

ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BASE DE LA SUBCUENCA SHULCAS CORDILLERA HUAYTAPALLANA.



ALEXZANDER SANTIAGO MARTEL
Especialista en Teledetección, SIG y Modelamiento

Contenido

I. RESUMEN EJECUTIVO	6
II. INTRODUCCIÓN	7
III. OBJETIVO	7
IV. METODOLOGÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA EN LA SUBCUENCA SHULCAS.	7
4.1. FOTOGRAMÉTRIA.....	7
4.1.1. Registro de información fotogramétrico.....	8
4.1.2. Procesamiento de la información fotogramétrico.....	9
a. ALINEACIÓN DE FOTOGRAFÍA	10
b. GENERACIÓN DE NUBE DE PUNTOS DENSA.....	11
c. GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN Y ORTOMOSAICO.....	11
4.2. GENEARACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA.....	12
4.2.1. Corrección de la información cartográfica.....	12
V. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	15
5.1. Análisis cartográfico del área peri-glaciar Lazohuntay.....	15
5.2. Análisis cartográfico del área peri-glaciar Chuspicocha.....	18
VI. RESULTADOS	21
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
VIII. BIBLIOGRAFÍA	22

Lista de Tablas

Tabla 1. Puntos de muestreo para el análisis de la variación altitudinal del vuelo fotogramétrico (DSM) respecto a la información generada el 2020 por la ODMRC..... 14

Tabla 2. Puntos de muestreo para el análisis de la variación altitudinal entre el DSM y DEM del área peri-glaciar Chuspicocha. 14

Lista de imágenes

Imagen 1. Representación del DSM del área peri-glaciar laguna Chuspicocha (izquierda), DSM área peri-glaciar Laguna de Lazohuntay (derecha)	11
Imagen 2. Ortomosaico área peri-glaciar Chuspicocha (Izquierda), área peri-glaciar Lazohunay (derecha)	12
Imagen 3. Cartografía generada en base a la información fotogramétrica en la subcuenca Shulcas, Laguna Lazohuntay (derecha), laguna Chuspicocha (Izquierda)	12
Imagen 4. Curvas de nivel trabajados en el 2020 (color tenue) y las curvas de nivel detallada obtenida en el trabajo de campo color oscuro, Izquierda (Chuspicocha), derecha (Lazountay) 13	
Imagen 5. Nivel de detalle de la cartografía de la red hídrica trabajada en las áreas de enfoque, imagen de la izquierda muestra el detalle de la información trabajada por la ODMRC en el año 2020 y la imagen de la derecha muestra la actualización de la red hídrica al año 2021 usando como base información de la tecnología RPAS - Lazohuntay	16
Imagen 6. Curvas de nivel con separación cada 5 metros (izquierda) y curvas de nivel cada 1 metro (derecha) actualizada mediante el trabajo de campo.	17
Imagen 7. Identificación del área de flujo que fue emplazado en el evento de 1969.	17
Imagen 8. Se aprecia la variación de superficie de laguna en relación al primer trabajo desarrollado en el año 2020 (izquierda) tanto para la laguna Ancapahuchanan y Chuspicocha, derecha actualización de la superficie de lagunas al 2021 con ortofotografía.....	18
Imagen 9. Red de drenaje actualizado en el sector del área peri-glaciar de las lagunas Ancapahuachanan y Chuspicocha (derecha) y la red hídrica base inicial trabajada en el año 2020 con información satelital de resolución espacial de 10 metros.....	19
Imagen 10. Análisis de los estudios de registro de área glaciar desde 1962 (Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos), 2009 por la Autoridad Nacional del Agua, 2016 por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña y 2020 por la Oficina Desconcentrada Macro Región Centro – Lima - INAIGEM.....	19
Imagen 11. Análisis del glaciar cubierto y delimitación de la extensión (izquierda), le cual corrobora la existencia del glaciar cubierto es el afloramiento de la masa de hielo (derecha) .	20
Imagen 12. Identificación del material depositado en la parte posterior de la laguna proveniente del glaciar Huaytapallana (Superior derecho) y el flujo de deposito de material que generó con el impacto con la laguna (inferior derecho).....	21

Lista de figura

Figura 1. Ecuación lineal para el ajuste de la información de la superficie de terreno en base al análisis de la variación de los modelos digitales de terreno del área peri-glaciar correspondiente a la laguna Lazohuntay 14

Figura 2. Ecuación lineal para el ajuste de la información de la superficie de terreno en base al análisis de la variación altitudinal entre el DEM y DSM- laguna Chuspicocha..... 14

Figura 3. Actualización de la cartografía base de lagunas, en base a la información espacial menor al metro (derecha) y la primera información obtenida (izquierda) de 10 metros de resolución espacial. 16

Lista de mapas

Mapa 1. Actualización del mapa base de la subcuenca Shullcas. 23

I. RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático está generando grandes cambios a nivel mundial afectando así a la diversidad biológica y el almacenamiento del recurso hídrico, principalmente en los ecosistemas de montaña donde se evidencia la pérdida de área glaciar los cuales son fuente fundamental del recurso agua para la población que se ubica aguas abajo, sea para consumo humano y actividades económicas que se benefician de dicho recurso; el retroceso de las áreas glaciares trae consigo la formación de lagunas que son fuente de almacenamiento del RRHH que también denota peligro para la población, como los evidenciados en eventos históricos ocurridos en la subcuenca Shulcas donde se suscitó eventos de aluvión como el ocurrido en 1969 a consecuencia del rompimiento del dique de la laguna Lazohuntay a consecuencia del movimiento telúrico el cual activo la falla del Huayatapallana, también en el año 1990 se suscita otro evento similar con cambio de escenario esta vez fue la laguna Chuspicocha que generó el aluvión a consecuencia del rompimiento del dique frontal de la laguna a consecuencia de una avalancha proveniente del nevado Huayatapallana

Por los motivos mencionados anteriormente la Oficina Desconcentrada Macro Región Centro que posee como área de trabajo la Cordillera Huayatapallana en específico la Subcuenca Shulcas perteneciente a la Cuenca del Mantaro cuyas aguas abastecen a la ciudad de Huancayo, políticamente ubicado en los distritos de Chilca, El Tambo y Huancayo provincia de Huancayo departamento de Junín. Siendo así que el año 2021 la ODMRC realiza la primera salida de campo en el mes de agosto en el cual se desarrollaron diversas actividades entre ellas el registro de la información para la actualización de la cartografía base del área de interés, con la finalidad de conocer el entorno de trabajo se realizó el vuelo fotogramétrico empleando tecnología RPAS para así realizar la reconstrucción de la información topográfica y visual del terreno como un avance del proyecto que se posee para el 2022 de realizar el levantamiento fotogramétrico del cauce principal desde la cabecera de las cuencas hasta la ciudad de Huancayo con el objetivo de realizar el modelamiento de flujo del área de interés el cual afectaría a las poblaciones de Acopalca, Chamiseria, Pañaspampa y Collur Chico con una población total de 505 habitantes, también se afectaría la zona urbana del Tambo que posee una población de 35 500 habitantes (INEI, 2017).

Es necesario contar con información cartográfica actualizada del entorno el cual sea acorde a la realidad es por ello que en el presente año 2021 la ODMRC realizó la actualización e la base cartográfica de la subcuenca Shulcas con enfoque en la cabecera de cuenca, realizando así la actualización de la base cartográfica de ríos, curvas de nivel, lagunas y glaciares, los cuales brindarán información de calidad como información base para la cuenca para el estudio análisis e interpretación del medio correspondiente a entorno de montaña.

II. INTRODUCCIÓN

La Oficina Desconcentrada Macro Región Centro, Lima perteneciente al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña – INAIGEM, entidad técnica con conocimientos en temas Glaciológicos, riesgos de Origen Glaciar y en Ecosistemas de Montaña, en el presente estudio vio como objetivo actualizar la información cartográfica desarrollada el 2020, el cual se trabajó con información satelital de 10 metros, el cual se actualizará en base al trabajo de campo desarrollado en presente año 2021 en la subcuenca Shulcas, donde se realizó el vuelo aéreo empleando tecnología de Sistema de Aeronave Pilotada Remotamente (RPAS siglas en ingles), el cual fue sobrevolado las áreas peri-glaciares que comprenden las lagunas de Chuspicocha, Lazohuntay y Ancapahuachanan.

