	2132
In 24 Images	1859
In 25 Images	1554
In 26 Images	1352
In 27 Images	1069
In 28 Images	1025
In 29 Images	879
In 30 Images	662
In 31 Images	565
In 32 Images	512
In 33 Images	463
In 34 Images	373
In 35 Images	228
In 36 Images	129
In 37 Images	76
In 38 Images	26
In 39 Images	9
In 40 Images	3

 2D Keypoint Matches



**Figura 152: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 5**

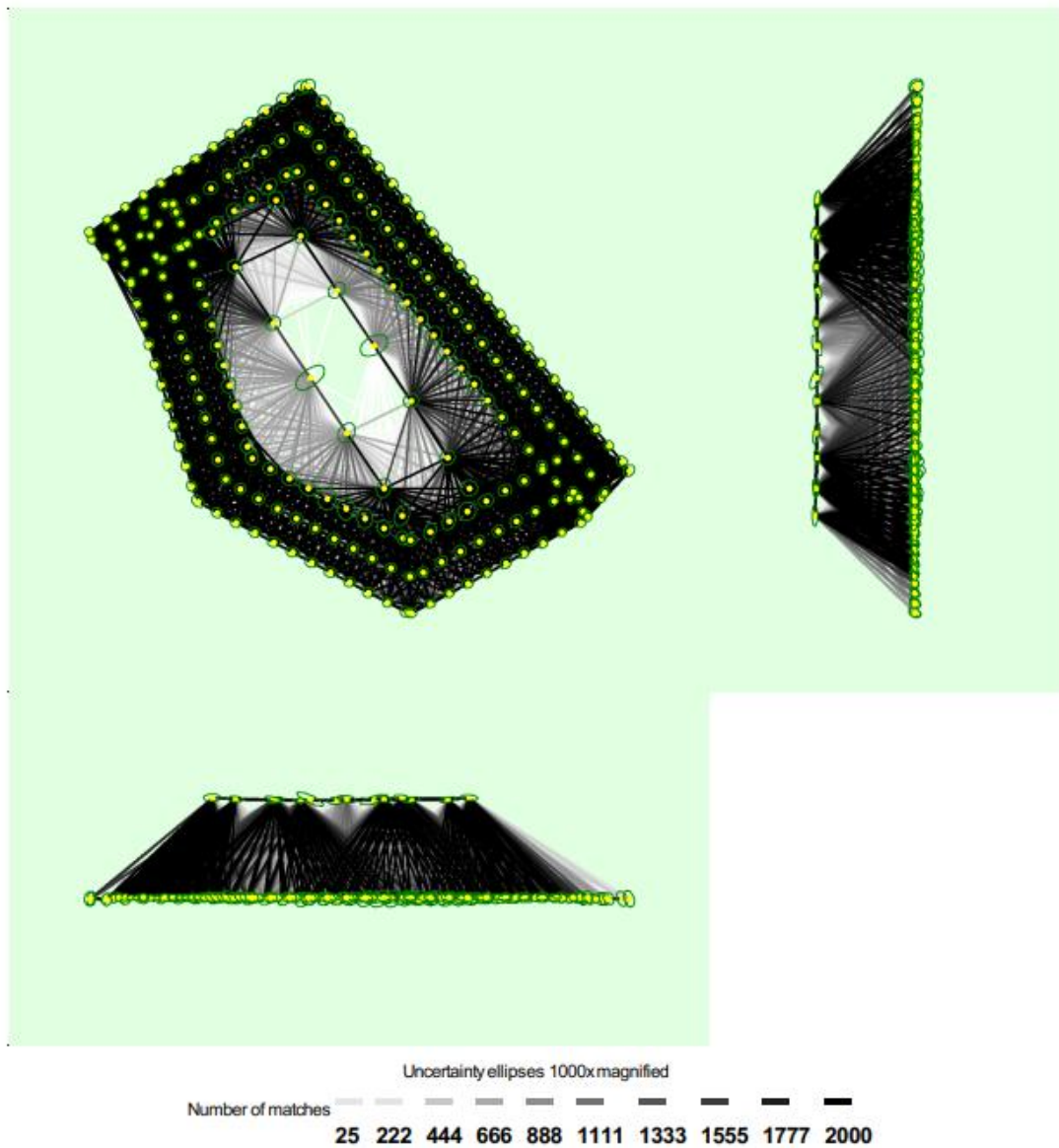


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

#### Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.009	0.009	0.006	0.004	0.004	0.001
Sigma	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.000

### Geolocation Details

#### Ground Control Points

Figura 153: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocho - página 6

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
HH_A1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.019	0.009	0.063	0.973	20 / 20
HH_A2 (3D)	0.020/ 0.020	0.015	-0.011	-0.003	0.670	22 / 22
HH_A3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	0.010	-0.052	0.510	20 / 20
HH_A4 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	0.004	-0.011	0.690	17 / 17
HH_A5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.017	-0.004	-0.026	1.531	9 / 9
HH_A6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.018	0.056	0.813	17 / 17
HH_A7 (3D)	0.020/ 0.020	0.007	-0.040	-0.017	0.493	17 / 17
HH_A8 (3D)	0.020/ 0.020	0.026	0.023	0.074	0.727	10 / 10
HH-B1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.008	-0.039	0.589	24 / 24
HH-B3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	-0.009	0.025	0.517	34 / 34
HH-B4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.025	0.003	0.040	0.866	13 / 13
HH-B5 (3D)	0.020/ 0.020	0.014	-0.009	-0.010	0.795	8 / 8
HH-B7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.015	-0.002	0.009	0.714	9 / 9
HH-B8 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	-0.005	-0.034	0.692	18 / 18
HH-B9 (3D)	0.020/ 0.020	0.025	0.020	-0.019	0.603	16 / 16
<b>Mean [m]</b>		0.001591	0.000997	0.003690		
<b>Sigma [m]</b>		0.016549	0.015210	0.037922		
<b>RMS Error [m]</b>		0.016625	0.015242	0.038102		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

### 🔍 Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.86
-12.00	-9.00	0.00	0.00	3.45
-9.00	-6.00	0.00	0.00	2.16
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	44.83	44.83	18.10
0.00	3.00	55.17	55.17	75.43
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
<b>Mean [m]</b>		-0.737279	0.318437	-57.407339
<b>Sigma [m]</b>		0.498037	0.380881	2.792509
<b>RMS Error [m]</b>		0.889731	0.496460	57.475218

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.737217	0.318474	-57.406727

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

### 🔍 Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	96.98
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00

Figura 154: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacochoa - página 7

Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.496
Phi	0.491
Kappa	4.067

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz RAM: 32GB GPU: Intel(R) HD Graphics 630 (Driver: 23.20.16.4973), NVDIA GeForce GTX 1050 (Driver: 30.0.15.1278)
Operating System	Windows 10 Home Single Language, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (+250m)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S (EGM2008 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S (EGM2008 Geoid)

### Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	41m:27s
Time for Point Cloud Classification	11m:35s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Figura 155: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocha - página 8

## Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	26157940
Average Density (per m <sup>3</sup> )	83.92

## DSM, Orthomosaic and Index Details



### Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.47 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 5
Time for DSM Generation	04m:28s
Time for Orthomosaic Generation	01h:26m:25s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Figura 156: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Huahuacocho - página 9



#### d. Reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocho

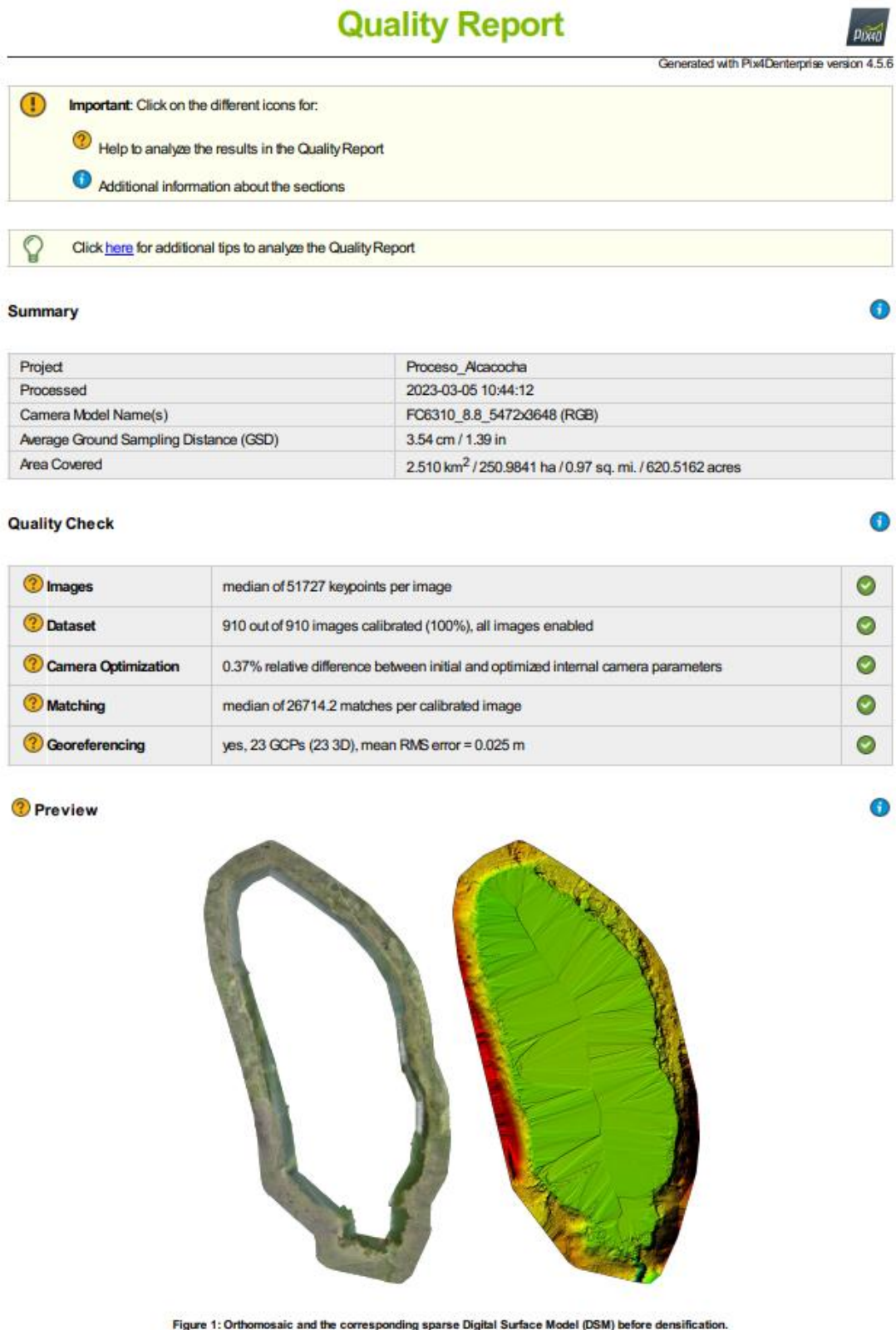


Figura 157: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocho - página 1

## Calibration Details

Number of Calibrated Images	910 out of 910
Number of Geolocated Images	910 out of 910

### Initial Image Positions

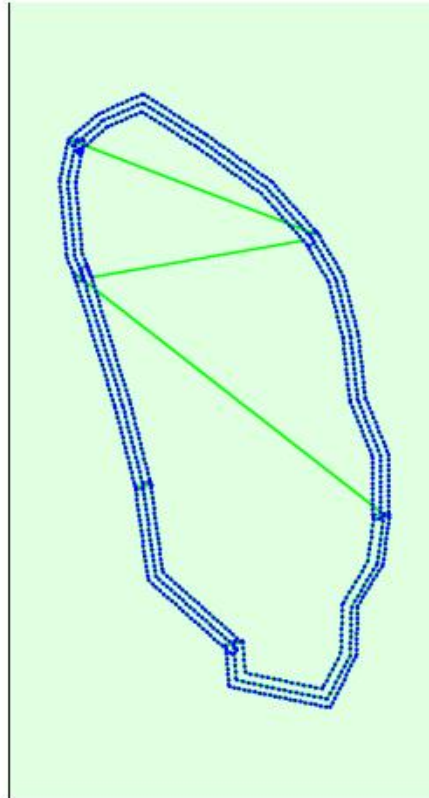
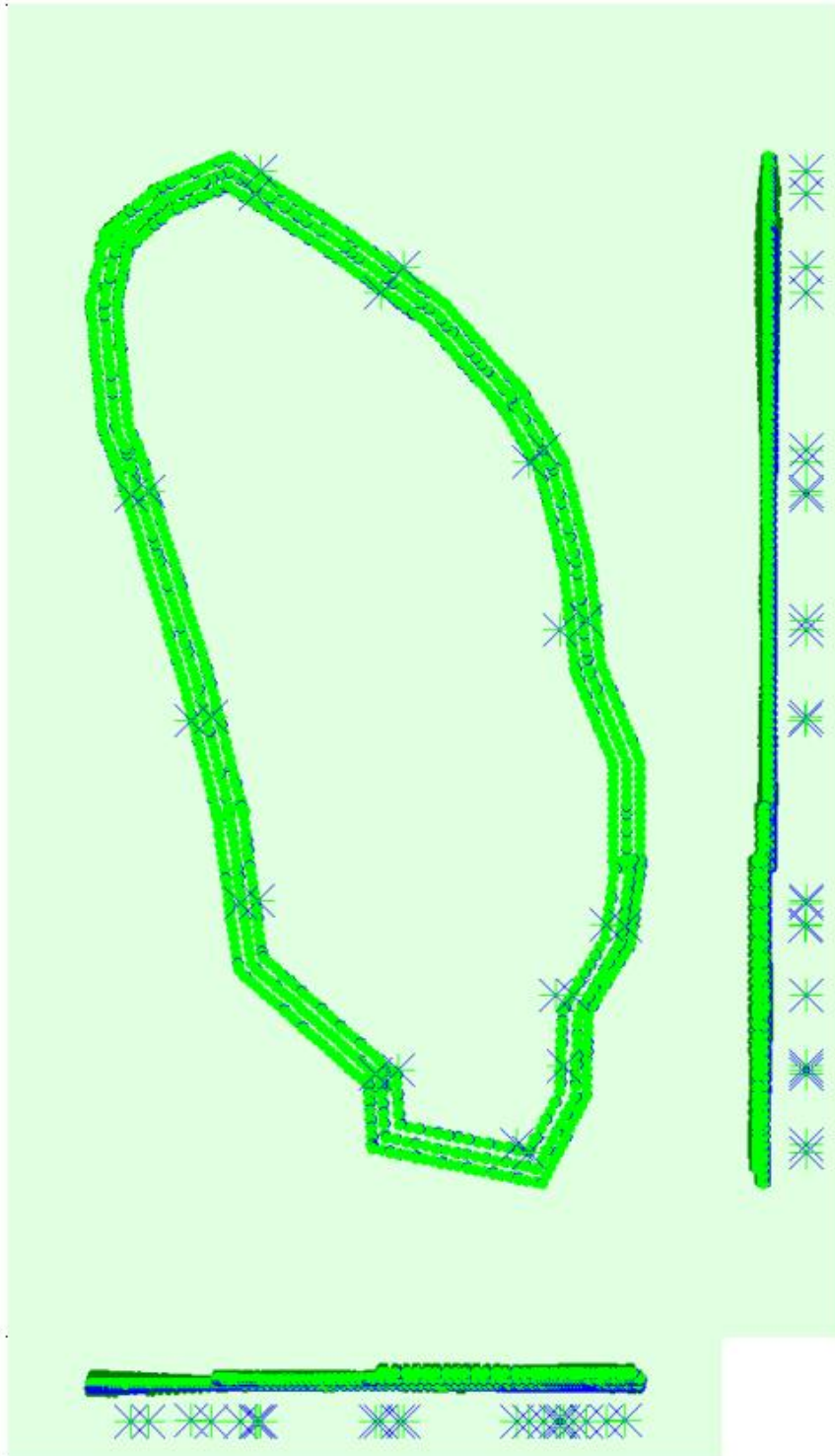