El estudio de la cartografía e inspección se concentró en las zonas de Chuspicocha y Lazohuntay, donde se realizó diversas actividades de inspección uno de ellos fue el vuelo fotogramétrico con la finalidad de obtener información detallada del área de interés para conocer el estado situacional del área y como un avance del estudio de riesgos que se tiene programado desarrollar en el área indicada, debido que la laguna Chuspicocha y Lazohuntay poseen antecedentes en cuanto a aluvión los cuales fueron registrados en el año 1990 y 1969 respectivamente los cuales generaron afectaciones a la ciudad de Huancayo (INDECI, 2016). El proyecto que se desarrollará en los años próximos es la evaluación de riesgo para el cual es indispensable contar con información cartográfica detallada del área de interés para el análisis e interpretación del entorno de trabajo, el proyecto consta de diversas etapas y trabajos siendo una de ellas la reconstrucción topográfica del cauce principal proveniente de las lagunas Lazohuntay y Chuspicocha hasta la ciudad de Huancayo, con el objetivo de poseer un modelo topográfico detallado para el modelamiento numérico en los supuestos de eventos extremos que se generen en la cuenca, como también la identificación de las áreas susceptibles empleando como insumo la ortofotografía, es por ello que en el presente año el trabajo inició con recopilación de la información en las cabeceras de la Subcuenca Shulcas. Es así que la información cartográfica es un insumo indispensable como línea base detallada en el área de interés para estudios de riesgo, conservación y/o otros proyectos de interés que se desarrolle en el área.

III. OBJETIVO

- Generar el modelo digital de superficie y ortomosaico de las áreas correspondientes al área peri-glaciar de Lazohuntay y Chuspicocha.
- Actualizar la información cartográfica en las 2 zonas de estudio (área periglacial laguna Chuspicocha y Lazohuntay) en la subcuenca Shulcas.
- Generar el mapa temático actualizado en la subcuenca Shulcas

IV. METODOLOGÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA EN LA SUBCUENCA SHULCAS.

4.1. FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas del objeto fotografiado (Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos). También conocido como la técnica que tiene como objetivo el estudio y la definición de forma precisa de la forma, las dimensiones y/o la posición en el espacio de un objeto, a través de los datos obtenidos de una o varias

fotografías. Una de las principales aplicaciones de la fotogrametría es la topografía ya que permite medir coordenadas en tres dimensiones.

El principio de la fotogrametría es el de la estereoscopia, el cual se realiza el registro del objeto en base a fotografías desde puntos distintos, sin perder de vista el objeto de interés, con el objetivo de realizar el registro de la misma área. Existen dos metodologías según el tipo de estudio, que son la fotogrametría terrestre empleando cámara fotográfica y la fotogrametría aérea que se puede realizar empleando DRONE, Cometa, avionetas u otros medios de transporte aéreo, el cual tiene el mismo fin de realizar la reconstrucción de la superficie de estudio en forma tridimensional (X, Y, Z) para el cual los equipos se apoyan de un sistema de posicionamiento Global de sus siglas en Ingles (GPS)

4.1.1. Registro de información fotogramétrico

El proceso de registro de información conlleva varias etapas previas al vuelo fotogramétrico, que son:

1. Diagnóstico del equipo

Como primer paso antes de realizar un trabajo fotogramétrico empleando un vehículo aéreo es realizar el diagnostico, donde se evalúa la calibración de la cámara y del equipo (IMU), también se realiza la revisión de las partes expuestas del equipo como son las propelas (Hélices), los sensores de proximidad y los rotores. Como medida de prevención se realizan vuelos de prueba antes de realizar el trabajo en el ambiente designado.

2. Análisis del espacio aéreo

Dentro del análisis de espacio aéreo se realiza la actualización de la base de datos de los espacios aéreos restringidos, los cuales no deben ser invadidos por seguridad de las aeronaves comerciales.

3. Análisis de las condiciones meteorológicas

Las condiciones del ambiente en el área de trabajo, se debe de analizar la presencia de racha de vientos, precipitación, tormenta eléctrica, los cuales pueden dañar al equipo y perjudicar las actividades programadas que se posee. Es preciso mencionar que en condiciones adversas de lluvia y vientos fuertes no se puede realizar el vuelo, el cual el piloto está en la capacidad de evaluar y decidir el realizar o no el trabajo.

4. Evaluación de la perturbación electromagnética terrestre.

Conocida también como interferencia de radiofrecuencia, que es la perturbación que ocurre en cualquier circuito, componente o sistema electrónico causada por una fuente de radiación electromagnética externa o interna. Debido que el equipo fotogramétrico trabaja con radiofrecuencia se debe evitar realizar los vuelos en las áreas donde se presentan factores de perturbación como son las antenas de telecomunicación, equipos electrónicos muy próximos al equipo fotogramétrico, también se debe de evaluar la perturbación electromagnética terrestre, el cual influye en el desempeño del equipo debido que afecta la comunicación, navegación, las aeronaves pilotadas de forma remota son vulnerables a los impactos del estado del campo geomagnético de la Tierra, que puede causar la pérdida del equipo si la perturbación es elevada.

Una vez tomado las previsiones antes del vuelo fotogramétrico, se puede realizar el despegue del equipo considerando y evaluando las interferencias físicas en el terreno (Cerros) con el objetivo de evitar la colisión. El registro de la información se considera con los niveles de superposición entre fotografías que debe ser superior al 70 % tanto en lateral y longitudinal, para así obtener el registro del área de interés con el mayor número de traslape y evitar vacíos de información (Gaps) (Ilustración 1)

El registro de la fotografía para el caso de la topografía, se debe realizar con enfoque perpendicular a la superficie terrestre y a una altura constante en lo posible, para evitar diferencias en la resolución espacial de las imágenes.

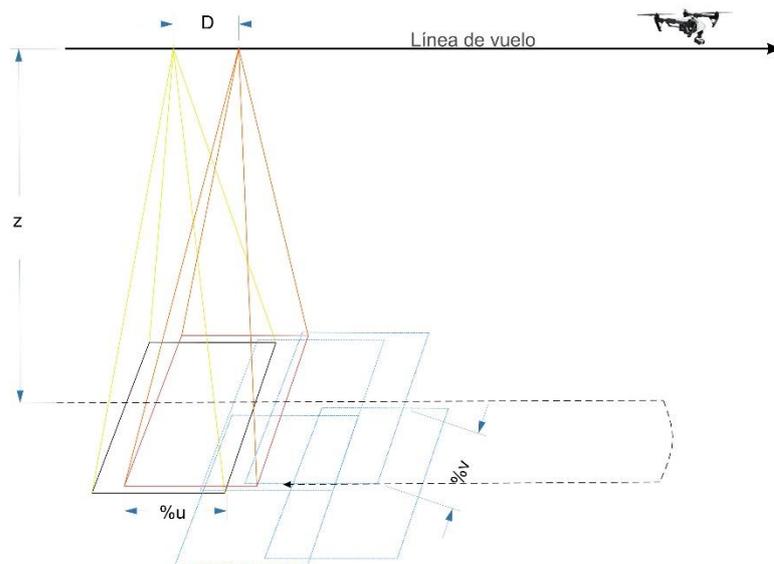


Ilustración 1. Consideraciones para el registro fotogramétrico empleando RPAS

Donde:

Z: Altura de vuelo respecto a la superficie

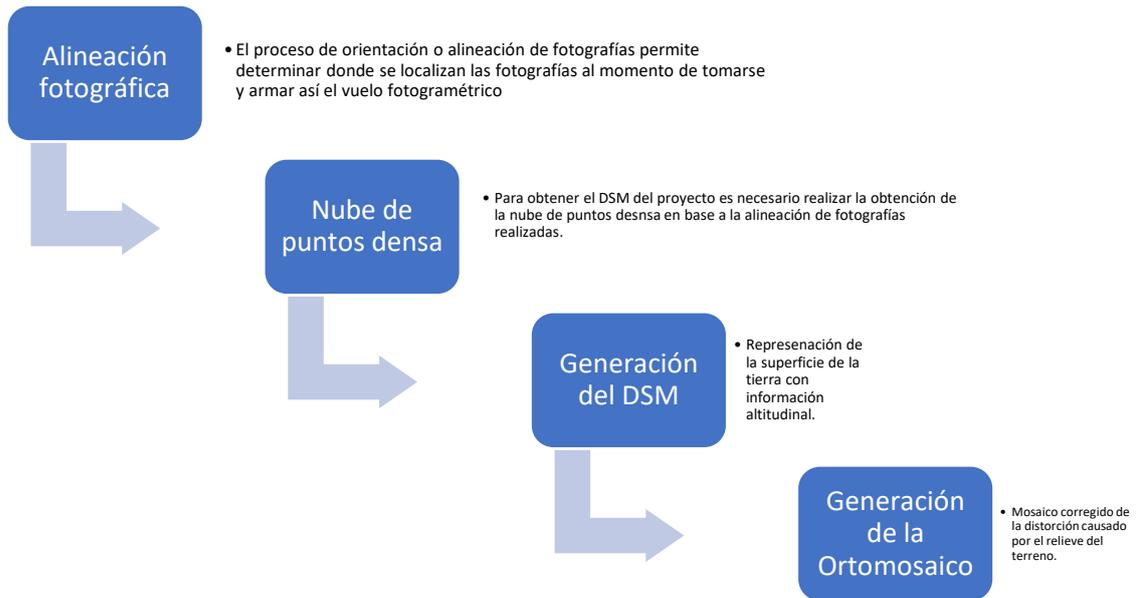
D: Distancia entre punto de registro fotográfico

%u: Porcentaje de superposición longitudinal

%v: Porcentaje de superposición lateral

4.1.2. Procesamiento de la información fotogramétrica

El procesamiento de la información fotogramétrica, consistió en la obtención del Modelo Digital de Superficie y la Ortofotografía, para el cual se empleó el software de procesamiento fotogramétrico (Agisoft MetaShape), donde emplea un proceso estándar de procesamiento como se describe a continuación.



a. ALINEACIÓN DE FOTOGRAFÍA

La posición donde fue tomada la fotografía en la escena se define por los parámetros de orientación interior y exterior, los parámetros de orientación interior incluyen la distancia focal, las coordenadas del punto principal de la fotografía y los coeficientes de distorsión del lente

Los parámetros de orientación exterior definen la ubicación geográfica de la cámara al momento de la captura. Se estiman durante el proceso de alineación y constan de tres componentes de traslación y tres ángulos de rotación de Euler. Generalmente, los drones cuentan con un sistema GNSS que permite incluir información adicional para determinar la orientación exterior.

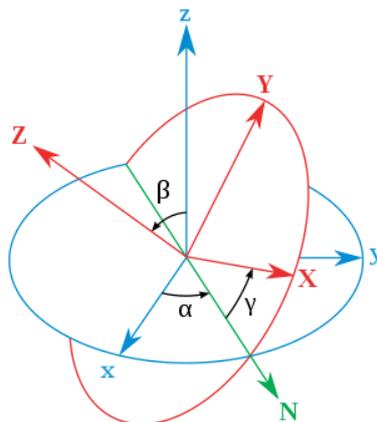


Ilustración 2. Representación cartesiana de los ángulos de Euler. El sistema XYZ nativo se muestra en azul, mientras que en rojo se muestra el sistema rotado definido por los ángulos en negro.

El cálculo de los parámetros interiores y exteriores de las fotografías se realiza durante la aéreo triangulación, mediante ajustes de bloques basado en ecuaciones de colinealidad. Este procedimiento se fundamenta en los procesos fotogramétricos tradicionales. La aéreo triangulación tiene por objetivo ajustar los puntos de liga y

correlacionarlos a los instrumentos aerotransportados en el dron de manera que sean congruentes entre sí, arrojando mediciones más confiables.

b. GENERACIÓN DE NUBE DE PUNTOS DENSA

Esta etapa consiste en extraer una mayor cantidad de puntos 3D de la escena que complemente la nube de puntos dispersa generada en la etapa anterior. Las estrategias empleadas en esta etapa hacen parte de lo que se considera como técnicas de correlación de múltiples imágenes o Multi-image matching.



Ilustración 3. Nube de puntos dispersa (izquierda) y nube de puntos densa (derecha), software Agisoft metashape

c. GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN Y ORTOMOSAICO

Es la etapa final en el procesamiento de imágenes registradas con sistemas RPAS, que consiste en generar un modelo digital de elevaciones o de superficie (DSM) y un ortomosaico de la escena registrada. Para la generación de estos modelos la nube de puntos debe pasar por una triangulación y rasterización. Una estrategia empleada es la triangulación de Delaunay, en la que se genera una red irregular de triángulos (TIN) de la que son interpoladas los valores de altura para la generación de un archivo raster.

DSM

El modelo digital de superficie (DSM) representa la información de altura de la superficie de la Tierra (Z) asociada a un sistema de referencia global, donde se posee información de los elementos registrados en la escena, esto quiere decir que en un DSM se registra información de las alturas de edificaciones, vegetación, puente y demás objetos presentes en la superficie, a diferencia de un MDT, el cual representa información de la superficie de la tierra sin considerar los objetos presentes en ella.

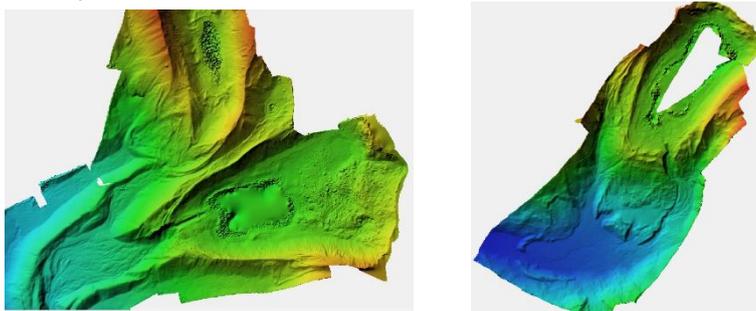


Imagen 1. Representación del DSM del área peri-glaciar laguna Chuspicocha (izquierda), DSM área peri-glaciar Laguna de Lazohuntay (derecha)

ORTOMOSAICO

Un mosaico es la representación de un conjunto de imágenes registradas desde una o varias cámaras, los cuales presentan áreas de traslape entre sí, los cuales son unidas y combinadas en una sola imagen para ampliar el rango de visión de la escena (Cheng et al., 2007). Cuando el mosaico es corregido de las distorsiones causadas por el relieve del terreno y los objetos en él, se denomina ortomosaico.

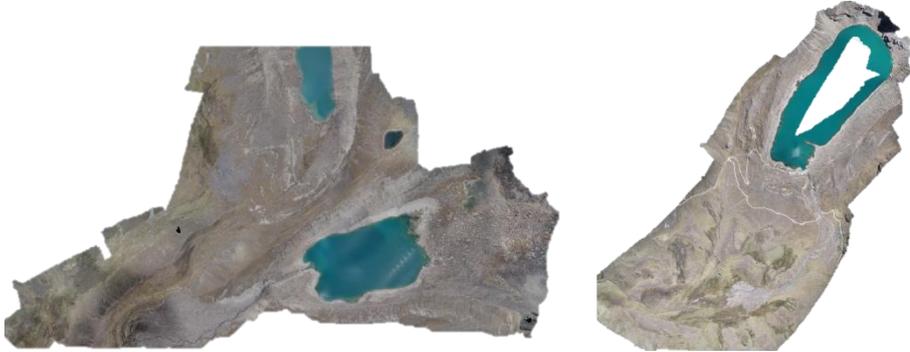


Imagen 2. Ortomosaico área peri-glaciar Chuspicocha (Izquierda), área peri-glaciar Lazohunay (derecha)

4.2. GENERACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

El proceso de generación de la información consiste en usar la información obtenida de la fotogrametría, DSM y ortofotografía, para la generación de información vectorial en base al análisis visual (ortomosaico) y la obtención de insumos del DSM.

Obteniendo así, en función de la interpretación del ortomosaico las informaciones vectoriales de Lagunas, área de desprendimiento, flujo de evento de 1969 y 1990, red hídrica, glaciar, entre otros. Empleando como insumo del DSM, se obtiene la topografía (Curvas de nivel), análisis de las características topográficas del área de estudio (Pendiente, orientación, otros).