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

Figura 158: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocho - página 2



Uncertainty ellipses 500x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

**📍 Absolute camera position and orientation uncertainties**



X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
-------	-------	-------	----------------	--------------	----------------

Figura 159: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocho - página 3

Mean	0.023	0.023	0.049	0.009	0.008	0.003
Sigma	0.004	0.004	0.009	0.001	0.001	0.000

### Overlap



Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

## Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	24868192
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	7100150
Mean Reprojection Error [pixels]	0.162

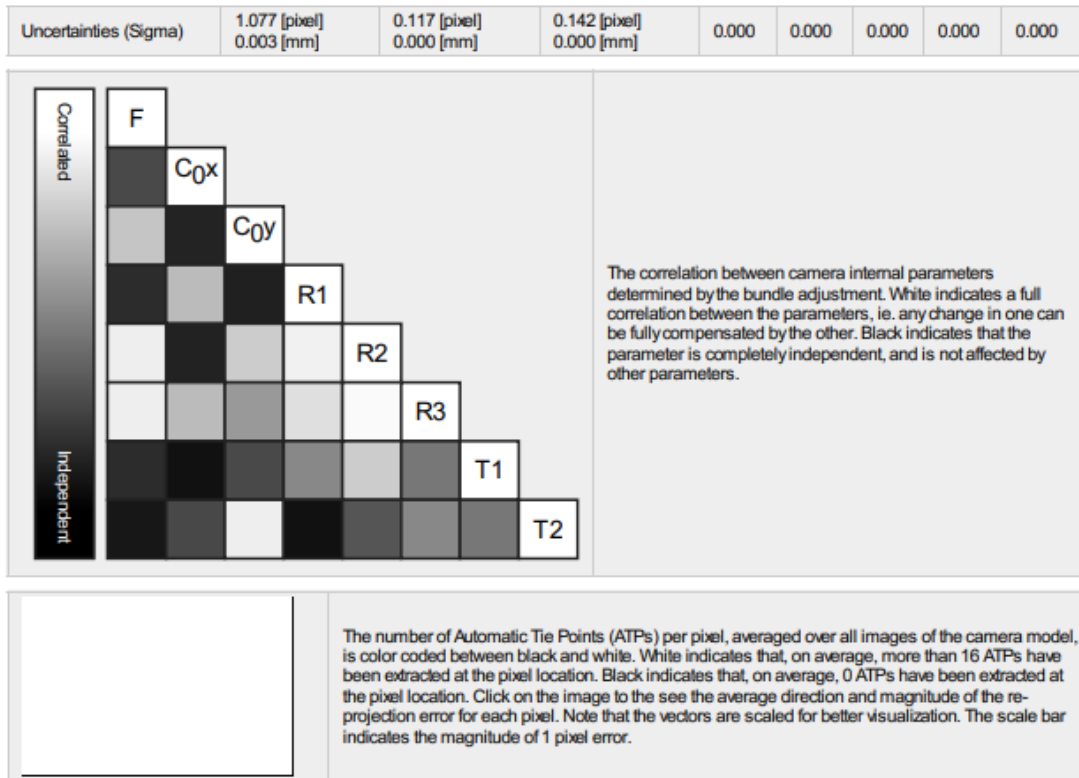
### Internal Camera Parameters

FC6310\_8.8\_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310S\_8.8\_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3682.661 [pixel] 8.637 [mm]	2725.895 [pixel] 6.393 [mm]	1806.746 [pixel] 4.237 [mm]	-0.014	0.003	0.006	-0.002	-0.001

Figura 160: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 4



### 2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	51727	26714
Mn	23511	5670
Max	86139	55287
Mean	50882	27328

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	3340330
In 3 Images	1480244
In 4 Images	839121
In 5 Images	455417
In 6 Images	282426
In 7 Images	204165
In 8 Images	155354
In 9 Images	107916
In 10 Images	72293
In 11 Images	53729
In 12 Images	44338
In 13 Images	30043
In 14 Images	16573
In 15 Images	7217
In 16 Images	3434
In 17 Images	2157
In 18 Images	1625
In 19 Images	1162
In 20 Images	938
In 21 Images	700

Figura 161: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocha - página 5

In 22 Images	449
In 23 Images	294
In 24 Images	112
In 25 Images	72
In 26 Images	33
In 27 Images	8