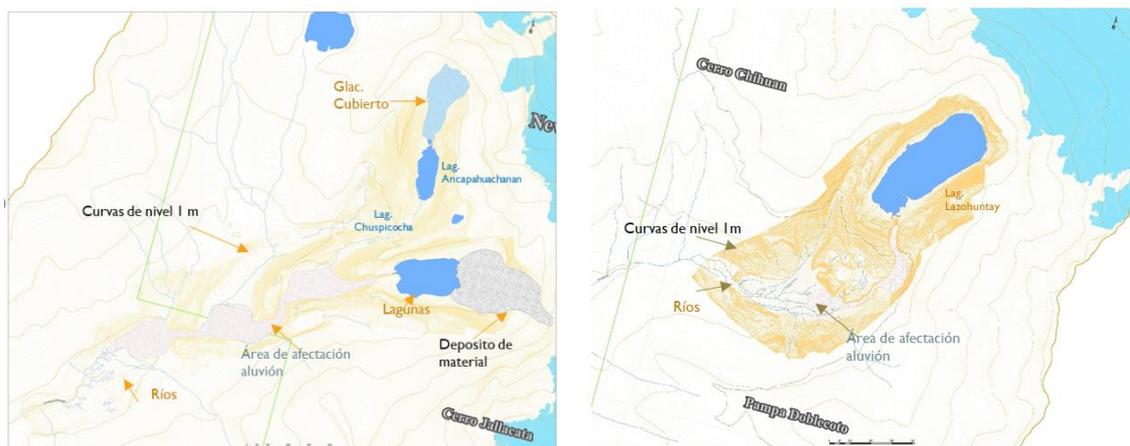


Imagen 3. Cartografía generada en base a la información fotogramétrica en la subcuenca Shulcas, Laguna Lazohunay (derecha), laguna Chuspicocha (Izquierda)

4.2.1. Corrección de la información cartográfica

La corrección de la información que se desarrolló fue en base a la cartografía detallada que se posee del ámbito de trabajo, el cual fue desarrollado en el año 2020 a una escala de trabajo de 1:25000, para el cual se empleó información satelital de resolución espacial de 10 metros, mediante el cual se generó la base cartográfica, al año 2021 la ODMRC realizó el trabajo de campo para validar la

información cartográfica obtenida en el año 2020, donde se empleó tecnología RPAS para obtener información de alta calidad y de resolución espacial menor al metro, mediante el cual se realizó la constatación de la data del año 2020, en su mayoría poseyendo una gran aproximación en cuanto a la cartografía generada en la primera etapa. Los grandes cambios en la cartografía fueron en la topografía, debido que la información que se empleó fueron información de resolución espacial mayor a 5 metros mientras que con el uso de la tecnología RPAS se logró obtener curvas a un metro de separación, además el nivel de posicionamiento (X,Y) de la información RPAS respecto a la base cartográfica que se posee son de gran precisión, teniendo incertidumbre respecto a la información vertical o altitudinal, donde se halló gran variación altitudinal el cual se realizó el análisis y corrección respectiva, como se detalla a continuación.

Precisión en las curvas de nivel (Laguna Chuspicocha y Lazohuntay)

En el área de trabajo, tanto en el entorno de la laguna Chuspicocha y Lazohuntay, se posee curvas de nivel cada 5 metros, los cuales no coinciden con la información que se obtuvo empleando tecnología RPAS, para ello se realizó el análisis de la información cartográfica (DEM y DSM), mediante el cual se realizó la calibración de la información cartográfica obtenida del DRONE, que se posee error en altitud.

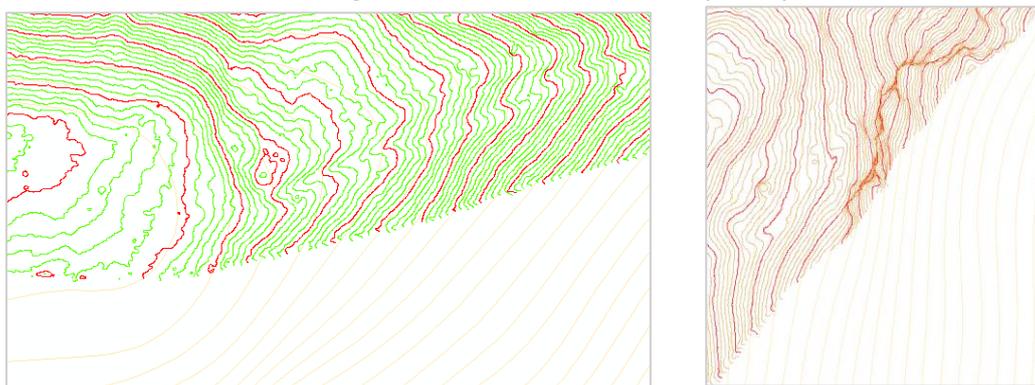


Imagen 4. Curvas de nivel trabajados en el 2020 (color tenue) y las curvas de nivel detallada obtenida en el trabajo de campo color oscuro, Izquierda (Chuspicocha), derecha (Lazountay)

Error en altitud y corrección.

El proceso de corrección altitudinal, consistió en el análisis de la información cartográfica base del Modelo Digital de Terreno (DEM) el cual se trabajó y empleó en el año 2020, dicha información se revisó en base al vuelo fotogramétrico obtenido del área de trabajo, para el cual se distribuyó puntos de control aleatorio en el área de interés, para el cual se realizará el análisis de desplazamiento vertical.

Corregido la información correspondiente al modelo digital de superficie, en base al DSM corregido se generó las curvas de nivel con una separación de un metro, los cuales se realizaron el emparejamiento de forma manual y sistemática con la base cartográfica de curvas de nivel cada 5 metros generados en el año 2020 por la ODMRC, obteniendo así un producto cartográfico actualizado de las áreas de intervención cabecera de cuenca en base a la tecnología RPAS.

Tabla 1. Puntos de muestreo para el análisis de la variación altitudinal del vuelo fotogramétrico (DSM) respecto a la información generada el 2020 por la ODMRC

Área	Lazohuntay		
	Altitud (DEM 5m)	Altitud (DSM)	Diferencia (H)
Lazohuntay	4722.92	4383.54	339.38
Lazohuntay	4751.2	4407.4	343.8
Lazohuntay	4682.5	4347.15	335.35
Lazohuntay	4723.72	4383.11	340.61
Lazohuntay	4693.91	4357.54	336.37
Lazohuntay	4686.7	4351.05	335.65
Lazohuntay	4716.34	4381.02	335.32
Lazohuntay	4693.72	4361.52	332.2
Lazohuntay	4685.04	4354.86	330.18
Lazohuntay	4701.87	4365.99	335.88
Lazohuntay	4686.4	4354.83	331.57
Lazohuntay	4621.15	4294.84	326.31
Lazohuntay	4634.41	4302.79	331.62
Lazohuntay	4679.32	4350.06	329.26
Lazohuntay	4625.19	4297.83	327.36
Lazohuntay	4609.07	4279.01	330.06
Lazohuntay	4566.08	4237.89	328.19
Lazohuntay	4547.38	4222.73	324.65
Lazohuntay	4605.21	4280.33	324.88
Lazohuntay	4516.21	4196.51	319.7
Lazohuntay	4530.88	4210.76	320.12
Lazohuntay	4528.75	4207.44	321.31
Lazohuntay	4585.65	4264.5	321.15
Lazohuntay	4593.56	4275.65	317.91

Tabla 2. Puntos de muestreo para el análisis de la variación altitudinal entre el DSM y DEM del área peri-glaciar Chuspicocha.

Área	Chuspicocha		
	Altitud (DEM 5m)	Altitud (DSM)	Diferencia (H)
Chuspicocha	4784.73	4435.39	349.34
Chuspicocha	4843.78	4496.85	346.93
Chuspicocha	4734.83	4393.54	341.29
Chuspicocha	4723.55	4398.02	325.53
Chuspicocha	4679.92	4354.69	325.23
Chuspicocha	4581.4	4252.62	328.78
Chuspicocha	4564.55	4231.63	332.92

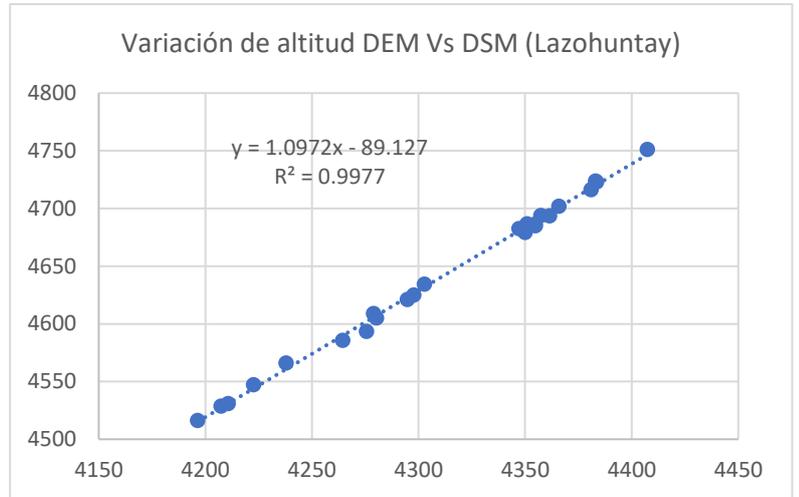


Figura 1. Ecuación lineal para el ajuste de la información de la superficie de terreno en base al análisis de la variación de los modelos digitales de terreno del área peri-glaciar correspondiente a la laguna Lazohuntay