2D Keypoint Matches

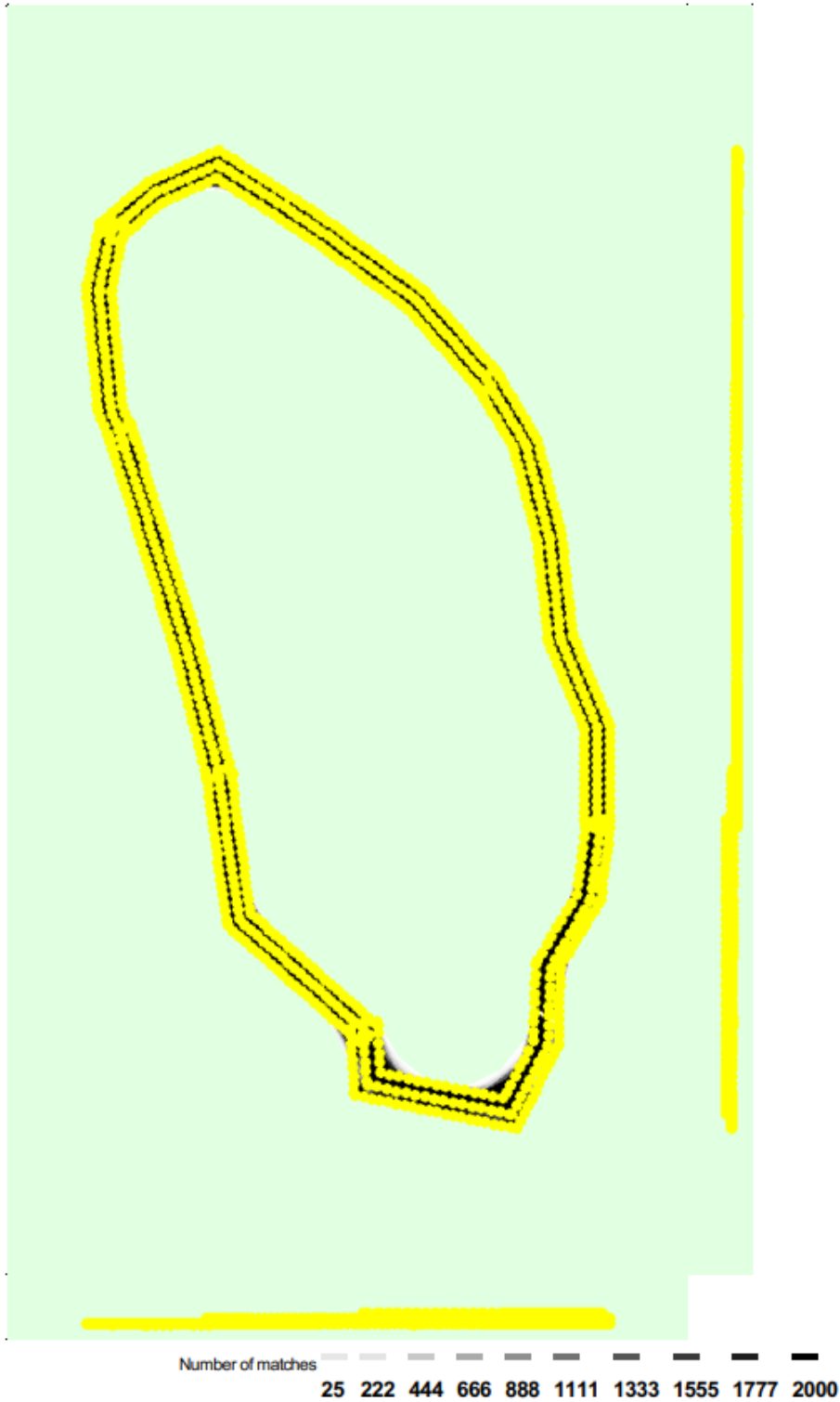


Figura 162: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocho - página 7

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

## Geolocation Details

### Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
AL-B1 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	-0.017	-0.019	0.581	15 / 15
AL-B2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	0.008	0.006	0.851	21 / 21
AL-B3 (3D)	0.020/ 0.020	0.007	-0.015	-0.008	0.500	24 / 24
AL-B4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.018	0.011	0.626	18 / 18
AL-B5 (3D)	0.020/ 0.020	0.020	0.007	-0.008	0.439	14 / 14
AL-B6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.021	-0.005	-0.011	0.925	13 / 13
AL-B7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	-0.012	-0.002	0.777	11 / 11
AL-B8 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	0.010	-0.011	0.739	12 / 12
AL-B9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	0.004	-0.026	0.633	13 / 13
AL-B10 (3D)	0.020/ 0.020	0.015	-0.001	0.032	0.672	14 / 14
AC_A3 (3D)	0.020/ 0.020	0.019	-0.024	0.020	0.437	9 / 9
AC_A5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.008	-0.019	0.584	15 / 15
AL_A1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.019	-0.003	-0.003	0.669	14 / 14
AL_A2 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	-0.010	-0.024	0.897	8 / 8
AL_A4 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	-0.005	0.015	0.876	9 / 9
AL_A6 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	0.009	0.021	0.551	13 / 13
Al_B11 (3D)	0.020/ 0.020	0.024	0.003	-0.011	0.886	9 / 9
AL_B12 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	0.011	0.003	0.954	8 / 8
AL-B13 (3D)	0.020/ 0.020	-0.016	0.025	-0.013	0.895	13 / 13
AL-B14 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.005	-0.005	0.638	13 / 13
AL-B15 (3D)	0.020/ 0.020	0.014	-0.011	0.025	0.772	18 / 18
AL-B16 (3D)	0.020/ 0.020	-0.014	-0.007	-0.032	0.730	8 / 8
AL-B17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.041	0.061	0.189	2.004	18 / 18
<b>Mean [m]</b>		-0.001143	0.002626	0.005700		
<b>Sigma [m]</b>		0.015701	0.016953	0.042537		
<b>RMS Error [m]</b>		0.015742	0.017156	0.042917		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified v.s. manually marked.

### Absolute Geolocation Variance

Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	10.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	1.43
-6.00	-3.00	0.00	0.00	15.38
-3.00	0.00	58.13	54.62	6.59
0.00	3.00	41.87	45.27	46.70
3.00	6.00	0.00	0.11	16.37
6.00	9.00	0.00	0.00	3.52
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
<b>Mean [m]</b>		0.836355	-0.701007	-4.787728

Figura 163: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcaocha - página 8

Sigma [m]	0.836488	1.360632	4.545147
RMS Error [m]	1.182879	1.530598	6.601568

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.836355	-0.701007	-4.787728

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

### Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	92.97
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.548
Phi	0.758
Kappa	7.147

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz RAM: 32GB GPU: Intel(R) HD Graphics 630 (Driver: 23.20.16.4973), NVDIA GeForce GTX 1050 (Driver: 30.0.15.1278)
Operating System	Windows 10 Home Single Language, 64-bit

### Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (+600m)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 18S (+350m)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 18S (+350m)

### Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

Figura 164: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocho - página 9



## Point Cloud Densification details i

### Processing Options i

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	03h:01m:16s
Time for Point Cloud Classification	29m:52s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

### Results i

Number of Processed Clusters	3
Number of Generated Tiles	6
Number of 3D Densified Points	110300942
Average Density (per m <sup>3</sup> )	81.43