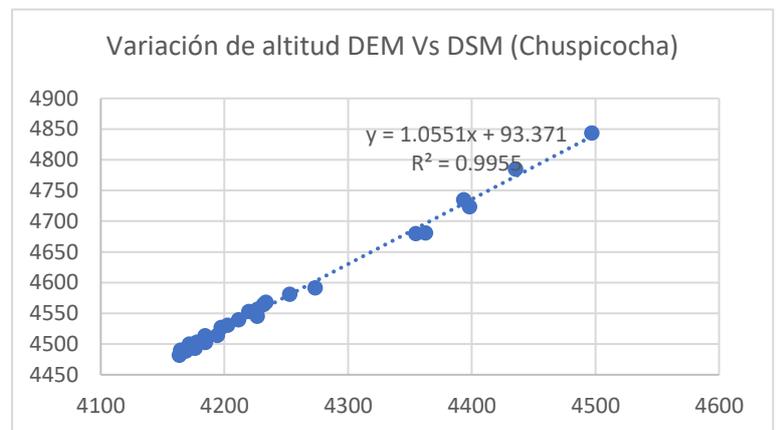


Figura 2. Ecuación lineal para el ajuste de la información de la superficie de terreno en base al análisis de la variación altitudinal entre el DEM y DSM-laguna Chuspicocha

Chuspicocha	4680.77	4362.48	318.29
Chuspicocha	4556.9	4226.69	330.21
Chuspicocha	4553.25	4219.53	333.72
Chuspicocha	4539.53	4211.3	328.23
Chuspicocha	4591.68	4273.31	318.37
Chuspicocha	4568.11	4233.51	334.6
Chuspicocha	4530.87	4202.38	328.49
Chuspicocha	4513.34	4184.28	329.06
Chuspicocha	4545.15	4226.49	318.66
Chuspicocha	4527.03	4197.39	329.64
Chuspicocha	4499.87	4175.46	324.41
Chuspicocha	4514.23	4194.28	319.95
Chuspicocha	4499.89	4171.55	328.34
Chuspicocha	4503.19	4177.79	325.4
Chuspicocha	4490.44	4168.88	321.56
Chuspicocha	4499.05	4173.86	325.19
Chuspicocha	4493.95	4175.46	318.49
Chuspicocha	4490.36	4164.37	325.99
Chuspicocha	4481.65	4163.48	318.17
Chuspicocha	4488.79	4168.68	320.11
Chuspicocha	4493.39	4176.22	317.17
Chuspicocha	4502.66	4184.63	318.03

V. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La información del presente estudio corresponde a la subcuenca Shulcas, perteneciente a la Cuenca del Mantaro, ubicado en el Departamento de Junín, provincia de Huancayo distritos de Huancayo y el Tambo.

5.1. Análisis cartográfico del área peri-glaciar Lazohuntay

En el área peri-glaciar, donde se emplaza la laguna Lazohuntay, se realizó un vuelo aéreo empleando tecnología RPAS, donde se logró sobrevolar un área de 155.56 hectáreas, valorizado en aproximadamente en 6 222 dólares americanos, los trabajos en alta montaña tienen una valorización de 40 dólares por hectárea por la dificultad y complejidad que acarrea el área de trabajo. En el trabajo desarrollado se logró obtener los insumos principales después del procesamiento y corrección de la información, como se describe a continuación.

Laguna; en el área de trabajo se delimitó el área de la laguna Lazohuntay empleando la información fotogramétrica correspondiente al ortomosaico de resolución espacial menor al metro, donde se delimitó el cuerpo de la laguna obteniendo un ajuste en la geometría y el área respecto al registrado en el trabajo inicial que se realizó mediante imagen satelital de resolución espacial de 10 metros.

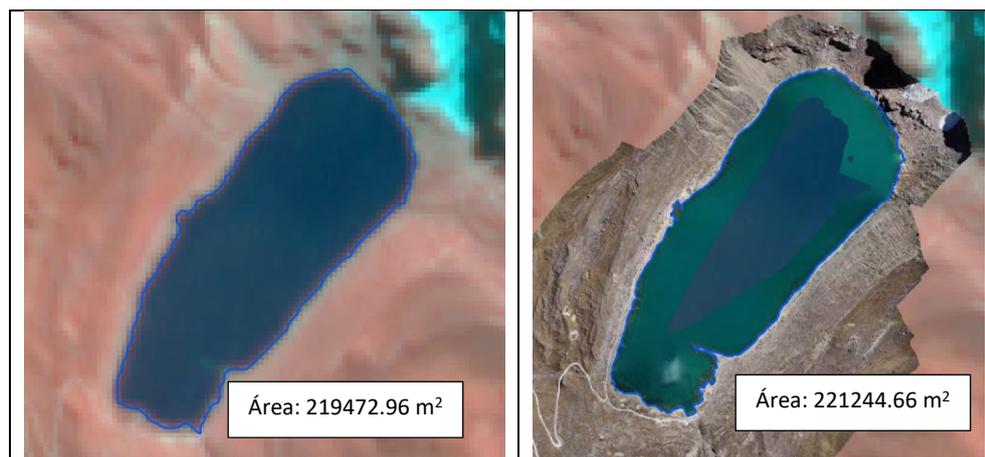


Figura 3. Actualización de la cartografía base de lagunas, en base a la información espacial menor al metro (derecha) y la primera información obtenida (izquierda) de 10 metros de resolución espacial.

Red Hídrica; Conjuntos de ríos y otras corrientes permanentes o intermitentes de agua que se localizan en una determinada área, en el presente estudio se realizó el análisis de la actualización de la red hídrica de la zona peri-glaciar colindante a la laguna Lazohuntay, el cual se desarrolló empleando como base de actualización la ortofotografía para realizar una delimitación detallada del flujo hídrico y el registro de las principales redes de aporte hídrico.

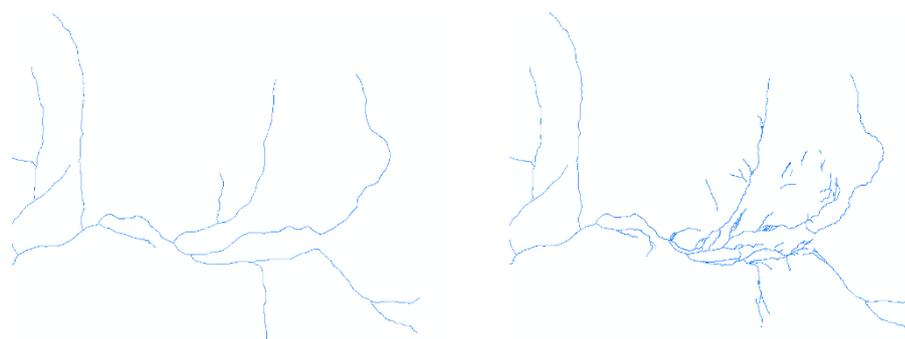


Imagen 5. Nivel de detalle de la cartografía de la red hídrica trabajada en las áreas de enfoque, imagen de la izquierda muestra el detalle de la información trabajada por la ODMRC en el año 2020 y la imagen de la derecha muestra la actualización de la red hídrica al año 2021 usando como base información de la tecnología RPAS - Lazohuntay

Curvas de nivel: Una curva de nivel es una línea dibujada en un mapa o plano que conecta todos los puntos que tienen la misma altura con respecto a un plano de referencia, la información de la curva de nivel se obtiene por diversos métodos que es el trabajo topográfico, imágenes estéreo, modelos digitales de terreno y modelos digitales de superficie, en el trabajo desarrollado por la ODMRC en el presente año 2021, se realizó el uso de la tecnología RPAS por su precisión y por el nivel de resolución espacial que se requiere contar del área de estudio, obteniendo así un modelo digital de superficie a una resolución especial menor a 1 metro, mediante el cual se generó la información topográfica del entorno de interés, donde realizó la corrección en vertical empleando la ecuación propuesta en la Tabla 2, para luego realizar el ajuste manual mediante el acoplamiento de la información base de 5 metros a la información detallada de 1 metro de separación entre curvas,

para el cual se empleó software de información geográfica para reconstruir las curvas de nivel con la información obtenida.

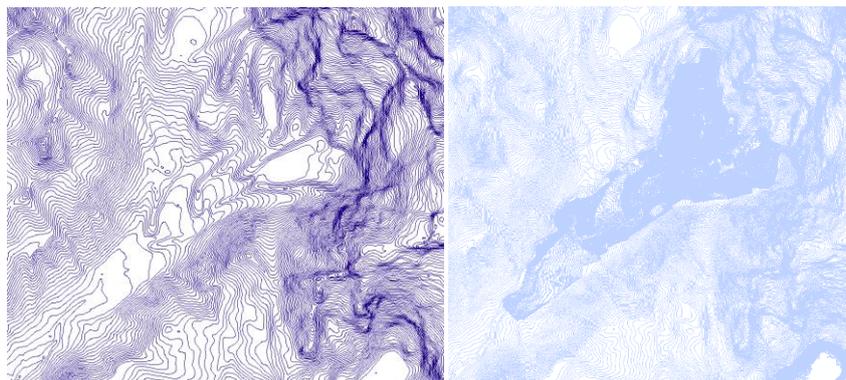


Imagen 6. Curvas de nivel con separación cada 5 metros (izquierda) y curvas de nivel cada 1 metro (derecha) actualizada mediante el trabajo de campo.

Área de depósito de material: En el año 1969 la laguna Lazohuntay sufrió un desprendimiento a consecuencia de una falla en el dique de la laguna por efecto de un sismo el cual generó un aluvión que afectó a la ciudad de Huancayo (INDECI, 2016), a la actualidad la ciudad de Huancayo creció en expansión urbana y poblacional los mismo que se encuentran asentados en el cono de aluvión, exponiéndose así a un evento similar o de mayor magnitud.

Durante el trabajo de campo se logró registrar el área afectado en la cabecera de cuenca el cual fue moldeado por el aluvión, que además se poseen restos de material depositado por el aluvión.

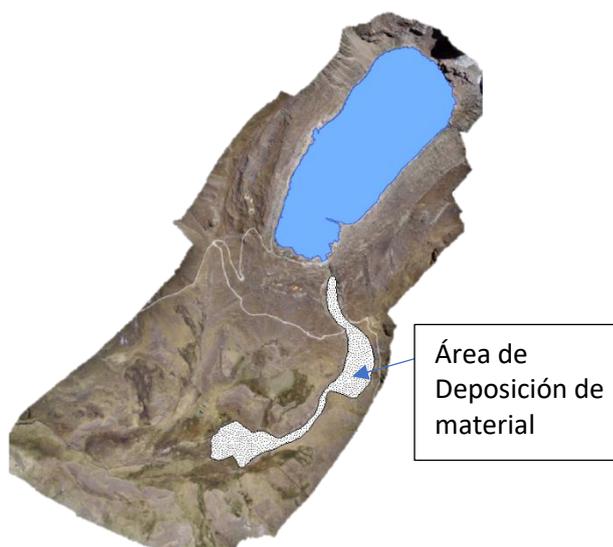


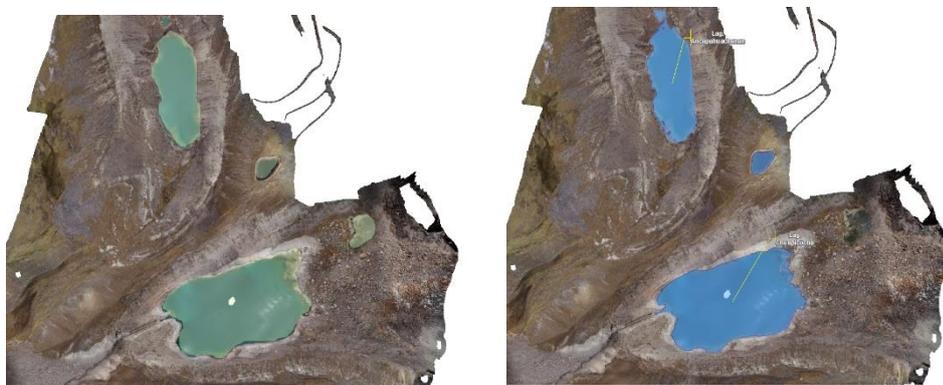
Imagen 7. Identificación del área de flujo que fue emplazado en el evento de 1969.

Como se aprecia en la Imagen 7, el aluvión ocurrido en 1969 a consecuencia del fallo del dique de la laguna a consecuencia del sismo, dejó una huella marcada de la intensidad del evento el cual se aprecia hasta la actualidad pero no en todas sus dimensiones, esta interpretación y análisis apoya la gran resolución espacial de la imagen que se obtiene con la tecnología RPAS. Siendo así que el área de deposición identificada tiene una extensión de 57114.94 m².

5.2. Análisis cartográfico del área peri-glaciar Chuspicocha

En el área peri-glaciar, donde se emplazan las lagunas Chuspicocha y Ancapahuachanan, se realizó el vuelo aéreo empleando tecnología RPAS que tuvo una duración de 3 días, donde se logró sobrevolar un área de 234.31 hectáreas, valorizado en 9 372 dólares americanos. Mediante la información fotogramétrica se logró actualizar la información cartográfica de este entorno correspondiente a la red hídrica, curvas de nivel, depósito del flujo de 1990, glaciar, entre otros, los cuales se describen líneas abajo.

Laguna; en el área de trabajo se delimitó el área de la laguna Chuspicocha y Ancapahuachanan empleando la información fotogramétrica correspondiente al ortomosaico de resolución espacial menor al metro, donde se delimitó el cuerpo de la laguna obteniendo un ajuste en la geometría y el área respecto al registrado en el trabajo inicial que se realizó mediante imagen satelital de resolución espacial de 10 metros.



Área de lagunas:

Ancapahuachanan: 33312.28 m²
Chuspicocha: 89660.31 m²

Área de lagunas:

Ancapahuachanan: 34920.62 m²
Chuspicocha: 82531.79 m²

Imagen 8. Se aprecia la variación de superficie de laguna en relación al primer trabajo desarrollado en el año 2020 (izquierda) tanto para la laguna Ancapahuachanan y Chuspicocha, derecha actualización de la superficie de lagunas al 2021 con ortofotografía.

Como se parecía en la Imagen 8 en el año 2020 que se obtuvo las áreas de laguna se aprecia una sobre estimación que no difiere en gran medida de la superficie que se obtuvo en el año 2021, esta diferencia es por la resolución espacial de las imágenes dado que en el año 2020 las imágenes fueron de resolución especial de 10 metros, mientras que en el presente año se realizó al actualización con información aérea de resolución espacial menor a un metro.

Red Hídrica: Conjuntos de ríos y otras corrientes permanentes o intermitentes de agua que se localizan en una determinada área, en el presente estudio se realizó el análisis de la actualización de la red hídrica de la zona peri-glaciar colindante a la laguna Chuspicocha y Ancapahuachanan, para el cual se usó como base de actualización la ortofotografía obtenida con el RPAS, mediante el cual se realizó la delimitación detallada del flujo hídrico y el registro de las principales redes de aporte hídrico.



Imagen 9. Red de drenaje actualizado en el sector del área peri-glaciar de las lagunas Ancapahuachanan y Chuspicocha (derecha) y la red hídrica base inicial trabajada en el año 2020 con información satelital de resolución espacial de 10 metros.

Como se aprecia en la imagen el nivel de detalle que se logro en el área de trabajo es en base a la resolución de las imágenes obtenidas del DRONE, el nivel de trabajo que se desarrollo es a una escala de trabajo 1:500 a diferencia del trabajo desarrollado en el año 2020 que fue a una escala de 1:15 000 y publicado a escala 1:25 000. Es por el nivel de escala de trabajo en gran nivel de detalle que se logro obtener en el cartografiado.

Área Glaciar: La subcuenca Shullcas es una cuenca glaciar por ello la presencia de masas de hielo en la cabecera de cuenca, según estudios desarrollados en el año 2020 al año en mención se registró un área de 3.64 km², no obstante en el área noroeste de la subcuenca no fue registrado el cuerpo glaciar cubierto que se localiza en la parte posterior de la laguna Ancapahuachanan, el cual posee un área de 0.080 km², dicha área no fue registrado por ningún inventario anterior a acepción del inventario de 1962 donde se registró como glaciar limpio, el cual por el retroceso glaciar se fraccionó dejando la parte frontal del glaciar en el valle el cual fue cubierto por detritos.

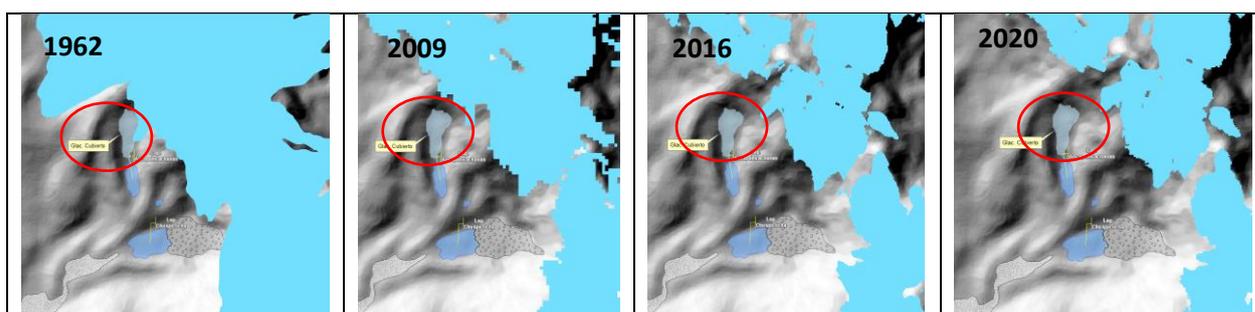


Imagen 10. Análisis de los estudios de registro de área glaciar desde 1962 (Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos), 2009 por la Autoridad Nacional del Agua, 2016 por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña y 2020 por la Oficina Desconcentrada Macro Región Centro – Lima - INAIGEM

En el primer inventario que se desarrolló con fotografías aéreas de 1962 a 1965, desarrollado por la Unidad de Glaciología e Hidrología – Huaraz, perteneciente a la Empresa Regional Electronorte Medio (HIDRANDINA S.A.), con el objetivo de conocer las extensiones y volumen aproximado de las masas de hielo a nivel de cordilleras (Unidad de Geología e Hidrología Huaraz, 1988), desde este primer inventario no se registro en su totalidad el glaciar identificado en el año 2021 por la ODMRC, el cual se muestra en círculo Rojo, en el inventario desarrollado por la

ANA con imágenes de 2009 no se consideró en su totalidad en glaciario identificado como también en el inventario del INAIGEM con imágenes del 2016 y en el último estudio desarrollado por la ODMRC con imágenes 2020 no fue registrado de igual manera, el cual será incorporado en el presente estudio como actualización de la cartografía base desarrollada.

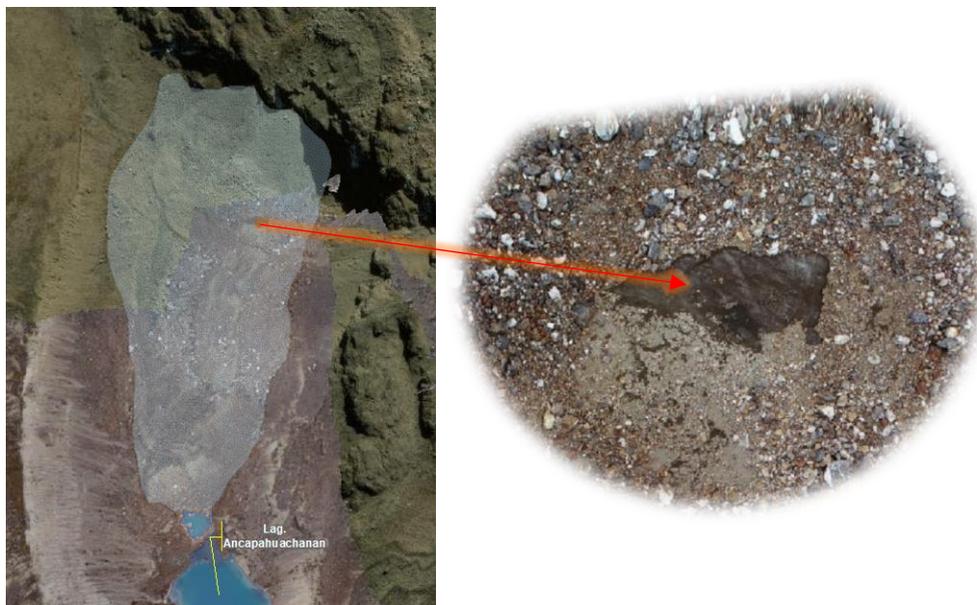


Imagen 11. Análisis del glaciar cubierto y delimitación de la extensión (izquierda), lo cual corrobora la existencia del glaciar cubierto es el afloramiento de la masa de hielo (derecha)

Para la delimitación del área total que abarca el glaciar cubierto se realizó mediante el análisis interpretativo de la imagen (ortofotografía) apoyados con la geoforma del glaciar cubierto que son las hondonadas que generó el glaciar en su dinámica de avance y retroceso glaciar.

Área de depósito de material: En el año 1990 aguas arriba de la laguna Chuspicocha en el glaciar Huaytapallana, sufrió un desprendimiento de roca y hielo el cual impactó con la laguna de Chuspicocha el cual generó un aluvión que afectó a la ciudad de Huancayo (INDECI, 2016), a la actualidad la ciudad de Huancayo creció en expansión urbana y poblacional los mismo que se encuentran asentados en el cono de aluvión, exponiéndose así a un evento similar o de mayor magnitud.

Durante el trabajo de campo se logró registrar el área donde se realizó la deposición del material trasladado por el aluvión como también se registró el área depositado de material proveniente del glaciar Huaytapallana que impactó a la laguna.

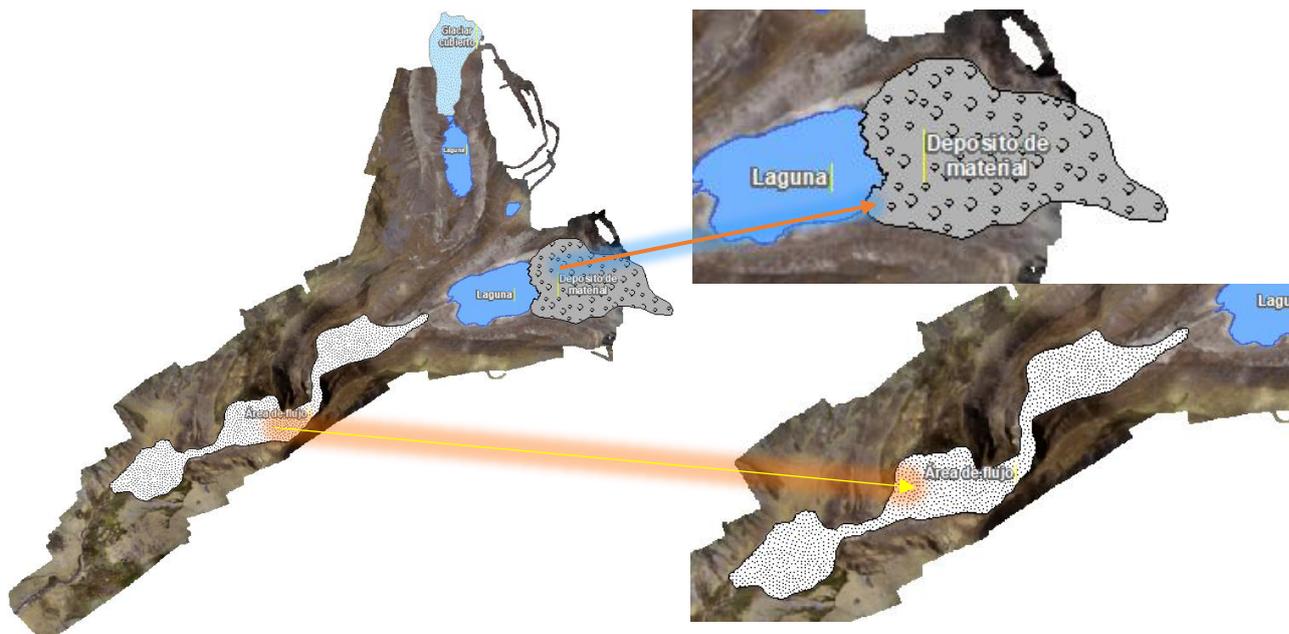


Imagen 12. Identificación del material depositado en la parte posterior de la laguna proveniente del glaciar Huaytapallana (Superior derecho) y el flujo de deposito de material que generó con el impacto con la laguna (inferior derecho)

En el evento que tuvo lugar en el año 1990 a consecuencia del desprendimiento de la masa de hielo del glaciar Huaytapallana el cual impacto la laguna Chuspicocha y desplazo las aguas el cual generó el aluvión hacia la ciudad de Huancayo, el depósito de material ubicado en la parte posterior de la laguna posee un área de 170135.47m^2 , el cual generó el desplazamiento de las aguas que generó el depósito de material de 221238.84m^2 ubicado en la parte baja del área de estudio.

VI. RESULTADOS

- Se generó 2 modelos digitales de superficie y 2 ortomosaicos de las áreas periglaciares correspondientes a las lagunas de Chuspicocha y Lazohuntay, con una resolución espacial menor al metro.
- Se actualizó la cartografía base de ríos, curvas de nivel, lagunas y glaciar del entorno de las lagunas Chuspicocha, Lazohuntay y Ancapahuachanan, como también se identificó y delimitó las áreas de deposición de material proveniente del aluvión de 1969 y 1990, como también se registró el área de depósitos que se generó del glaciar Huaytapallana el cual generó el aluvión de 1990, contando así en el área de interés con información detallada el cual fue generado en base a la información de la tecnología RPAS, que se desarrolló en las salidas de campo que se tuvo en el presente año 2021.
- Se generó el mapa de la cartografía Base actualizada de la subcuenca Shullcas, con el cual mejorará el análisis e interpretación del entorno de trabajo, también la presente cartografía cumple como línea base para estudios futuros como son el modelamiento que se tiene proyectado en la subcuenca en estudio.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

En base a la primera información generado por la ODMRC de la subcuenca Shullcas, se realizó la actualización cartográfica usando como base la información del vuelo

aéreo desarrollado el presente año 2021 en la salida de campo que se desarrolló a la subcuenca Shullcas, logrando así la actualización del área peri-glaciar ubicado en la cabecera de la cuenca colindantes a las lagunas Chuspicocha, Lazohuntay y Ancapahuachanan.

Se actualizó la cartografía de dos zonas de estudio peri-glaciar (Lazohuntay y Chuspicocha) correspondiente a ríos, 3 lagunas en cuanto a área, se identificó 1 glaciar cubierto, 1 depósito de material y 2 áreas de depósito proveniente del aluvión de 1969 y 1990. Los cuáles serán parte de la cartografía actualizada del entorno de trabajo.

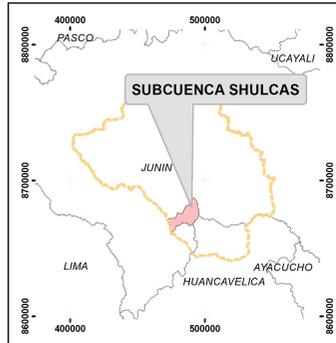
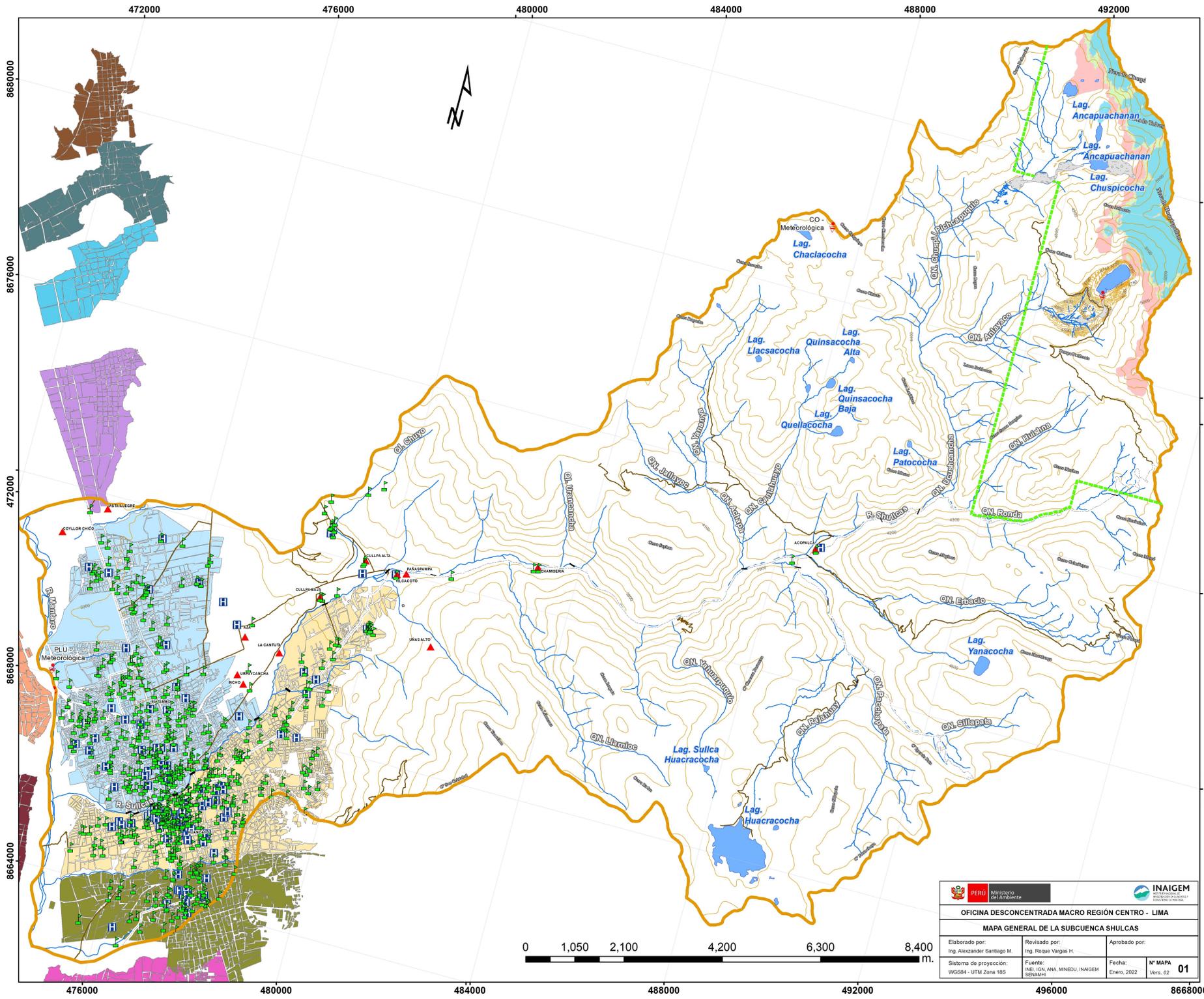
Mediante la actividad desarrollada por la ODMRC en la actividad de campo en la subcuenca Shulcas empleando la tecnología RPAS para obtener información detallada y de calidad, la ODMRC logró sobre volar una extensión en total de 389.87 hectáreas el cual esta valorizada en un total de 15,594 dólares americanos. Logrando así la ODMRC una optimización de los recursos institucionales.

7.2. RECOMENDACIONES

Continuar con el estudio topográfico en el ámbito de estudio, con el objetivo de contar con información detallada de la subcuenca desde la cabecera de la subcuenca hasta la confluencia con el río Mantaro, para lograr así un modelamiento cuasi real.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Cheng, Y., Xue, D., & Li, Y. (2007). A fast mosaic approach for remote sensing images. *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2007, 2009–2013*. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2007.4303859>
- INDECI. (2016). *PROBABLE DESEMBALSE DE LA LAGUNA CHUSPICOCHA, EN EL NEVADO DE HUAYTAPALLANA Y SU IMPACTO EN LA CIUDAD DE HUANCAYO - JUNÍN*.
- INEI. (2017). *Centros Poblados*. <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>
- Unidad de Geología e Hidrología Huaraz. (1988). *INVENTARIO DE GLACIARES DEL PERÚ*.



LEYENDA

- Estaciones SENAMHI
- Instituciones Educativa
- Centros de Salud
- Red Hídrica
- Lagunas
- puentes
- Subcuenca Sulcas
- Red vial vecinal
- Red vial Nacional
- Red vial Departamental
- Curv. Niv. Principal
- Curv. Niv. Secundario
- Área Natural Protegida - Regional
- Glaciares 2020 - INAIGEM - ODMRC, Lima
- Glaciares 2016 - INAIGEM, Huaraz
- Glaciares 2009 - INAIGEM
- Glaciares Reanálisis 1975 - HIDRANDINA
- Área de depósito aluvional

Centros poblados / N° habitantes

ACOPALCA / 240	LA CANTUTA / 1100
AZA / 2500	PAÑASPAMPA / 140
CHAMISERIA / 100	URPAYCANGA / 500
COYLLOR CHICO / 25	UÑAS ALTO / 1
CULLPA ALTA / 2000	VILCACOTO / 200
CULLPA BAJA / 1500	VISTA ALEGRE / 250
INCHO / 200	

Área urbana / N° habitantes

HUANCAYO, 112054	HUAYUCACHI, 2800
EL TAMBO, 35500	LA PUNTA, 2000
CHILCA, 7500	PILCOMAYO, 14000
HUAYLHUAS, 96	QUILCAS, 2500
HUAMANCAJCA CHICO, 6850	SAN AGUSTIN, 10267
HUAMANMARCA, 2300	SAPALLANGA, 1000
HUANCAN, 10450	SAÑO, 1500
HUAYLASPANCA, 2600	TRES DE DICIEMBRE, 2050

PERU Ministerio del Ambiente

INAIGEM INSTITUTO NACIONAL DE GLACIARES Y NEVADOS

OFICINA DESCENCRADA MACRO REGION CENTRO - LIMA

MAPA GENERAL DE LA SUBCUENCA SHULCAS

Elaborado por: Ing. Alexander Santiago M.	Revisado por: Ing. Roque Vargas H.	Aprobado por:
Sistema de proyección: WGS84 - UTM Zona 18S	Fuente: INEI, IGN, ANA, MINEDU, INAIGEM, SENAMHI	Fecha: Enero, 2022
		N° MAPA Vers. 02 01