## DSM, Orthomosaic and Index Details i

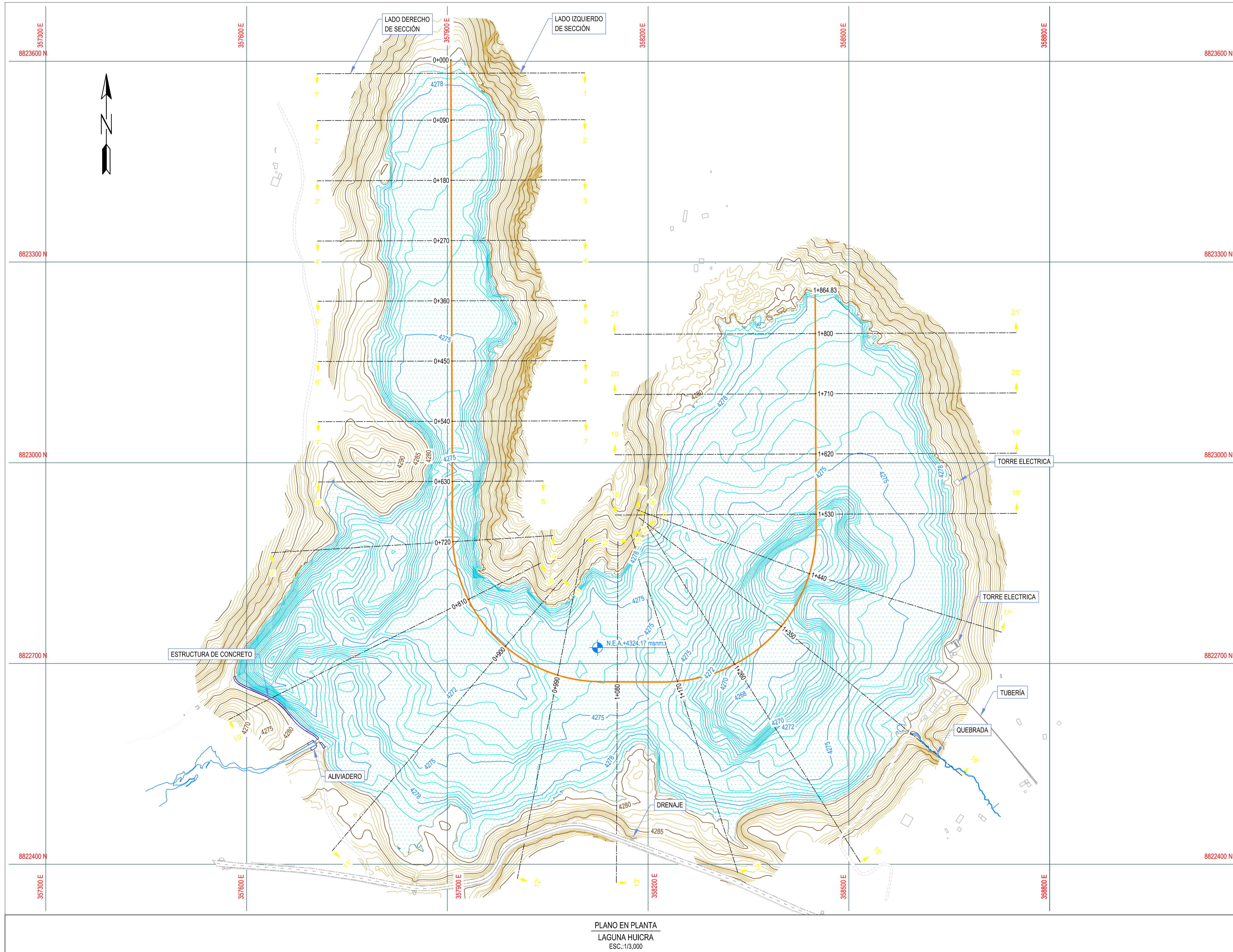
### Processing Options i

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.54 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 5
Time for DSM Generation	01m:43s
Time for Orthomosaic Generation	05h:37m:48s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Figura 165: Captura del reporte fotogramétrico de la laguna Alcacocho - página 10

## **Anexo 2: Planos en a escala real**

### **a. Plano a escala real – Huicra**



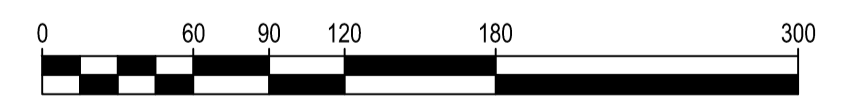
PLANO EN PLANTA  
LAGUNA HUCRA  
ESC.: 1/3,000



PLANO LLAVE  
ESC. 1:500,000

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE, TERRENO EXISTENTE
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE, BATIMETRÍA
	ACCESO EXISTENTE
	LÍNEA DE SECCIÓN BATIMÉTRICA @ 90 m.
	LÍNEA DE EJE DE SECCIONES
	ESPEJO DE AGUA
	CENTRO POBLADO

CUADRO DE DATOS LAGUNA HUCRA	
DESCRIPCIÓN	VALOR
NIVEL MÁXIMO DE LAGUNA (ESPEJO DE AGUA)	4278.97 msnm.
PROFUNDIDAD MÁXIMA DE LAGUNA (H)	13.19 m
NIVEL MÍNIMO DE LAGUNA (FONDO DE BATIMETRÍA)	4265.78 msnm.
VOLUMEN DE AGUA	2,363,661.67 m <sup>3</sup>



1. LAS UNIDADES DE LOS PLANOS SE ENCUENTRAN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL, SALVO OTRA INDICACIÓN.
2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (msnm).
3. LA CUADRÍCULA ESTA REFERENCIADA AL DATUM WGS 84, SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18S.
4. LA SUPERFICIE EXISTENTE ES EL RESULTADO DE LA FOTOGRAMETRÍA Y BATIMETRÍA, REALIZADA EN MARZO, 2023.

NOTAS GENERALES	PLANO N°	PLANOS DE REFERENCIA	N° REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DIS.	DIB.	REV.	APR.	CLIENTE
	DWG-2023-0007-CP	PLANO DE SECCIONES 13 - 13' A 21 - 21'								
	DWG-2023-0006-CP	PLANO DE SECCIONES 1 - 1' A 12 - 12'								
	DWG-2023-0001-CP	PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL Y UBICACIÓN	A	23-04-17	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	CCR	CCR	AC	AC	

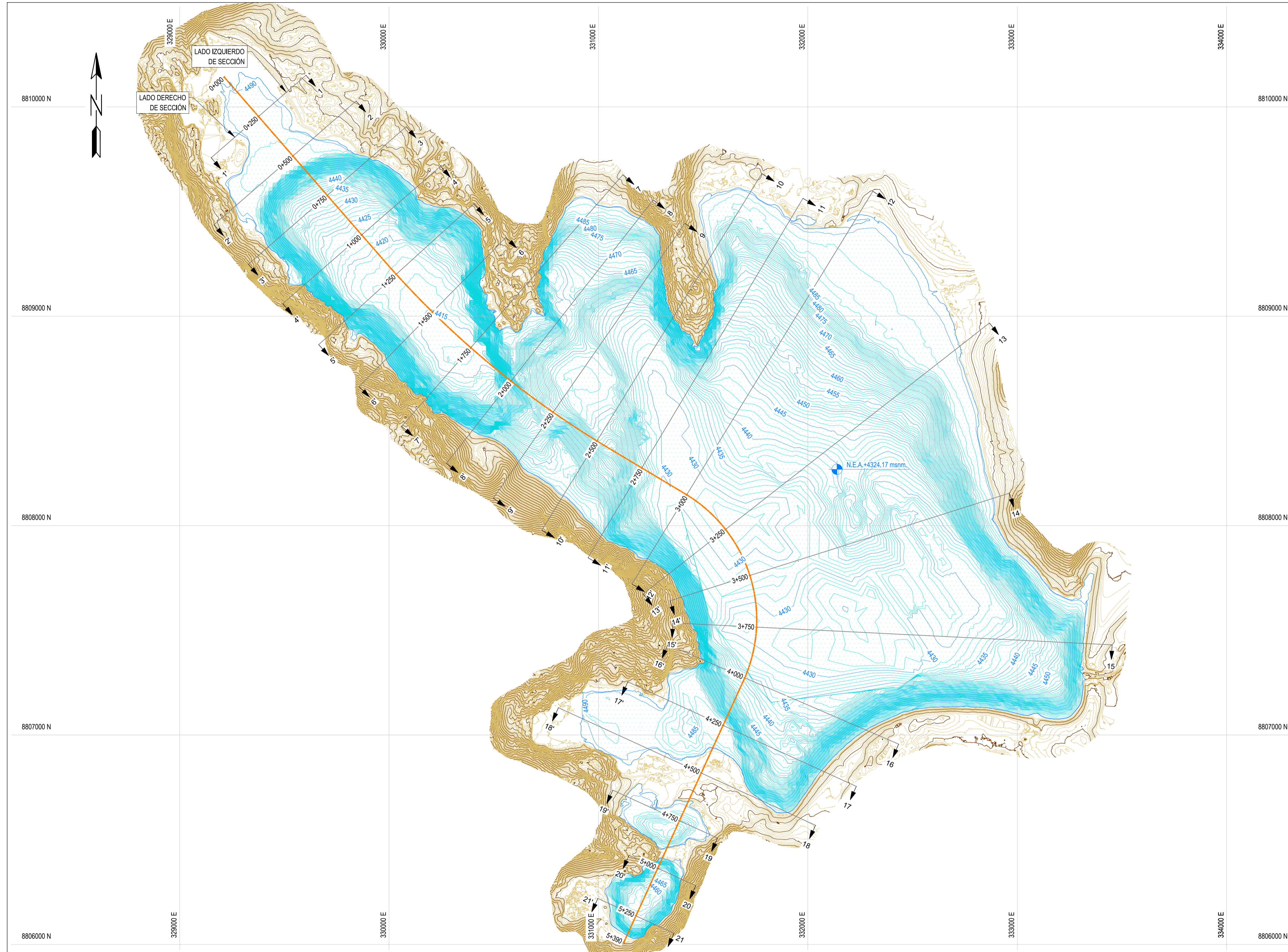
CONFIDENCIAL:  
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA SON PROPIEDAD DE WSP. SU USO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN ESTA PROHIBIDA. CUALQUIER MODIFICACIÓN O ADAPTACIÓN DE LOS DATOS EN EL PLANO SERÁ RESPONSABILIDAD EXCLUSIVA DEL USUARIO SIN NINGUNA RESPONSABILIDAD LEGAL DE WSP.

CLIENTE		ENERTÉK	
APROBACIÓN	FECHA	FIRMA	NOMBRES
CLIENTE:			DISEÑADO POR: CCR
GTE. ING.:			FECHA: 23-03-17
GTE. PROY.:			DIBUJADO POR: CCR
			FECHA: 23-03-17
			REVISADO POR: AC
			FECHA: 23-03-17
			APROBADO POR: AC
			FECHA: 23-04-17
			GTE. ING.:

LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO DE 7 LAGUNAS EN EL SECTOR DE CERRO DE PASCO	
<b>LAGUNA HUCRA PLANTA</b>	
COD. PROY. CLIENTE: <b>WSP Perú</b>	PLANO CLIENTE N°: BAT-WSP Perú S-No.2 -AMB-Hucra-5-RevA



**b. Plano a escala real – Acococha**



PLANO EN PLANTA  
LAGUNA ACOCOCHA  
ESC.:1/10,000



PLANO LLAVE  
ESC. 1:500,000

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE, TERRENO EXISTENTE
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE, BATIMETRÍA
	ACCESO EXISTENTE
	LÍNEA DE SECCIÓN BATIMÉTRICA @ 20 m.
	LÍNEA DE EJE DE SECCIONES
	ESPEJO DE AGUA

CUADRO DE DATOS LAGUNA ACOCOCHA	
DESCRIPCIÓN	VALOR
NIVEL MÁXIMO DE LAGUNA (ESPEJO DE AGUA)	4490.24 msnm.
PROFUNDIDAD MÁXIMA DE LAGUNA (H)	76.50 m
NIVEL MÍNIMO DE LAGUNA (FONDO DE BATIMETRÍA)	4413.74 msnm.
VOLUMEN DE AGUA	228.238.526.54 m <sup>3</sup>



1. LAS UNIDADES DE LOS PLANOS SE ENCUENTRAN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL, SALVO OTRA INDICACIÓN.
2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (msnm).
3. LA CUADRÍCULA ESTA REFERENCIADA AL DATUM WGS 84, SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18S.
4. LA SUPERFICIE EXISTENTE ES EL RESULTADO DE LA FOTOGRAMETRÍA Y BATIMETRÍA, REALIZADA EN MARZO, 2023.

PLANO N°	PLANOS DE REFERENCIA	N° REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DIS.	DIB.	REV.	APR.	CLIENT.
DWG-2023-0004-CP	PLANO DE SECCIONES 13 - 13' A 21 - 21'	.	.	.	.	.	.	.	.
DWG-2023-0003-CP	PLANO DE SECCIONES 1 - 1' A 12 - 12'	.	.	.	.	.	.	.	.
DWG-2023-0001-CP	PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL Y UBICACIÓN	A	23-03-17	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	CCR	CCR	AO	HG	.

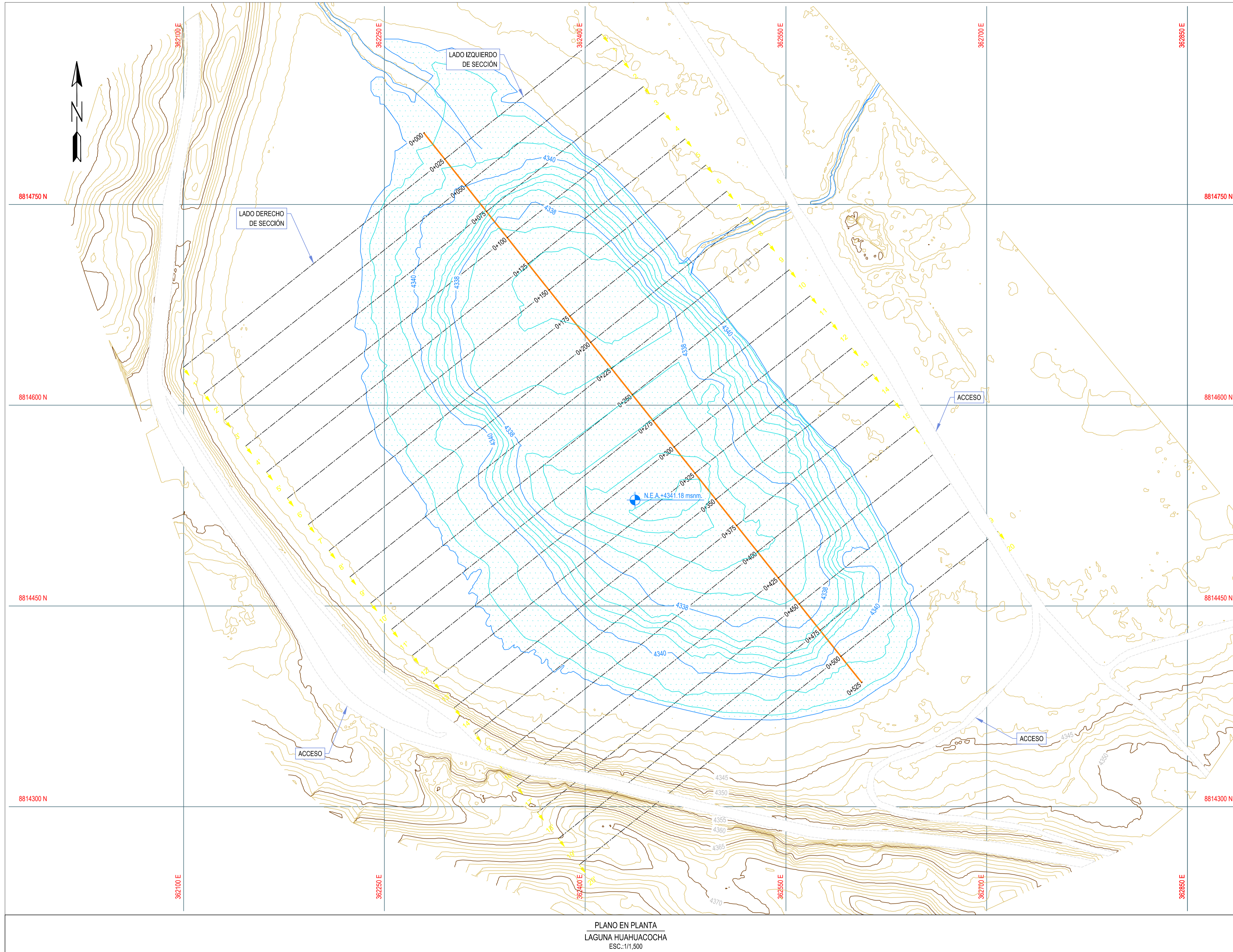
**CONFIDENCIAL:**  
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA SON PROPIEDAD DE WSP. SU USO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN ESTA PROHIBIDA. CUALQUIER MODIFICACIÓN O ADAPTACIÓN DE LOS DATOS EN EL PLANO SERÁ RESPONSABILIDAD EXCLUSIVA DEL USUARIO SIN NINGUNA RESPONSABILIDAD LEGAL DE WSP.

APROBACIÓN		FECHA	FIRMA	NOMBRES		FECHA	FIRMA
CLIENTE:				DISEÑADO POR:	CCR	23-03-17	
GTE. ING.:				DIBUJADO POR:	CCR	23-03-17	
GTE. PROY.:				REVISADO POR:	AO	23-03-17	
				APROBADO POR:	HG	23-03-17	
				GTE. ING.:	.		

LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO DE 7 LAGUNAS EN EL SECTOR DE CERRO DE PASCO			
<b>LAGUNA ACOCOCHA PLANTA</b>			
COD. PROY. CLIENTE:	PLANO CLIENTE N°:	ESCALA:	REV.:
-	-	INDICADA	A

DWG-2023-0018-CP

**c. Plano a escala real – Huahuacocha**



PLANO LLAVE  
ESC. 1:500,000

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE, TERRENO EXISTENTE
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE, BATIMETRÍA
	ACCESO EXISTENTE
	LÍNEA DE SECCIÓN BATIMÉTRICA @ 20 m.
	LÍNEA DE EJE DE SECCIONES
	ESPEJO DE AGUA

CUADRO DE DATOS LAGUNA HUAHUACOCHA	
DESCRIPCIÓN	VALOR
NIVEL MÁXIMO DE LAGUNA (ESPEJO DE AGUA)	4341.18 msnm.
PROFUNDIDAD MÁXIMA DE LAGUNA (H)	6.14 m
NIVEL MÍNIMO DE LAGUNA (FONDO DE BATIMETRÍA)	4335.04 msnm.
VOLUMEN DE AGUA	311,068.39 m <sup>3</sup>



1. LAS UNIDADES DE LOS PLANOS SE ENCUENTRAN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL, SALVO OTRA INDICACIÓN.
2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (msnm).
3. LA CUADRÍCULA ESTA REFERENCIADA AL DATUM WGS 84, SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18S.
4. LA SUPERFICIE EXISTENTE ES EL RESULTADO DE LA FOTOGRAMETRÍA Y BATIMETRÍA, REALIZADA EN FEBRERO, 2023.

NOTAS GENERALES	PLANO N°	PLANOS DE REFERENCIA	N° REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DIS.	DIB.	REV.	APR.	CLIENTE
	DWG-2023-0010-CP	PLANO DE SECCIONES 13 - 13' A 20 - 20'								
	DWG-2023-0009-CP	PLANO DE SECCIONES 1 - 1' A 12 - 12'								
	DWG-2023-0001-CP	PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL Y UBICACIÓN	A	23-04-17	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA		CCR	CCR	AC	AC

CONFIDENCIAL:  
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA SON PROPIEDAD DE WSP. SU USO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN ESTA PROHIBIDA. CUALQUIER MODIFICACIÓN O ADAPTACIÓN DE LOS DATOS EN EL PLANO SERÁ RESPONSABILIDAD EXCLUSIVA DEL USUARIO SIN NINGUNA RESPONSABILIDAD LEGAL DE WSP.

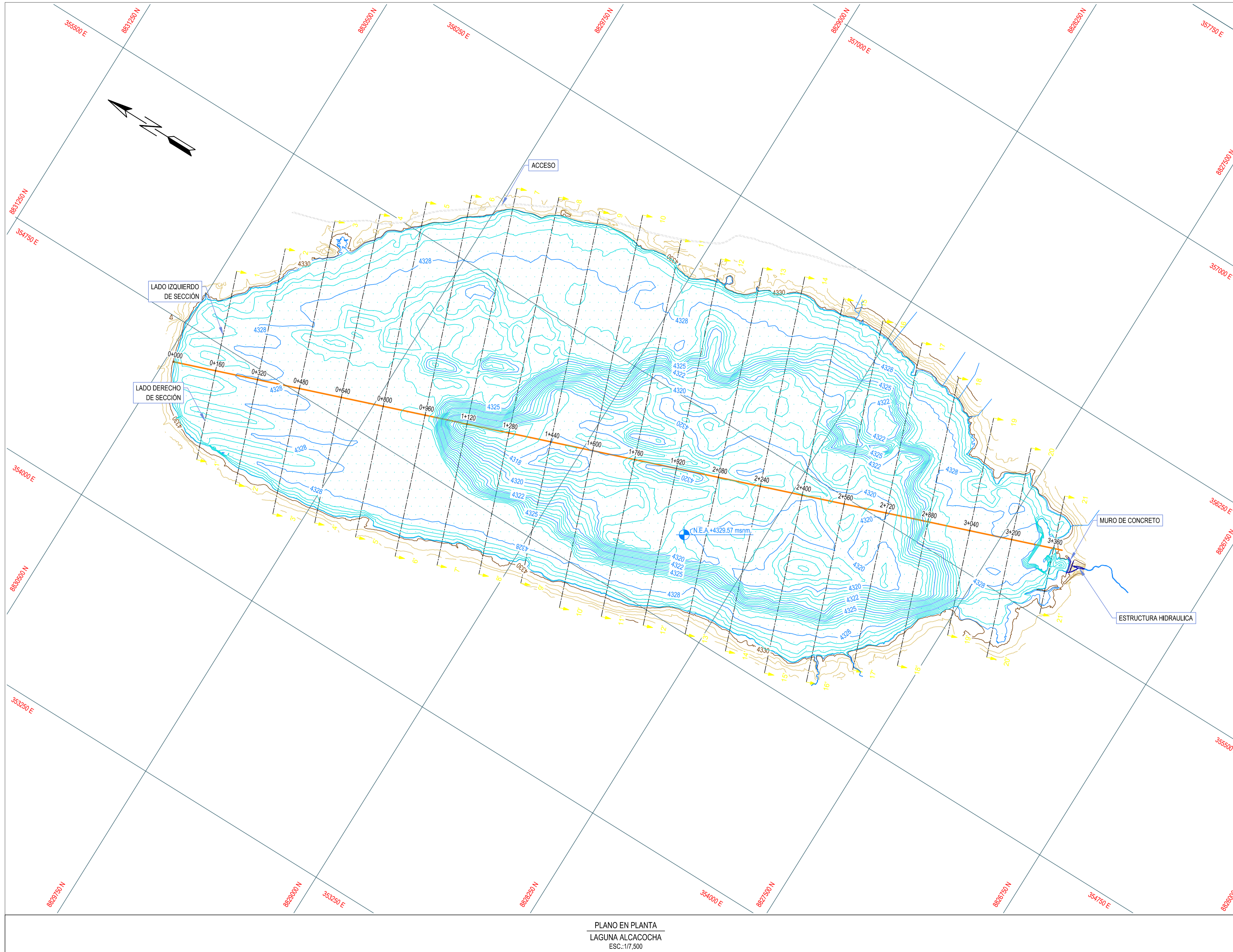
APROBACIÓN		FECHA	FIRMA	NOMBRES		FECHA	FIRMA
CLIENTE:				DISEÑADO POR:	CCR	23-03-17	
GTE. ING.:				DIBUJADO POR:	CCR	23-03-17	
GTE. PROY.:				REVISADO POR:	AC	23-03-17	
				APROBADO POR:	AC	23-04-17	
				GTE. ING.:			

LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO DE 7 LAGUNAS EN EL SECTOR DE CERRO DE PASCO			
<b>LAGUNA HUAHUACOCHA PLANTA</b>			
COD. PROY. CLIENTE:	WSP Perú	PLANO CLIENTE N°:	BAT-WSP Perú S-No.2 -AMB-Huahuacoch-8-RevA
ESCALA:	INDICADA	REV.:	

DWG-2023-008-CP

**d. Plano a escala real - Alcacocho**





PLANO EN PLANTA  
LAGUNA ALCACOCHA  
ESC.: 1/7,500



PLANO LLAVE  
ESC. 1:500,000

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE, TERRENO EXISTENTE
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE, BATIMETRÍA
	ACCESO EXISTENTE
	LÍNEA DE SECCIÓN BATIMÉTRICA @ 160 m.
	LÍNEA DE EJE DE SECCIONES
	ESPEJO DE AGUA
	MANZANAS, CASAS

CUADRO DE DATOS LAGUNA ALCACOCHA	
DESCRIPCIÓN	VALOR
NIVEL MÁXIMO DE LAGUNA (ESPEJO DE AGUA)	4329.57 msnm.
PROFUNDIDAD MÁXIMA DE LAGUNA (H)	14.76 m
NIVEL MÍNIMO DE LAGUNA (FONDO DE BATIMETRÍA)	4314.81 msnm.
VOLUMEN DE AGUA	16,442,849.48 m <sup>3</sup>



1. LAS UNIDADES DE LOS PLANOS SE ENCUENTRAN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL, SALVO OTRA INDICACIÓN.
2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (msnm).
3. LA CUADRÍCULA ESTA REFERENCIADA AL DATUM WGS 84, SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18S.
4. LA SUPERFICIE EXISTENTE ES EL RESULTADO DE LA FOTOGRAMETRÍA Y BATIMETRÍA, REALIZADA EN MARZO, 2023.

NOTAS GENERALES	PLANO N°	PLANOS DE REFERENCIA	N° REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DIS.	DIB.	REV.	APR.	CLIENT.
	DWG-2023-0014-CP	LAGUNA ALCACOCHA SECCIONES 17 - 17' A 21 - 21'								
	DWG-2023-0013-CP	LAGUNA ALCACOCHA SECCIONES 9 - 9' A 16 - 16'								
	DWG-2023-0012-CP	LAGUNA ALCACOCHA SECCIONES 1 - 1' A 8 - 8'								
	DWG-2023-0001-CP	PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL Y UBICACIÓN	A	23-04-17	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	CCR	CCR	AC	AC	

CONFIDENCIAL:  
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA SON PROPIEDAD DE ENERTEK GLOBAL. SU USO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN ESTÁ PROHIBIDO. CUALQUIER MODIFICACIÓN O ADAPTACIÓN DE LOS DATOS EN EL PLANO SERÁ RESPONSABILIDAD EXCLUSIVA DEL USUARIO SIN NINGUNA RESPONSABILIDAD LEGAL DE ENERTEK GLOBAL.

APROBACIÓN	FECHA	FIRMA	NOMBRES	FECHA	FIRMA
CLIENTE:			DISEÑADO POR: CCR	23-03-17	
GTE. ING.:			DIBUJADO POR: CCR	23-03-17	
GTE. PROY.:			REVISADO POR: AC	23-03-17	
			APROBADO POR: AC	23-04-17	
			GTE. ING.:		

LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO DE 7 LAGUNAS EN EL SECTOR DE CERRO DE PASCO	
<b>LAGUNA ALCACOCHA PLANTA</b>	
COD. PROY. CLIENTE: <b>WSP Perú</b>	PLANO CLIENTE N°: BAT-WSP Perú S-No.2 -AMB-Alcacocha-11-RevA

COD. PROY. ENERTEK: PLANO ENERTEK N°: DWG-2023-0011-CP

ESCALA: INDICADA

REV: