INFORME FINAL – CONTRATO N°397-2023
CONTRATISTA: RUBÉN DARÍO GARCÍA JIMÉNEZ
DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO PLAN ESTRATÉGICO DE CONSERVACIÓN PARA EL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE TIERRADENTRO 2023

METODOLOGÍA

La metodología utilizada para alcanzar el diagnóstico hidráulico se llevó a cabo en tres etapas:

Etapa 1 (Fase pre-campo): Durante esta fase se establecieron reuniones previas con todo el equipo de trabajo y se realizó la consulta y revisión de la bibliografía e información existente suministrada por el ICANH, la cual comprende y relaciona documentos técnicos y planos cartográficos de las áreas de interés, donde se consideró la información más relevante en relación a aspectos geológicos, estructurales, geotécnicos e hidráulicos para cada uno de los Altos e hipogeos estudiados; los cuales se tuvieron en cuenta para la elaboración y construcción del componente hidráulico para el plan estratégico de conservación.
Así mismo, se consultó información oficial del Servicio Geológico Colombiano (SGC), principalmente a nivel de cartografía, para conocer y entender el contexto geológico-estructural del área de estudio regional. Con base en esto, se verificó la unidad geológica presente en el área de estudio y las fallas que cruzan por la zona.

Etapa 2 (Fase de campo): Bajo la coordinación y organización del ICANH se desarrolló visita y trabajo de campo en el mes de septiembre con un grupo multidisciplinario de profesionales especializados, donde se realizaron recorridos por todos los Altos del Parque Arqueológico de Tierradentro (*San Andrés, Segovia, El Duende y El Aguacate*). Durante dichos recorridos, se identificó la presencia de geomembrana y geotextil en la superficie de algunos hipogeos específicos, así como los sistemas para el manejo de las aguas superficiales. Además, se ingresó a cada uno de los hipogeos para observar las condiciones de humedad, identificando aquellos considerados como más críticos. Así mismo, se llevaron a cabo reuniones en campo con el equipo de trabajo para dar seguimiento a la información recopilada por la comisión y para evaluar los avances diarios de las actividades realizadas en cada Alto. El propósito era diagnosticar y evaluar de manera integral las afectaciones presentes en los hipogeos, contribuyendo así con conclusiones y recomendaciones para su adecuada conservación a lo largo del tiempo. Adicionalmente, se realizaron vuelos aerofotogramétricos en cada uno de los Altos con el objetivo de generar cartografía temática, la cual es de gran importancia para comprender de manera regional la superficie del terreno.

Etapa 3 (Fase de oficina): Con base en la información recopilada en las dos fases previas, se procedió mediante procesos y análisis en Sistemas de Información Geográfica (SIG) a realizar la identificación de las direcciones de flujo de agua lluvia, infiltración, escorrentía y las zonas propensas a empozamientos en cada uno de los Altos examinados. Este proceso se realizó utilizando los programas ArcGIS y Surfer, y se generó cartografía temática bajo el sistema de coordenadas oficial Origen

Nacional. La obtención y cálculo de estas áreas se fundamentaron principalmente en un análisis morfológico de la superficie, considerando el comportamiento del terreno en relación con factores condicionantes como pendientes y coberturas del suelo. Las pendientes influyen en la distribución de las aguas superficiales, determinando las direcciones de flujo, las zonas de infiltración, empozamiento y escorrentía. Por otro lado, las coberturas afectan la cantidad de agua que puede ingresar en el suelo, según su permeabilidad lo permita. Además, se utilizaron y georreferenciaron planos proporcionados por el ICANH (2002), Germán Hermida (2001) e INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS LTDA (1990) para interpretar los resultados obtenidos. Los productos alcanzados contribuyeron a delimitar las áreas que requieren estudios más detallados e intervenciones enfocadas en el manejo de aguas superficiales en los Altos, con el fin de conservar y proteger los hipogeos en el futuro.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

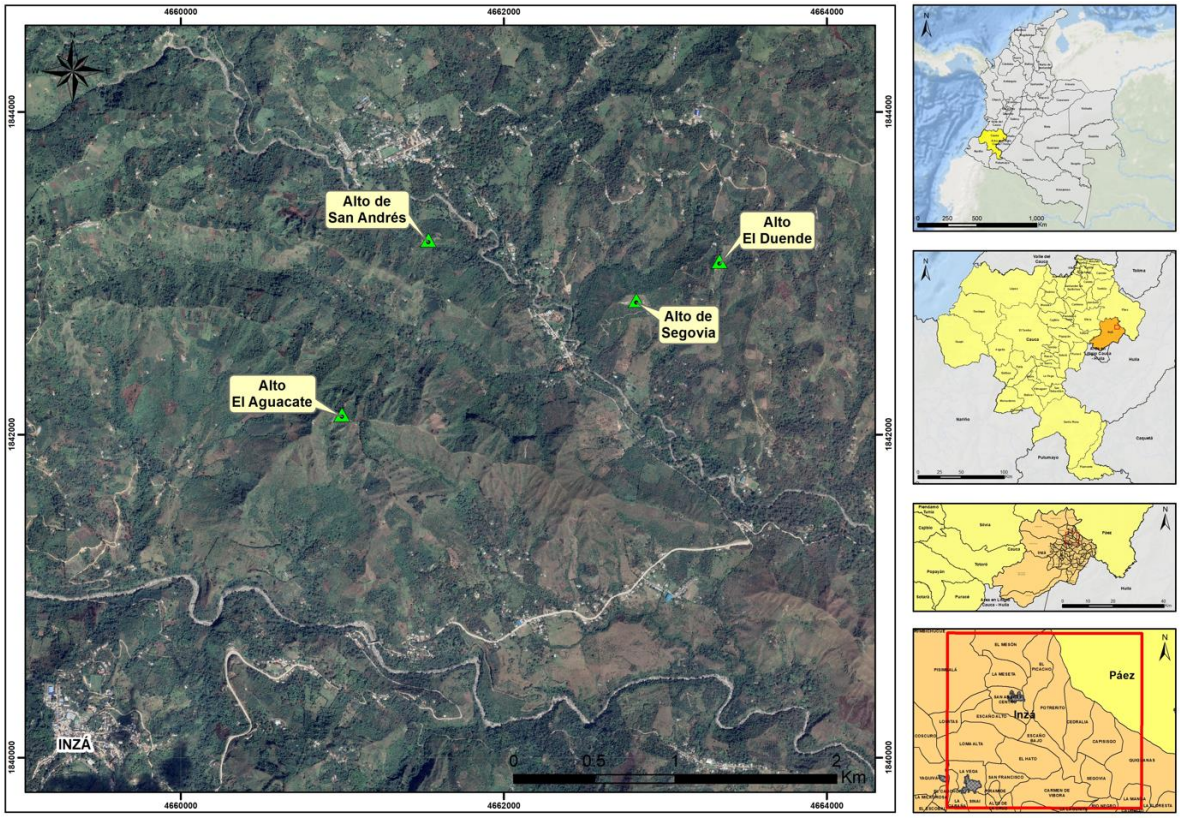


Figura. Localización del área de estudio.

UBICACIÓN HIDROGEOGRÁFICA

Hidrogeográficamente los Alto de San Andrés, Segovia y El Duende se encuentran ubicados dentro de la cuenca de la Quebrada San Andrés; mientras que el Alto de El Aguacate al encontrarse sobre una divisoria de aguas (*límite entre dos cuencas hidrográficas contiguas*), este comparte las vertientes tanto de la cuenca de la Quebrada San Andrés como de la cuenca del Río Negro.

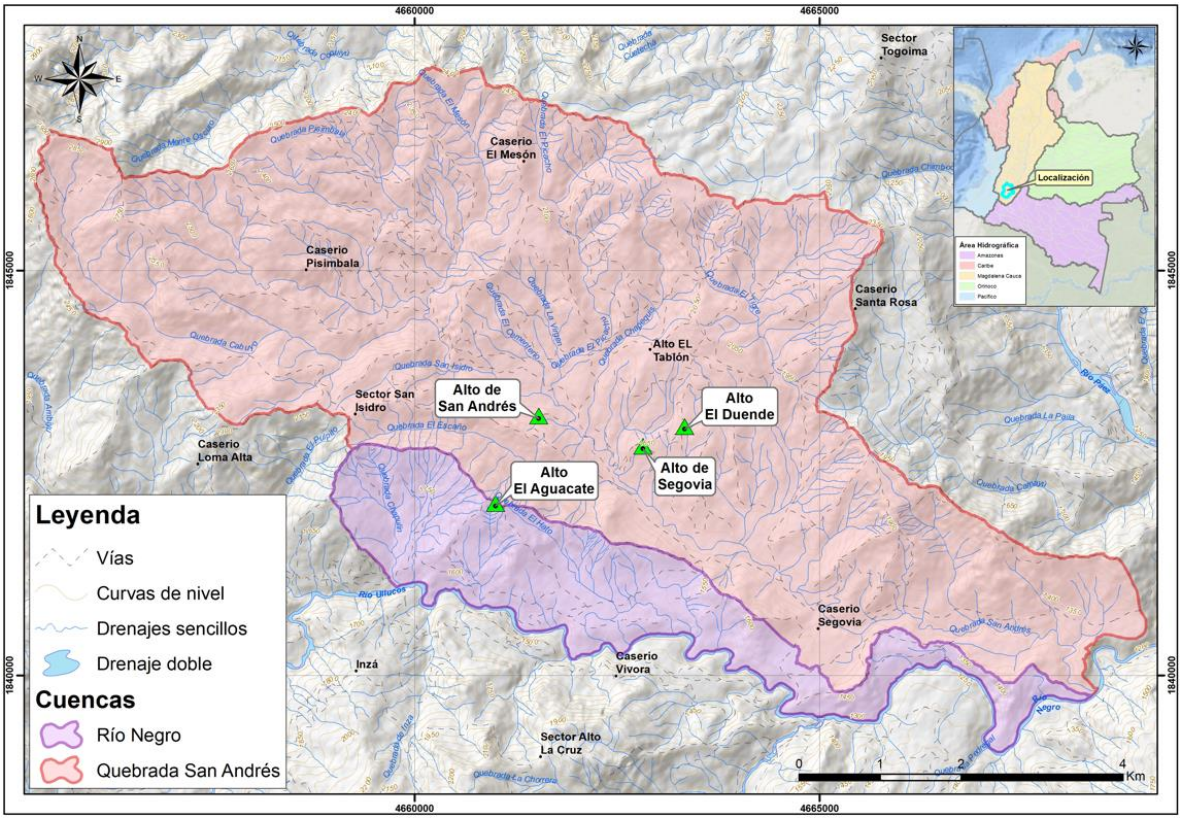


Figura. Cuencas hidrográficas que comprenden los Altos de San Andrés, Segovia, El Duende y El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

GEOLOGÍA REGIONAL

Para la identificación de las unidades geológicas presentes en la zona de estudio, se consultó oficialmente la Plancha 5-13 del Atlas Geológico de Colombia 2023 a Escala 1:500.000 del Servicio Geológico Colombiano-SGC, la cual contiene las unidades cronoestratigráficas agrupadas de acuerdo a la edad y la litología de los materiales. A continuación, se enuncian las unidades presentes:

- *Q-al:* Depósitos aluviales y de llanuras aluviales. Edad: Cuaternario.
- *Q-ca:* Abanicos aluviales y depósitos coluviales. Edad: Cuaternario.
- *Formación Popayán, Miembro San Andrés (N2-VCc):* Tobas intercaladas con aglomerados, brechas, conglomerados, lodolitas y arenitas. Edad: Plioceno.

- *Formación Coquiyú (b6k 6-Stm):* Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas. Edad: Albiano-Maastrichtiano.
- *Formación Coquiyú (b5?k 6-Sctm):* Cuarzoarenitas, shales, margas, calizas y niveles delgados de cherts. Edad: Aptiano?-Maastrichtiano.
- *Formación Yaví (b5b6-Sctm):* Conglomerados rojizos; arenitas feldespáticas y arcillolitas abigarradas; cuarzoarenitas; calizas y shales, y en el tope, cuarzoarenitas glauconíticas y ferruginosas. Edad: Aptiano-Albiano.
- *Complejo Cajamarca (T-Mbg):* Esquistos grafíticos, cuarzomoscovíticos, cloríticos y anfibólicos; filitas; cuarcitas; mármoles y serpentinitas. Edad: Triásico.
- *Metasedimentitas de Vitoncó (PZ –Sm):* Pizarras, filitas y limolitas micáceas intercaladas con cuarzoarenitas. Edad: Paleozoico.

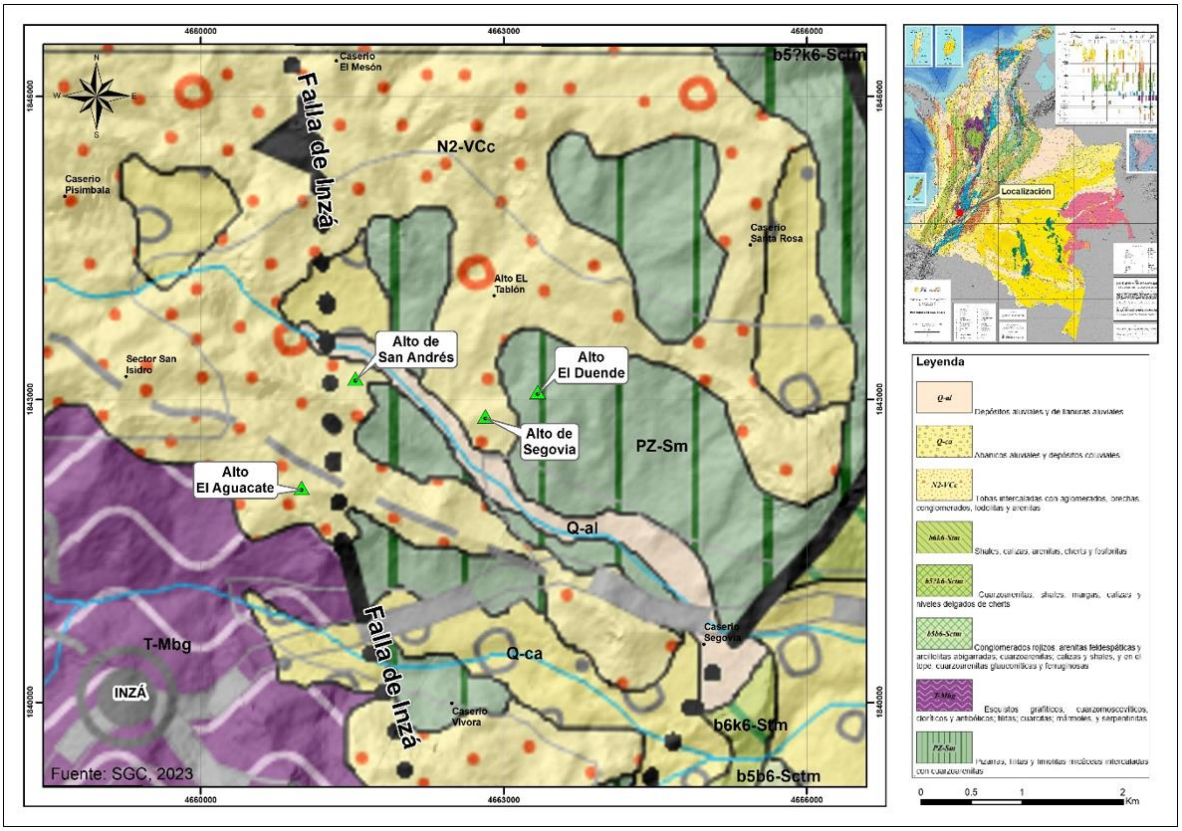


Figura. Mapa geológico regional de la zona de estudio. Fuente: Tomado y adaptado de SGC, 2023.

Como se puede observar en el mapa geológico regional oficial del SGC, la unidad geológica sobre la que se encuentran los Altos de San Andrés, Segovia y El Aguacate corresponde a la Formación Popayán - Miembro San Andrés; mientras que el Alto El Duende aparece sobre Metasedimentitas de Vitoncó. Ante lo anterior y de acuerdo a la visita de campo realizada en el mes de septiembre de 2023, se pudo verificar que el Alto El Duende también se encuentra sobre la Formación Popayán - Miembro San Andrés.

A continuación, se describe la Formación Popayán - Miembro San Andrés sobre la que se encuentran los Altos de San Andrés, Segovia, El Duende y El Aguacate; según la memoria explicativa de la Plancha 343-Silvia a Escala 1:100.000 del año 2003, consultada en el Servicio Geológico Colombiano-SGC.

Formación Popayán - Miembro San Andrés (N2-VCc): Agrupa y caracteriza las rocas volcanoclásticas de edad neógena que se encuentran reposando sobre rocas de edad cretácica y paleozoica de la Formación Coquiyú y el Complejo Cajamarca, respectivamente, en los alrededores de la población de San Andrés de Pisimbalá, con un área de 54 km^2. Desde el punto de vista antropológico, este miembro tiene una importancia sobresaliente, debido a que en ella fueron excavados los hipogeos pertenecientes a la cultura Tierradentro. El Miembro San Andrés está conformado por una sucesión continua de aglomerados fluviovolcánicos generados por flujos de ceniza y escombros, en paquetes con espesores hasta de 25 m, separados en su parte media por capas de arenitas pumáceas de color gris amarillento pálido, con tamaño de grano máximo de lapilli. Los aglomerados están constituidos por bloques subangulares a subredondeados de andesitas, pórfidos andesíticos y metamorfitas, rodeados por una matriz de vidrio volcánico, cuarzo, biotita y pómez, de tamaño arena gruesa a fina. Las arenas pumíticas son de color gris claro y, en ocasiones blanco amarillento a pardo claro, por oxidación de los ferromagnesianos. Su composición es principalmente granos de pómez y, en menor proporción, biotita y cuarzo, distribuidos en una matriz de ceniza volcánica. Estas arenas se encuentran medianamente a bien soldadas, y permiten la formación de laderas montañosas casi verticales que culminan en filos planos y angostos característicos en todo el sector de San Andrés. (*INGEOMINAS, 2003*)

VALORACIÓN GEOLÓGICA LOCAL

La caracterización litológica de la roca que compone los hipogeos de los diferentes Altos se realizó mediante la observación macroscópica de las paredes de los hipogeos y también con lupa.

A nivel general la roca sobre la que fueron elaborados los hipogeos se clasifica como una toba cristalina de tipo vitreo-lítica de ceniza y lapilli de color gris claro, conformada por fragmentos de cristales y líticos dispuestos de manera caótica.

La toba está constituida por una matriz vítrea areno-arcillosa de tamaño fino a muy fino, compuesta principalmente por ceniza volcánica transformada en arcillas por efecto de la meteorización, la cual embebe los cristales y los fragmentos líticos de diversos tamaños, correspondientes a diferentes tipos de roca de distintos orígenes, principalmente ígneos y metamórficos con formas angulares a subangulares.

Según las observaciones de campo, la resistencia de la roca ha demostrado ser muy sensible a la presencia de agua y a los cambios de humedad, lo que influye en el deterioro progresivo y en la estabilidad de la toba, ya que se altera de manera directa su matriz, la cual constituye el cemento que le da su consistencia y dureza.

La degradación de la matriz genera pérdida de cohesión entre las partículas de la roca, haciéndola mecánicamente menos competente y fácilmente disgregable debido a la baja cohesión de sus componentes minerales, lo que indica que con solo el tacto o la presión con los dedos la roca se queda impregnada o simplemente se desmorona.

Geotécnicamente, se interpreta que la presencia de diversas discontinuidades (*diaclasas, fracturas, grietas y fisuras*) presentes en la toba que cortan los hipogeos en varias direcciones, está aparentemente asociado a varios mecanismos y procesos tanto previos y posteriores como son: procesos de carácter geológico como fallamiento regional y movimientos sísmicos que han afectado la zona; efectos locales de descompresión asociada a la excavación y construcción de los hipogeos; y la acción de esfuerzos dirigidos por parte de la carga litostática local (*capa de material suprayacente como suelo/roca y cobertizos que soportan los hipogeos*) que se concentran sobre los componentes estructurales de los hipogeos, especialmente sobre las columnas y pilastras. Cabe mencionar, que la distribución de esfuerzos no es uniforme y depende tanto de la geometría de la capa de material suprayacente como de la propia geometría de los hipogeos.
La presencia de estas discontinuidades son las causantes del desarrollo de una porosidad secundaria, constituyendo planos de debilidad que implica en permeabilidades locales, la cual genera nuevas vías de infiltración y circulación que facilitan el ingreso de aguas meteóricas y una saturación rápida de la roca que compone los hipogeos, afectando y deteriorando la toba desde el punto de vista físico y químico; favoreciendo procesos de disolución y alteración mineral.

También es común encontrar confluencia de diaclasas y fracturas que se intersectan unas a otras, lo cual genera zonas de debilidad que pueden favorecer los desprendimientos de roca por acción de la gravedad.

En resumen, los factores a considerar que afectan la resistencia interna de la roca que contribuyen al deterioro físico y químico son: las discontinuidades estructurales como diaclasas y fracturas, la presencia de agua y cambios de humedad y la falta de cohesión de sus componentes minerales que le atribuyen un carácter deleznable.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

Para la identificación de las fallas geológicas presentes que cruzan por la zona de estudio, se consultó oficialmente la Plancha 343-Silvia del año 2002 a Escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano-SGC. A continuación, se enuncian los rasgos estructurales más importantes que afectan el área de estudio:

Falla del Río Símbola: Según ICEL (1983), la Falla del Río Símbola es una falla regional de tipo normal, de poco salto; la zona de brecha es angosta, de unos 50 m de anchura. Tiene una dirección N40°E, y en el área de estudio tiene una longitud de 32 km; en parte está cubierta por el flujo piroclástico de San Andrés; su trazo

hacia el sur afecta las rocas del Complejo Cajamarca y el cauce del río Ullucos. (*INGEOMINAS, 2003*)

Falla Inzá: La Falla Inzá fue cartografiada por ICEL (1983), tiene una longitud de 42 km en el área de estudio, con un rumbo N3°E en su parte sur y N15°W al norte. Sirve como límite entre las rocas paleozoicas del Complejo Cajamarca y rocas cretácicas de la Formación Coquiyú. Cerca a la población de Inzá, con su trazo se presenta asociada una zona de brecha de aproximadamente 1 km de ancho, sin que en ella se detecten evidencias de actividad reciente (INGEOMINAS - Nasa Kiwe, 1995). En el estudio de ICEL (1983) la denominan Falla Moras y la consideran como parte de un sistema de fallas de rumbo que corta las fallas con dirección NE-SW de la parte alta de la cuenca del río Páez; la consideran de tipo inverso y con inclinación del plano al oeste. Por estar afectando el Complejo Cajamarca, se considera como una falla antigua que ha contribuido al levantamiento de la Cordillera Central, en el flanco este. (*INGEOMINAS, 2003*)

Falla Paso de Bobo: La Falla Paso de Bobo fue cartografiada por Orrego & París (1991) en el Cuadrángulo N-6. Tiene una longitud de 68 km en la Plancha 343 Silvia, un rumbo de N45°W al occidente y N80°W al oriente de la Cordillera Central y un plano de falla casi vertical, atraviesa la Plancha 343 Silvia, y controla la parte alta de los ríos Quichayá, Malvasá y Piendamó. Hacia el núcleo de la Cordillera Central se encuentra cubierta por los productos volcánicos de la Formación Popayán. Arcila & Monsalve (1996), en la evaluación estructural del sismo de Páez, concluyen que el proceso de réplicas en el área se restringió a un sector comprendido entre dos fallas, una al norte del Nevado del Huila con dirección NWSE y la otra, correspondiente a la Falla Paso de Bobo, con la misma dirección, al sur. (*INGEOMINAS, 2003*)

Falla Santa Rosa: La Falla Santa Rosa es una estructura de cabalgamiento con una dirección general norte sur y una longitud de 50 km en la plancha, comprendidos entre la Falla Calambayú al norte y la Falla Inzá al sur. El plano de falla se observa subhorizontal al oeste de la población de Togoima en el camino que de Coquiyú conduce al río Páez, con vergencia hacia el este, y pone en contacto las Metasedimentitas de Vitoncó sobre la Formación Coquiyú. (*INGEOMINAS, 2003*)

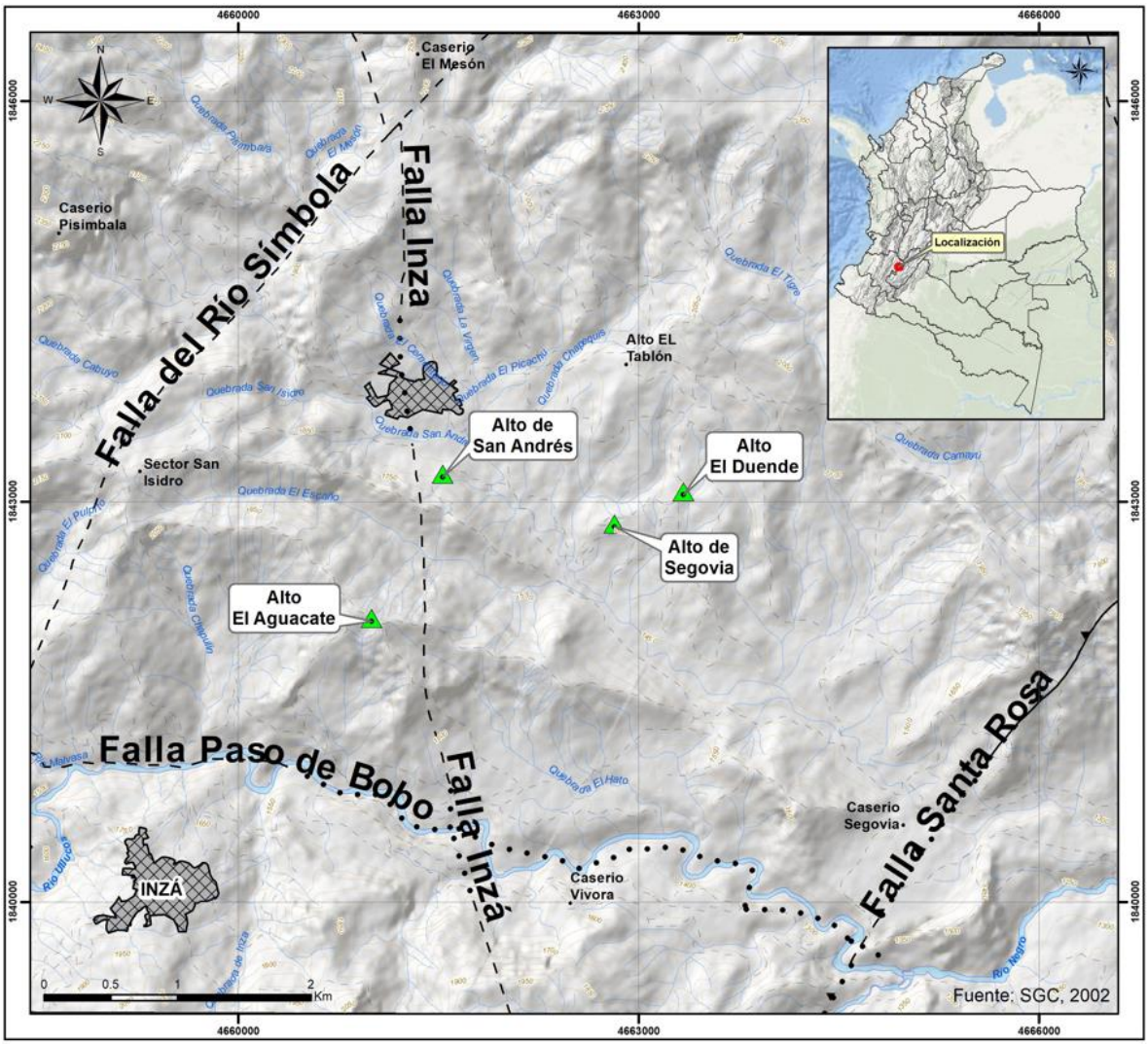


Figura. Fallas geológicas regionales presentes en la zona de estudio. Fuente: Tomado y adaptado de SGC, 2002.

Tal y como lo muestra la figura anterior, el área de estudio está compuesta por un entramado de fallas en diferentes direcciones que se cortan entre sí.

A partir del mapa anterior, se puede observar que el Alto de San Andrés y el Alto El Aguacate son los más próximos a la Falla Inzá, estando a tan solo 200 metros y 400 metros de distancia de la falla respectivamente; mientras que el Alto El Duende y de Segovia, según la cartografía oficial del SGC, no presentan una influencia tan directa por parte de las fallas geológicas.

Teniendo en cuenta el modelo estructural anterior para el área de estudio, se implementó una metodología de caracterización de la zona de deformación para cada uno de los tipos de fallas presentes en esta zona, de manera que sea un insumo de consideración en los análisis de fracturamiento de los hipogeos presentes en cada uno de los Altos.

A partir de la diferenciación de cada uno de los tipos de falla presentes y considerando su comportamiento, se establecieron 3 áreas de influencia respecto al trazo principal de cada falla que son considerados como rangos de alcance y deformación. Siendo un indicador de la influencia estructural que puede estar condicionando cada Alto y favorecer la presencia de discontinuidades (*diaclasas y fracturas*) en los hipogeos.

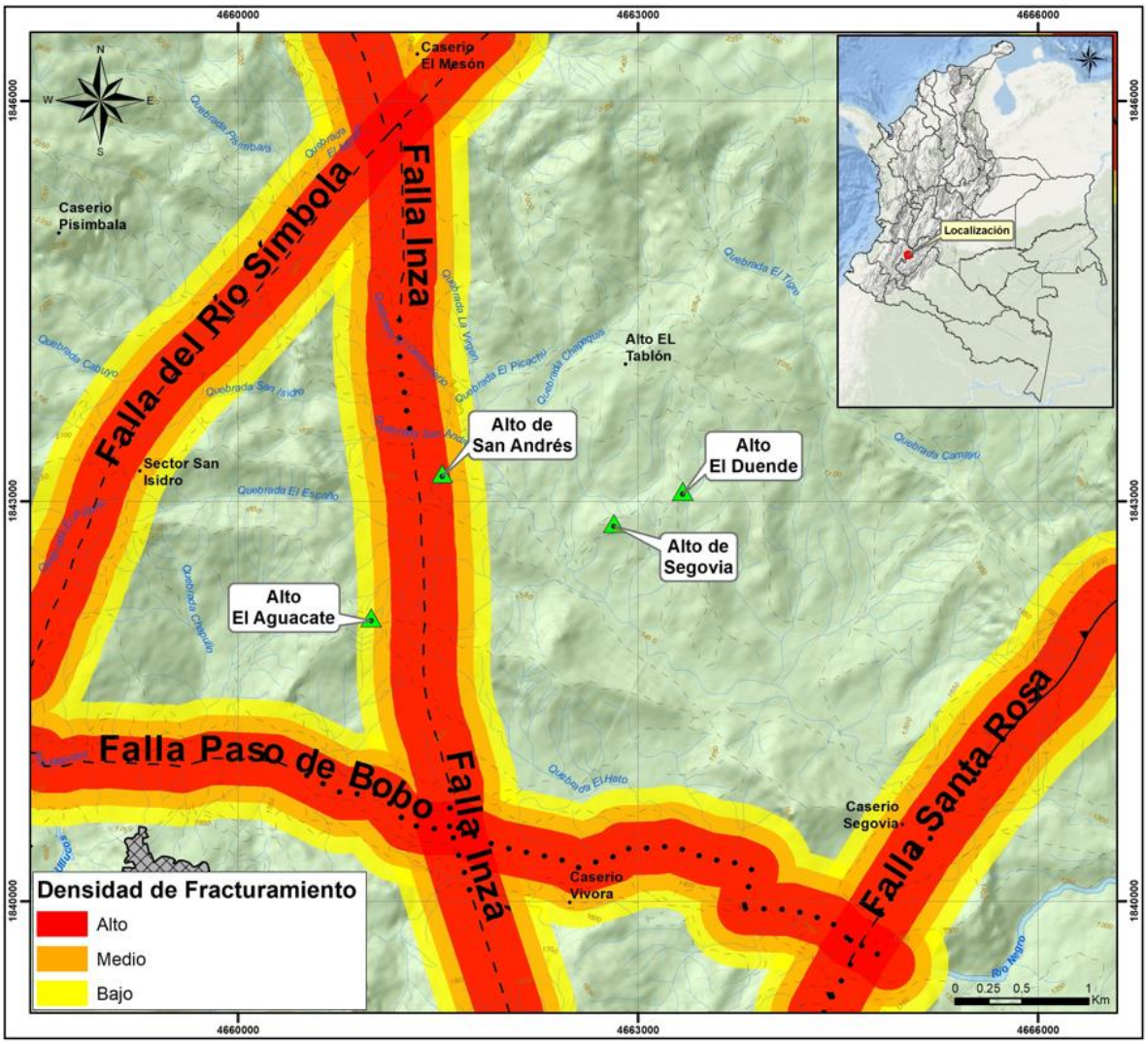


Figura. Mapa de densidad de fracturamiento regional de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo anterior, se identifica que el Alto de San Andrés presenta densidades de fracturamiento mayoritariamente alto y medio, lo cual es coherente con las observaciones de campo, ya que este Alto es de los más afectados estructuralmente.

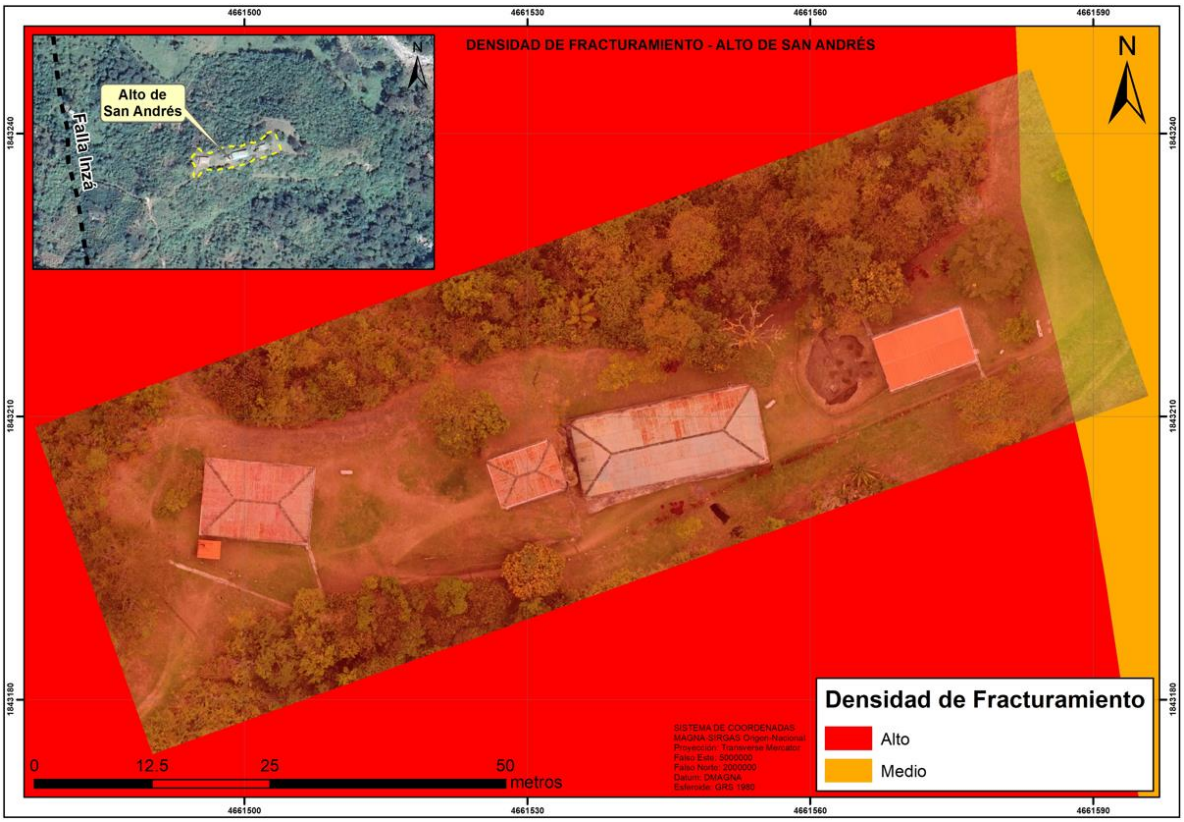


Figura. Mapa de densidad de fracturamiento para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

DATOS ESTRUCTURALES (DATOS GEOLÓGICOS DE ORIENTACIÓN) DE LOS HIPOGEOS QUE PRESENTAN CONDICIÓN ESTRUCTURAL EN RIESGO

Se realizó la identificación y medición de estructuras (diaclasas) con brújula al interior de los hipogeos de los diferentes Altos, empleando criterios de orientación, longitud, continuidad y forma. En total se midieron veintidós (22) diaclasas al interior de los hipogeos estudiados.

Sus respectivos datos se consignan en la siguiente Tabla:

BASE DE DATOS DE DISCONTINUIDADES
Parque Arqueológico Tierradentro

Alto	Hipogeo	Consecut	Ubicación	Descripción	Fuente	Dip	Dip-Dir	Rumbo				Buzamiento		
								Dir	Ang	Dir	Rumbo	Dir	Ang	Buzamiento
Segovia	S7	D1	En boveda y piso	Familia de dos diaclasas paralelas entre si que no representan riesgo estructural	JAD, FGE, RDG			N	30	W	N30W			N/A
Segovia	S9	D2	En pilastra 1	Diaclasa en pilastra 1 sobre la cara 1 hacia el acceso, con relleno arcilloso	JAD, FGE, RDG	83	90	E		W	EW	SE	83	83SE
Segovia	S11	D3	En columna 2	Cara posterior de la columna 2	JAD, FGE, RDG	72	280	N	10	E	N10E	NW	72	72NW
Segovia	S11	D4	En columna 1	Cara principal de la columna 1	JAD, FGE, RDG	69	295	N	25	W	N25W	NW	69	69NW
Segovia	S11	D5	En columna 1	Cara principal de la columna 1	JAD, FGE, RDG	43	115	S	25	W	S25W	SE	43	43SE
Aguacate	A10	D6		Abierta con presencia de raices	JAD, FGE, RDG	88	40	S	50	W	S50W	NE	88	88NE
Aguacate	A10	D7		Abierta con presencia de raices	JAD, FGE, RDG	88	40	N	50	W	N50W	NE	88	88NE
San Andrés	SA1	D8	Nicho 1	Nicho 1 pasando detrás de la pilastra 1 hacia la boveda	JAD, FGE, RDG	78	293	N	23	E	N23E	NW	78	78NW
San Andrés	SA1	D9	Nicho 1	Corta con la diaclasa D8 en boveda	JAD, FGE, RDG	90	240	N	30	W	N30W	NS	90	90NS
San Andrés	SA1	D10	Columna 1	Desde la pilastra 2 pasando por boveda y detrás de la columna 1 sobre el nicho 2	JAD, FGE, RDG	70	45	N	45	W	N45W	NE	70	70NE
San Andrés	SA1	D11		Cruza desde nicho 1 entre D9 y D10 pasando por la boveda hasta el nicho 3 pilastra 3	JAD, FGE, RDG	73	70	N	20	W	N20W	NE	73	73NE
San Andrés	SA1	D12	Nicho 2	En nicho 2 pasando por la boveda	JAD, FGE, RDG	90	195	N	75	W	N75W		90	90
San Andrés	SA1	D13	Nicho 2	Sale de nicho 2 se proyecta por la boveda pasando por la parte superior de la columna 2 en arista	JAD, FGE, RDG	86	190	S	80	W	S80W	SE	86	86SE
San Andrés	SA1	D14		Inicia en cara izquierda de pilastra 3 pasando por boveda y nicho 2 en cara	JAD, FGE, RDG	82	298	S	28	E	S28E	SW	82	82SW
San Andrés	SA1	D15		Saliendo de nicho 3	JAD, FGE, RDG	82	290	S	20	E	S20E	SW	82	82SW
San Andrés	SA1	D16			JAD, FGE, RDG	90	76	N	14	W	N14W		90	90
San Andrés	SA4	D17			JAD, FGE, RDG	72	345	N	75	W	N75W	NW	72	72NW
San Andrés	SA4	D18			JAD, FGE, RDG	90	30	S	70	W	S70W		90	90
San Andrés	SA4	D19			JAD, FGE, RDG	64	25	N	65	W	N65W	NE	64	64NE
San Andrés	SA4	D20			JAD, FGE, RDG	75	220	S	50	E	S50E	SW	75	75SW
Aguacate	A58	D21		En boveda	JAD, FGE, RDG	75	126	S	36	W	S36W	SE	75	75SE
Aguacate	A58	D22		paralela a D21, separación 1,20m	JAD, FGE, RDG	52	126	S	36	W	S36W	SE	52	52SE

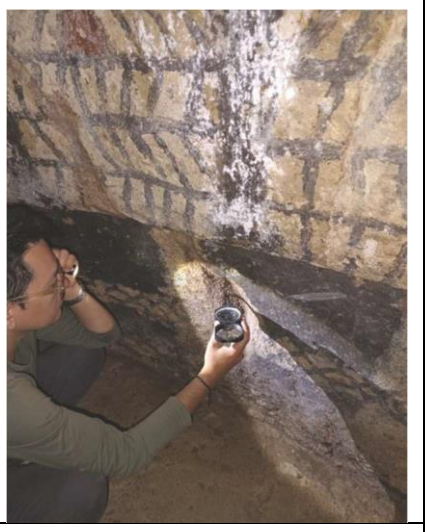
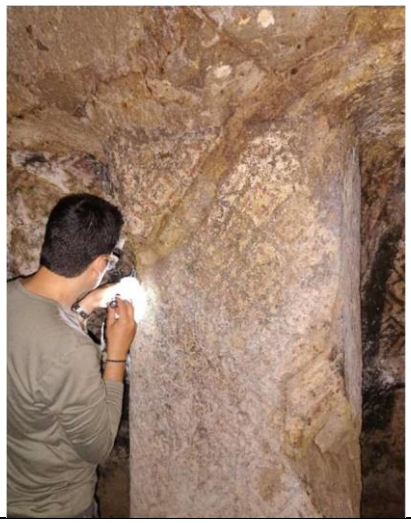
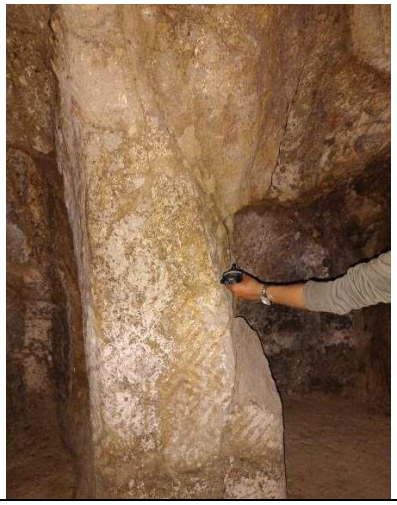
Figura. Listado de discontinuidades medidas.

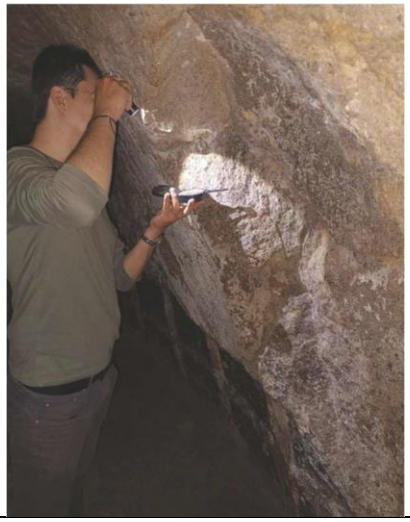
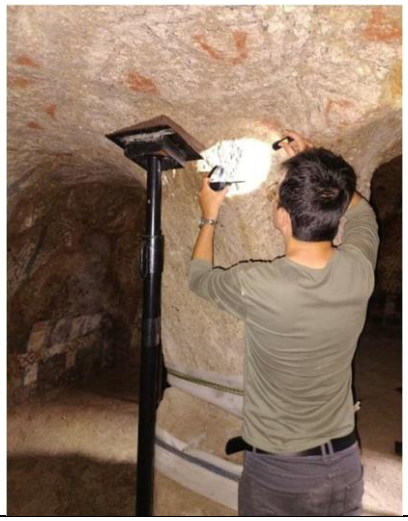
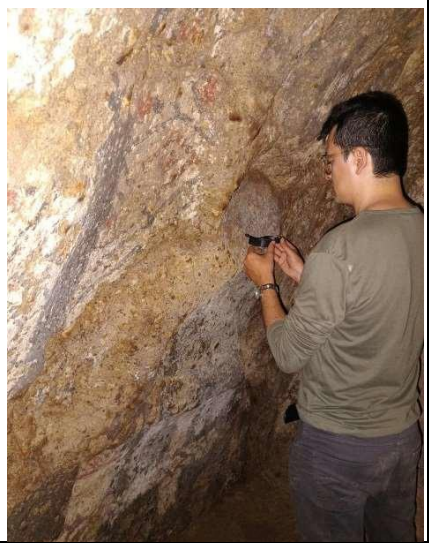
Datos Estructurales Alto de San Andrés:

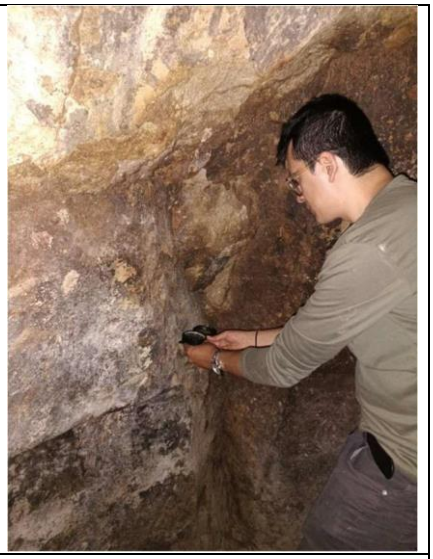
Con base en la inspección visual que se realizó al interior del hipogeo SA1, fue posible caracterizar desde el punto de vista geotécnico, las diaclasas más representativas.

De manera simultánea a la caracterización geotécnica de las diaclasas, se tomaron los datos estructurales (rumbo/buzamiento) de nueve (9) diaclasas. A continuación, se presenta el respectivo cuadro con la información recopilada:

DIACLASA	RUMBO	BUZAMIENTO	UBICACIÓN	OBSERVACION
D1	N23ºE	78ºNW	Nicho 1 pasando detrás de pilastra 1 hacia la bóveda.	

D2	N30ºW	90º	En nicho 1 corta con D2 en bóveda.	
D3	N45ºW	70ºNE	Sale desde pilastra 2 pasando por bóveda, hasta detrás de columna 1 sobre el nicho 2.	
D4	N20ºW	73ºNE	Cruza desde nicho 1 entre D2 y D3, pasando por el centro de la bóveda hasta el nicho 3, pilastra 3.	

D5	N75ºW	90º	En nicho pasando por la bóveda.	
D6	S80ºW	86ºSE	Sale de nicho 2, se proyecta por la bóveda pasando por la parte superior de la columna 2 en arista.	
D7	S28ºE	82ºSW	Sale de cara izquierda de pilastra 3, pasando por bóveda y nicho 2 en cara.	

D8	S20ºE	82ºSW	Saliendo de nicho 3.	
D9	N14ºW	90º	-	-

Se procedió a convertir los datos estructurales (rumbo / buzamiento) medidos en campo, en valores (dip / dip direction), tal como se muestra a continuación:

DIP (buzamiento)	DIP DIRECTION (dirección de buzamiento)	DESCRIPCION
78	293	DIACLASA 1
90	240	DIACLASA 2
70	45	DIACLASA 3
73	70	DIACLASA 4
90	195	DIACLASA 5
86	190	DIACLASA 6
82	298	DIACLASA 7
82	290	DIACLASA 8
90	76	DIACLASA 9

Hipogeo SA4:

Se tomaron datos estructurales (rumbo/buzamiento) medidos sobre algunas diaclasas presentes al interior del hipogeo.

Se procedió a convertir los datos estructurales (rumbo / buzamiento) medidos en campo, en valores (dip / dip direction), tal como se muestra a continuación:

DIP (buzamiento)	DIP DIRECTION (dirección de buzamiento)	DESCRIPCION
72	345	DIACLASA 1
90	200	DIACLASA 2
64	25	DIACLASA 3
75	320	DIACLASA 4

Datos Estructurales Alto de Segovia:

La inspección visual que se efectuó al interior del hipogeo S12, permitió caracterizar desde el punto de vista geotécnico, las diaclasas más representativas.

Se procedió a convertir los datos estructurales (rumbo / buzamiento) medidos en campo, en valores (dip / dip direction), tal como se muestra a continuación:

DIP (buzamiento)	DIP DIRECTION (dirección de buzamiento)	DESCRIPCION
70	164	DIACLASA 1
66	154	DIACLASA 2
69	330	DIACLASA 3
37	295	DIACLASA 4
72	336	DIACLASA 5
64	319	DIACLASA 6
79	285	DIACLASA 7

Los datos estructurales obtenidos en campo sirvieron como insumo fundamental para la construcción del documento diagnóstico sobre la condición geotécnica de los hipogeos que presenten condición estructural en riesgo y para la formulación del componente estructural, elaborado por el ingeniero Juan Alejandro Dávila Rincón.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Para la elaboración del análisis multitemporal, se utilizaron imágenes satelitales de diferentes años y fuentes, y el ortofotomosaico obtenido para el año 2023, con el fin de identificar los cambios más representativos en cada uno de los Altos estudiados.

Análisis Multitemporal para el Alto de San Andrés:

A nivel general, los cambios más representativos para el Alto de San Andrés, corresponden a las coberturas de la tierra, donde para el año 2007 se observa una zona más desprovista de vegetación, mientras que, a partir del año 2016 hasta la actualidad, se ve un incremento significativo de especies arbóreas hacia los costados de la superficie analizada. Así mismo, desde el año 2007, se observa que ha habido cambios en los diseños de los cobertizos hasta los existentes actualmente.



Figura. Imagen satelital del año 2007 para el Alto de San Andrés. Fuente: Google Earth Pro.

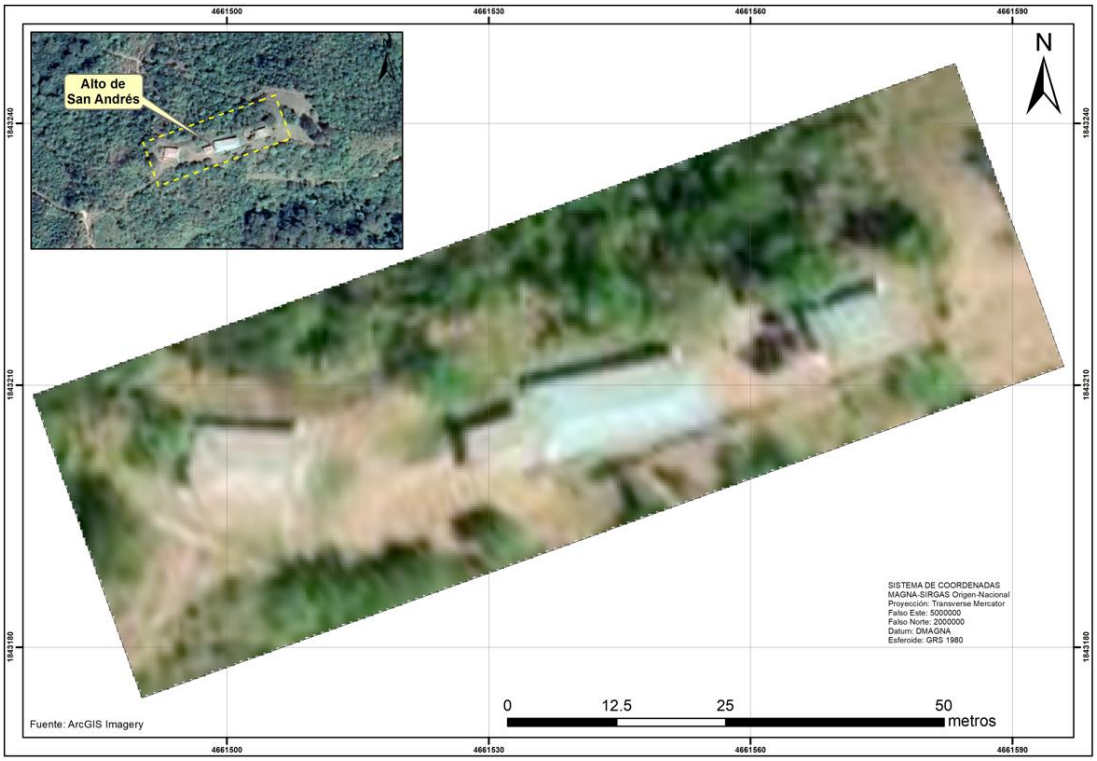


Figura. Imagen satelital del año 2016 para el Alto de San Andrés. Fuente: ArcGIS Imagery.



Figura. Imagen satelital del año 2020 para el Alto de San Andrés. Fuente: Google Earth Pro.

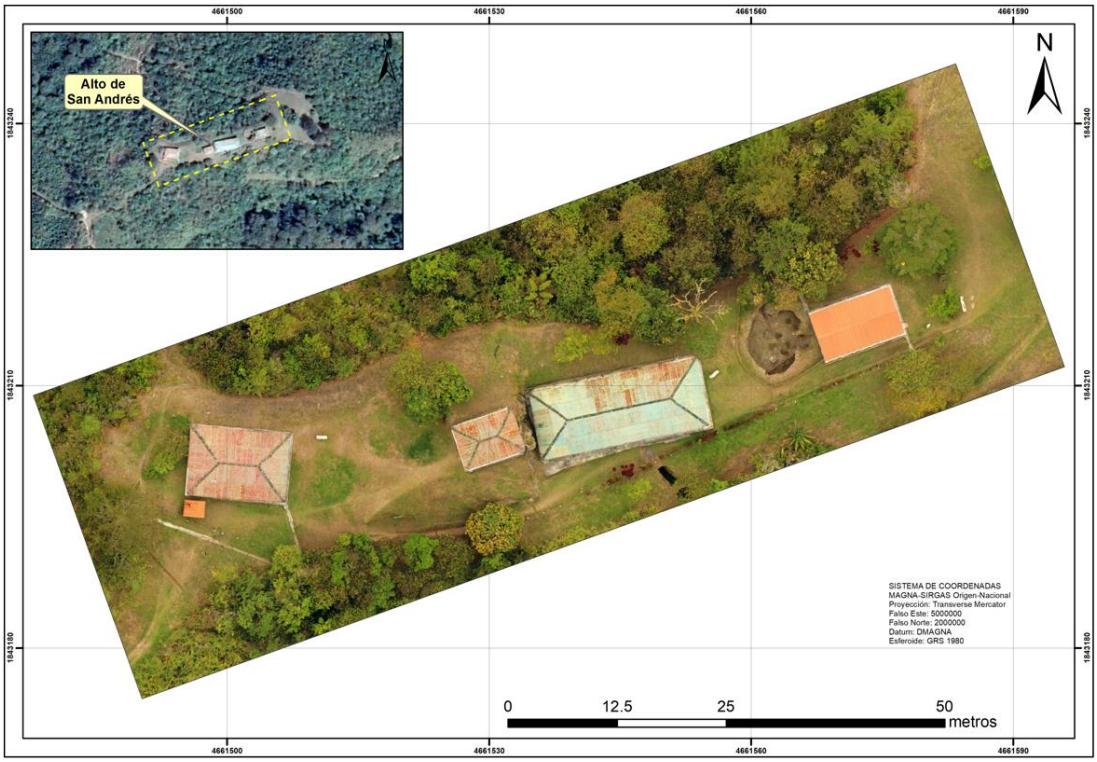


Figura. Ortofotomosaico del año 2023 para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

Análisis Multitemporal para el Alto de Segovia:

Los cambios más sobresalientes en el Alto de Segovia corresponden a las coberturas de la tierra perimetrales del Alto, ya que para el año 2007 en algunos sectores se observan pequeñas zonas sin tanta cantidad de árboles en comparación al año 2020 y la actualidad. De igual manera, los cobertizos existentes para el año 2007 tenían un diseño y una geometría diferente a la que se puede apreciar desde el año 2020 hasta la actualidad.



Figura. Imagen satelital del año 2007 para el Alto de Segovia. Fuente: Google Earth Pro.

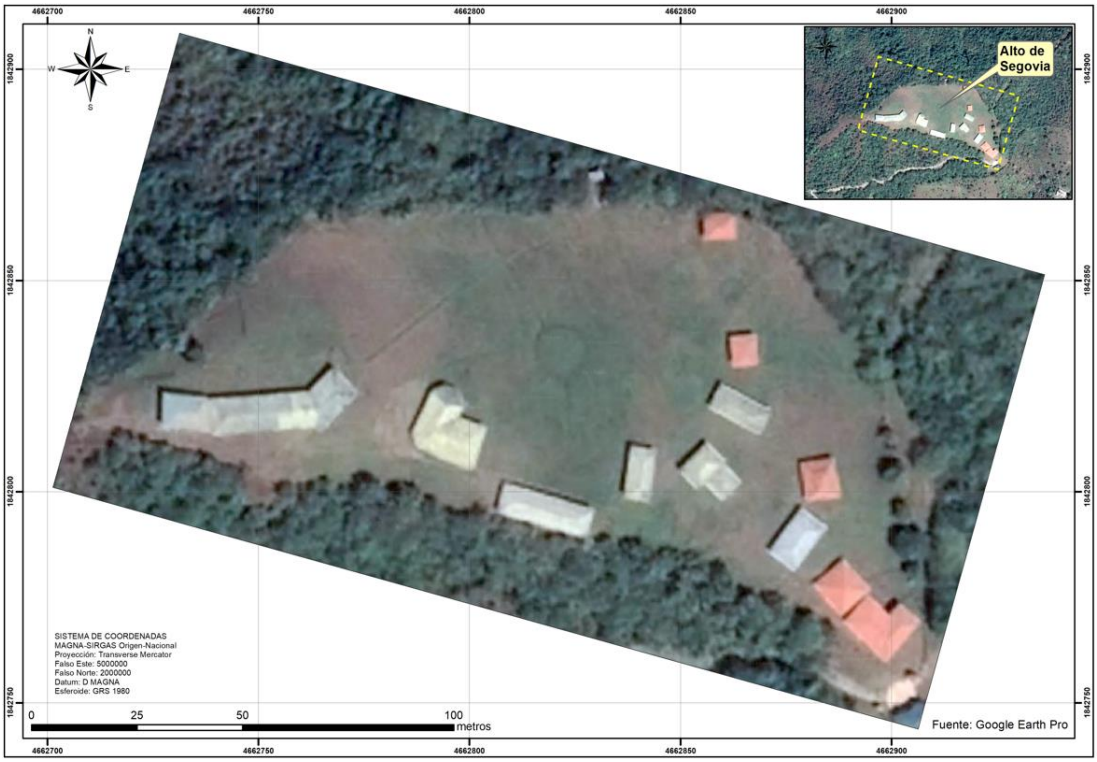


Figura. Imagen satelital del año 2020 para el Alto de Segovia. Fuente: Google Earth Pro.

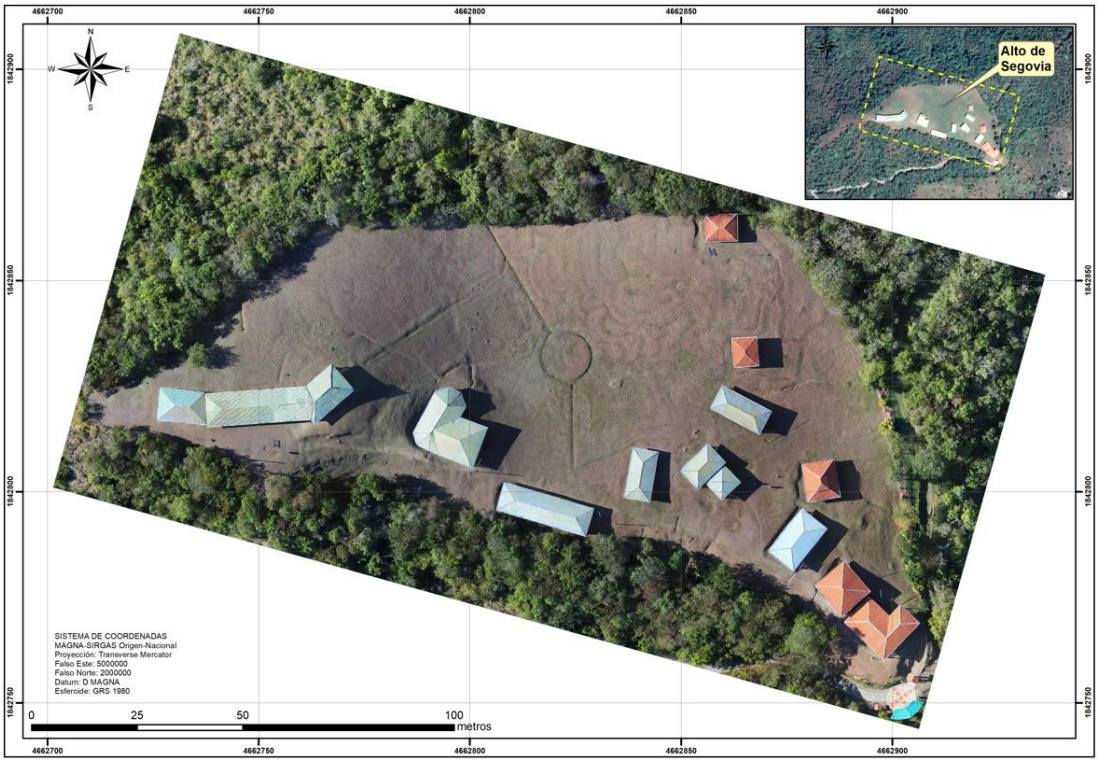


Figura. Ortofotomosaico del año 2023 para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

Análisis Multitemporal para el Alto El Duende:

A nivel general, los cambios más específicos para el Alto El Duende, corresponden a las coberturas de la tierra, donde para el año 2007 se observa una zona más desprovista de vegetación, y transicionalmente a partir del año 2020 hasta la actualidad, se ve un incremento significativo de especies arbóreas hacia los costados de la superficie analizada. Por otra parte, para el año 2007, los cobertizos existentes tenían un diseño y una geometría diferente a la que se puede apreciar desde el año 2020 hasta la actualidad.



Figura. Imagen satelital del año 2007 para el Alto El Duende. Fuente: Google Earth Pro.



Figura. Imagen satelital del año 2020 para el Alto El Duende. Fuente: Google Earth Pro.



Figura. Ortofotomosaico del año 2023 para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

Análisis Multitemporal para el Alto El Aguacate:

Los cambios más notorios para el Alto El Aguacate corresponden a las coberturas de la tierra, donde para el año 2007 se observa una zona más desprovista de vegetación, mientras que, a partir del año 2016 hasta la actualidad, se ve un incremento significativo de especies arbóreas y vegetación secundaria hacia los costados de la superficie analizada. Adicionalmente, el cambio más evidente es la ausencia de cobertizos para el año 2007, donde para ese año apenas existían dos cobertizos, en comparación a los diez existentes desde el año 2016 hasta la actualidad. Probablemente, para el año 2007, por la falta de cobertizos, los hipogeos eran más susceptibles a poseer mayor tasa de infiltración y de empozamientos, y así mismo probablemente a permanecer inundados por las aguas lluvia y la escorrentía de la zona.

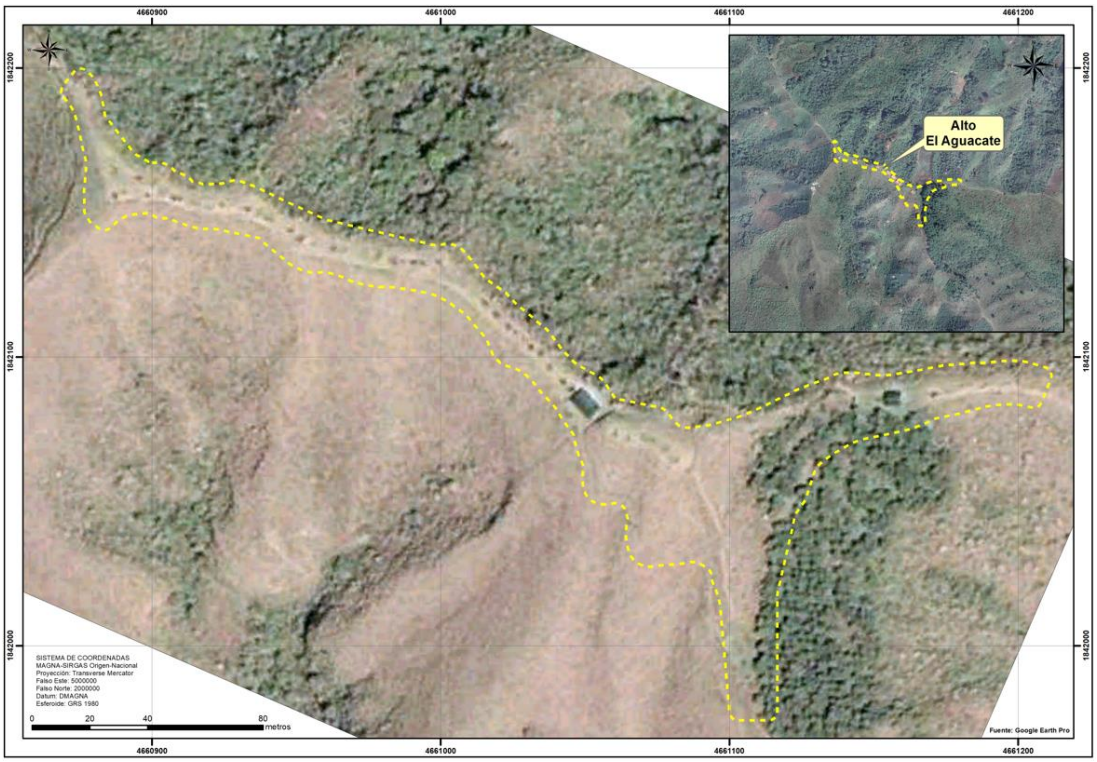


Figura. Imagen satelital del año 2007 para el Alto El Aguacate. Fuente: Google Earth Pro.

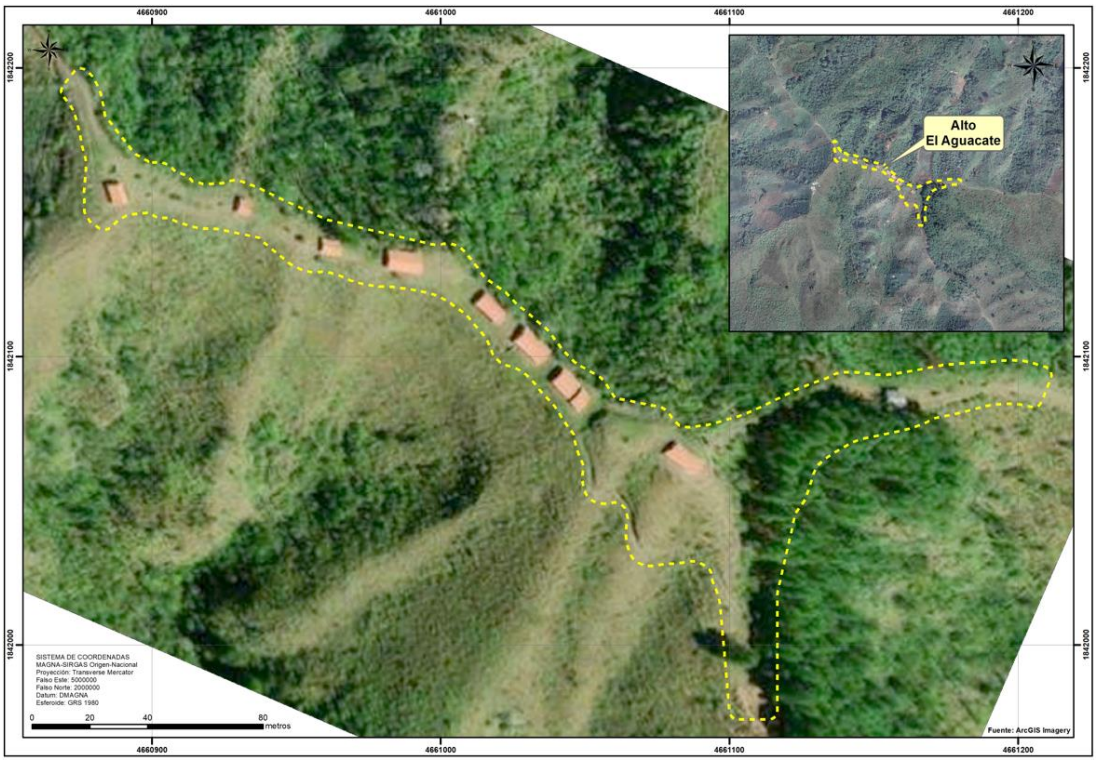


Figura. Imagen satelital del año 2016 para el Alto El Aguacate. Fuente: ArcGIS Imagery.

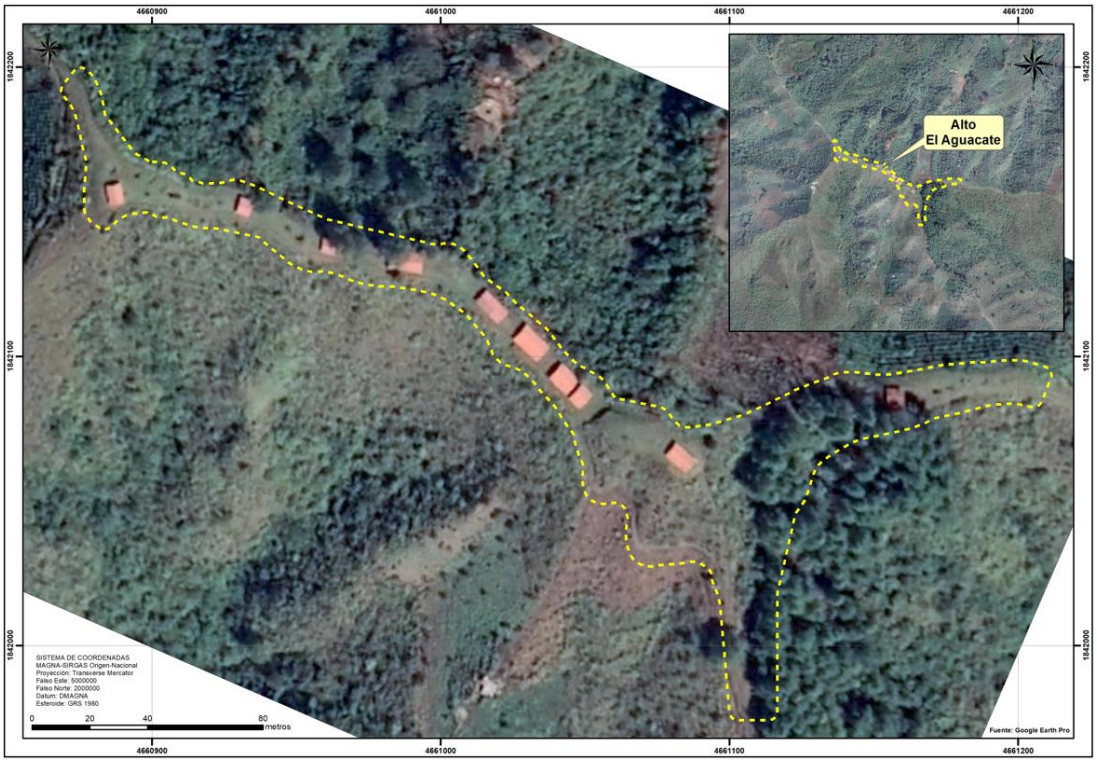


Figura. Imagen satelital del año 2020 para el Alto El Aguacate. Fuente: Google Earth Pro.

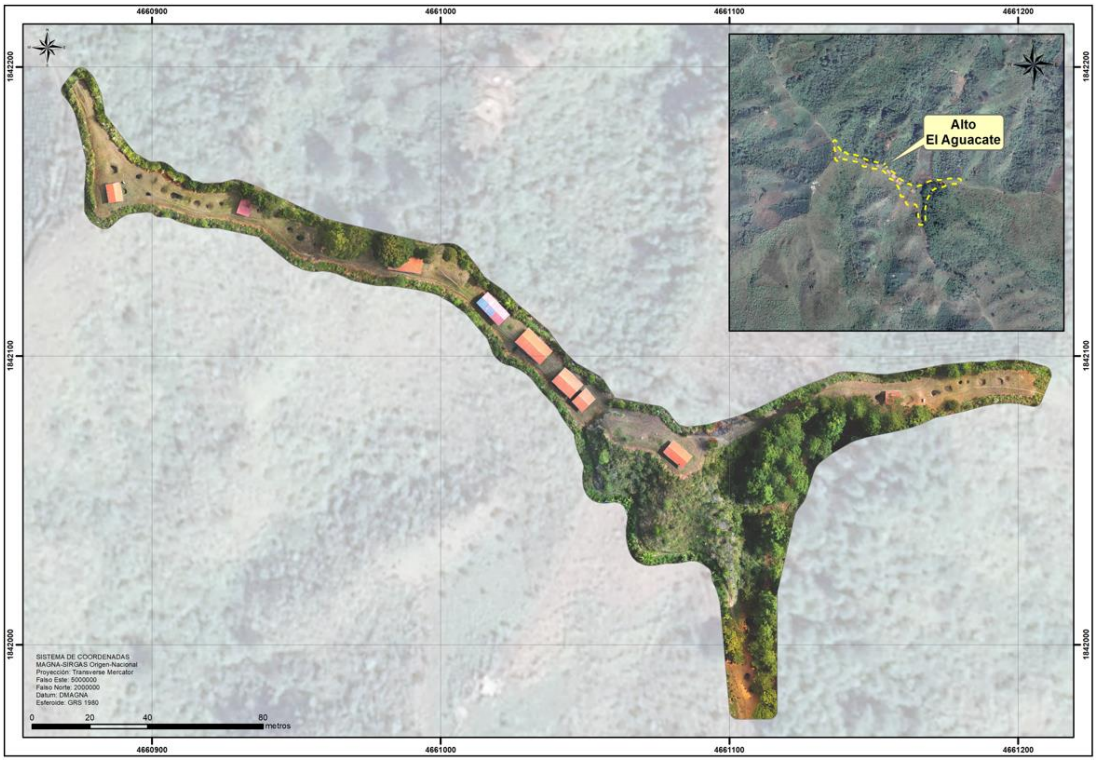


Figura. Ortofotomosaico del año 2023 para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

COBERTURA DE LA TIERRA

La cobertura de la tierra se realizó mediante la fotointerpretación visual de los ortofotomosaicos obtenidos a partir de los levantamientos aerofotogramétricos realizados en campo para cada uno de los Altos, representando cartográficamente la distribución de los tipos de coberturas presentes en la zona.

A continuación, se realiza la descripción del tipo de coberturas encontradas en los diferentes Altos y posteriormente se mostrarán los mapas resultantes de cada uno.

Tejido urbano discontinuo: Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación (*IGAC, 2010*).

Pastos limpios: Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70% ya que la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. En Colombia, se encuentran coberturas de pastos limpios asociadas con una amplia variedad de relieves y climas, con un desarrollo condicionado principalmente a las prácticas de manejo utilizadas según el nivel tecnológico disponible o las costumbres de cada región (*IGAC, 2010*).

Pastos enmalezados: Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos y malezas conformados por asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o a la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura de la vegetación secundaria es menor a 1,5 metros (*IGAC, 2010*).

Bosque de galería y ripario: Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario (*IGAC, 2010*).

Vegetación secundaria: Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre (*IGAC, 2010*).

Tierras desnudas y degradadas: Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas (*IGAC, 2010*).

Cobertura de la Tierra para el Alto de San Andrés:

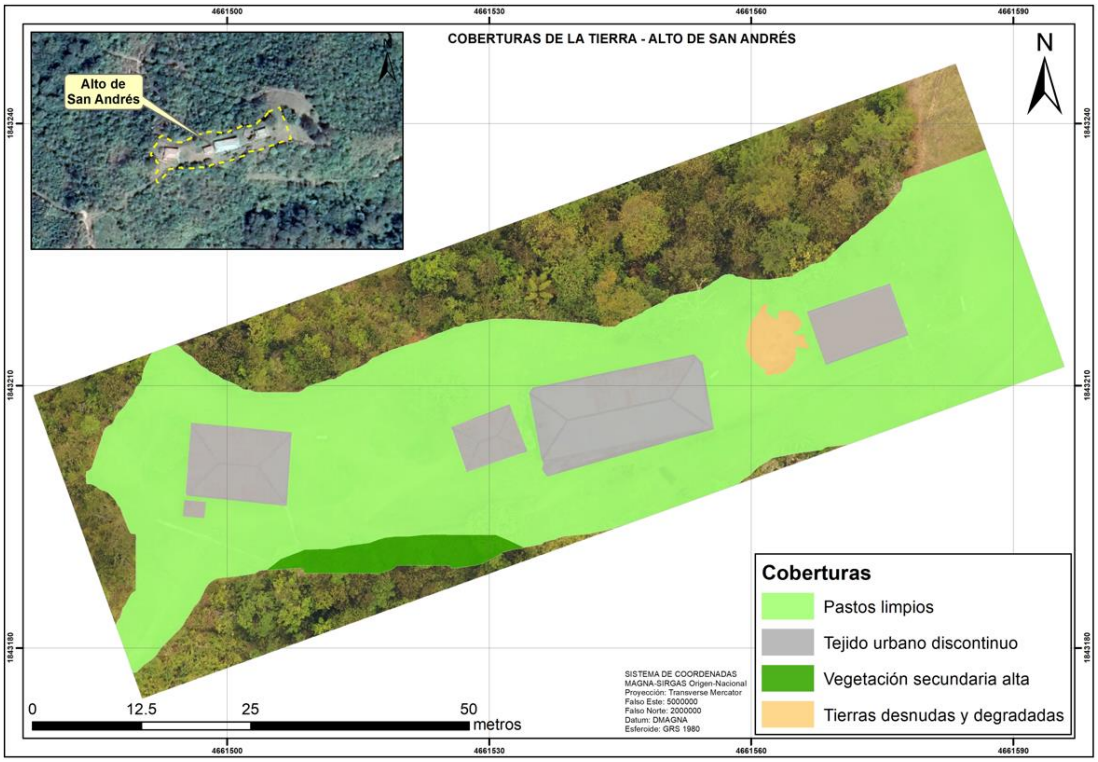


Figura. Mapa de coberturas de la tierra obtenido para el Alto de San Andrés sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de las coberturas para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Coberturas	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Pastos limpios	2090.07	80.17
Tejido urbano discontinuo	398.77	15.30
Vegetación secundaria alta	81.25	3.12
Tierras desnudas y degradadas	37.08	1.42
TOTAL	**2607.17**	**100**

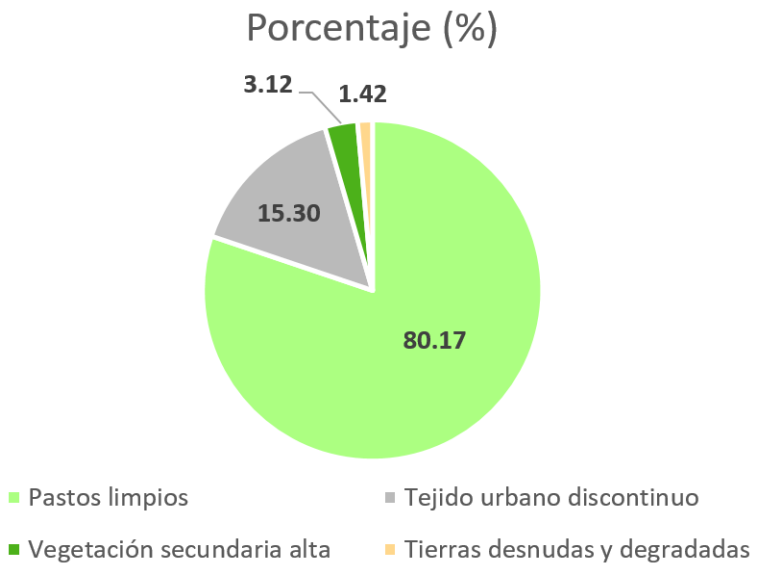


Figura. Porcentaje de coberturas para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

Cobertura de la Tierra para el Alto de Segovia:

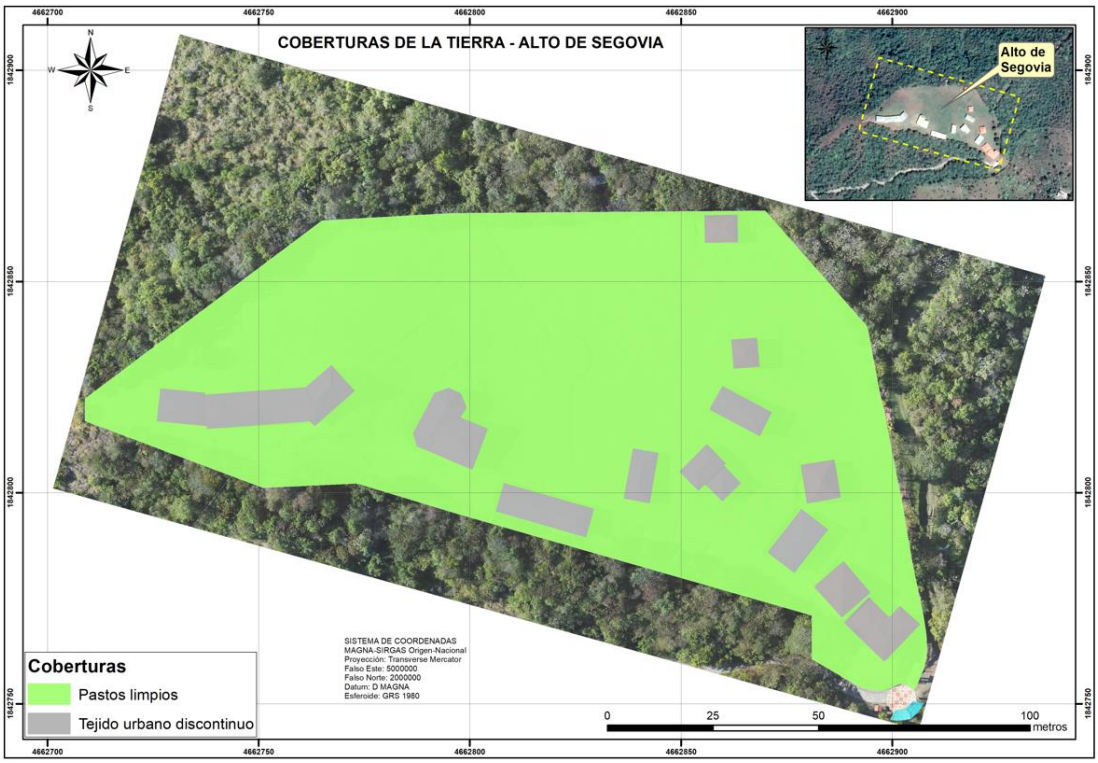


Figura. Mapa de coberturas de la tierra obtenido para el Alto de Segovia sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de las coberturas para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Coberturas	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Pastos limpios	11460.43	88.47
Tejido urbano discontinuo	1493.25	11.53
TOTAL	**12953.67**	**100**

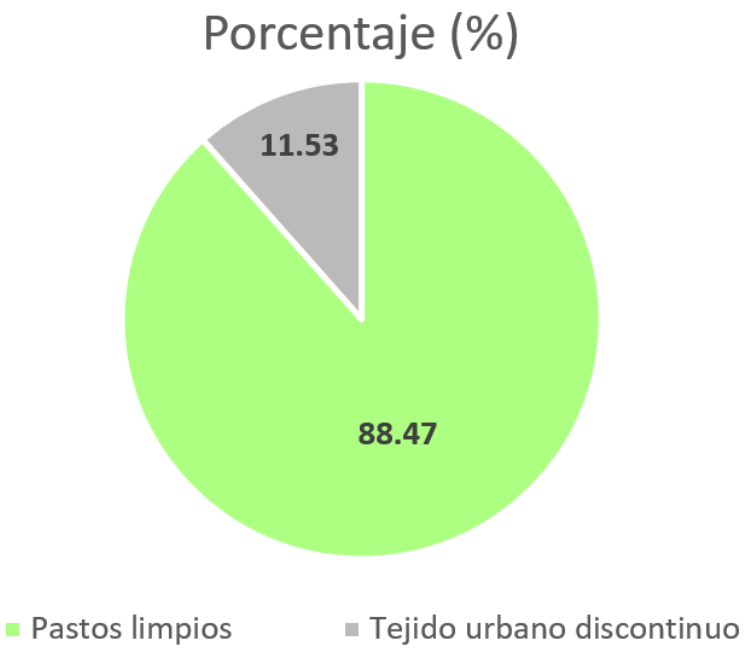


Figura. Porcentaje de coberturas para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

Cobertura de la Tierra para el Alto El Duende:



Figura. Mapa de coberturas de la tierra obtenido para el Alto El Duende sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de las coberturas para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Coberturas	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Pastos limpios	1456.25	72.64
Pastos enmalezados	232.88	11.62
Tejido urbano discontinuo	315.67	15.75
TOTAL	**2004.8**	**100**

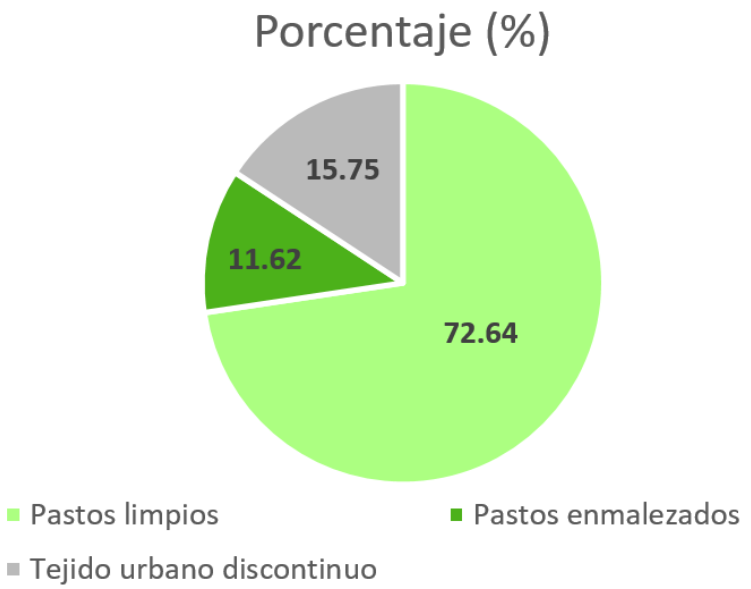


Figura. Porcentaje de coberturas para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

Cobertura de la Tierra para el Alto El Aguacate:

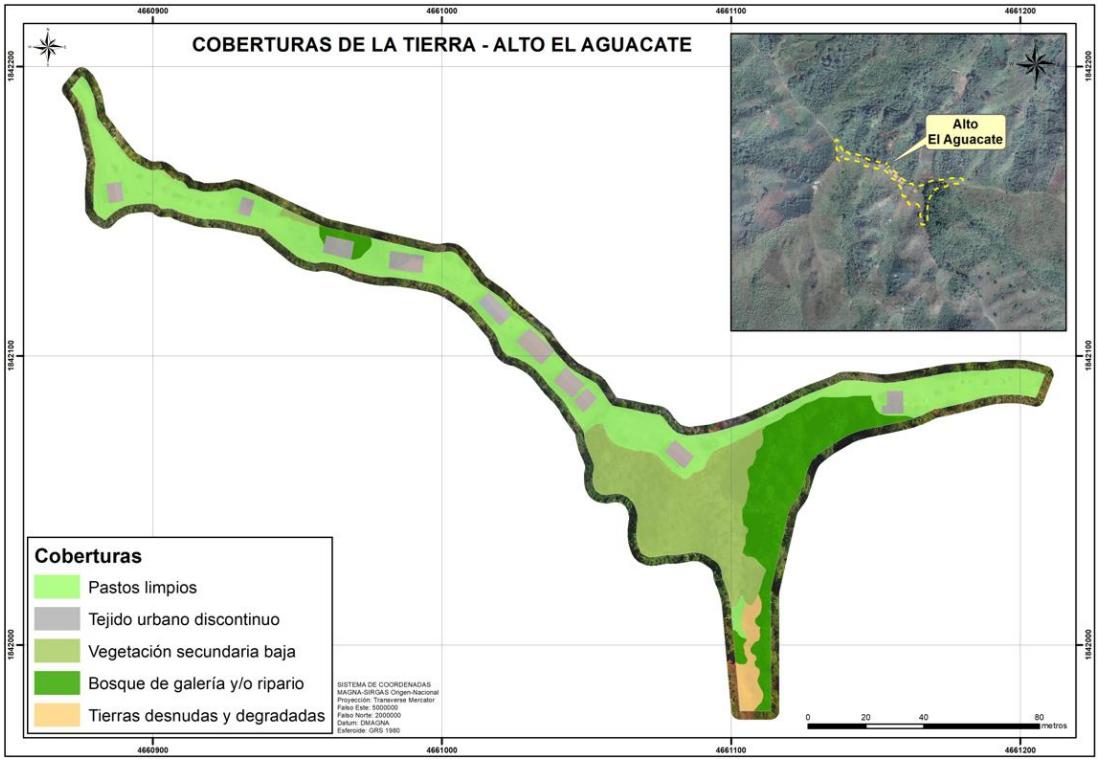


Figura. Mapa de coberturas de la tierra obtenido para el Alto El Aguacate sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de las coberturas para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Coberturas	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Pastos limpios	3286.92	44.27
Tejido urbano discontinuo	530.21	7.14
Vegetación secundaria baja	1865.91	25.13
Bosque de galería y/o ripario	1523.13	20.51
Tierras desnudas y degradadas	219.21	2.95
TOTAL	**7425.38**	**100**

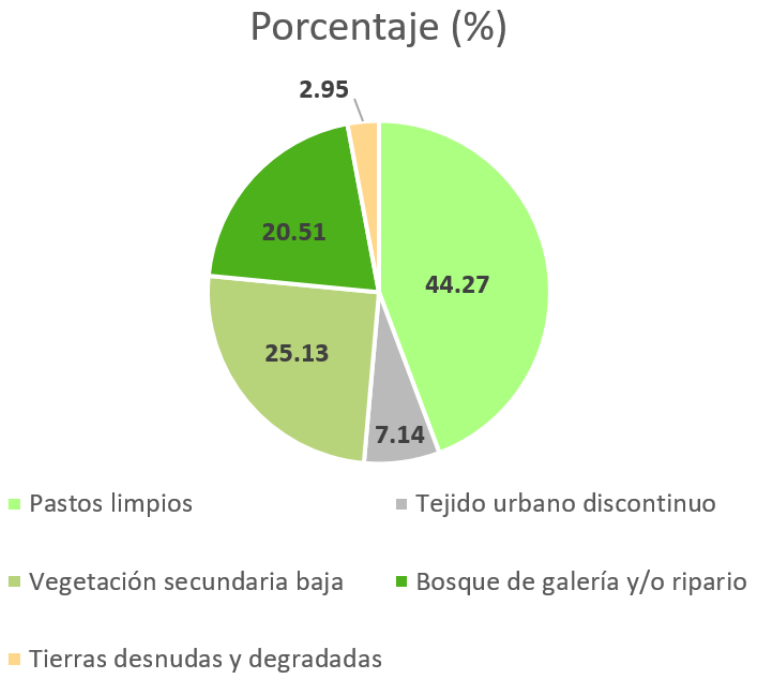


Figura. Porcentaje de coberturas para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

PENDIENTES DEL TERRENO

Las pendientes corresponden al ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, cuyo valor se expresa en grados de 0° a 90°. La pendiente se considera un factor importante en influir en la distribución de las aguas superficiales, ya que generalmente las inclinaciones del terreno influyen en la determinación de las zonas de infiltración, empozamiento y de escorrentía.

En este sentido, las pendientes más pronunciadas favorecen que el agua escurra, lo cual implica en una menor infiltración y en teoría un menor contenido de humedad en el terreno.

Por el contrario, pasa con las pendientes más planas, al no tener el agua hacia donde evacuar, el agua se empoza en la superficie y se infiltra con mayor facilidad en el terreno, aumentando el grado de saturación de los suelos.

A continuación, se presentan los mapas de pendientes con el fin de observar las variaciones de las inclinaciones en cada uno de los Altos.

Pendientes del terreno para el Alto de San Andrés:

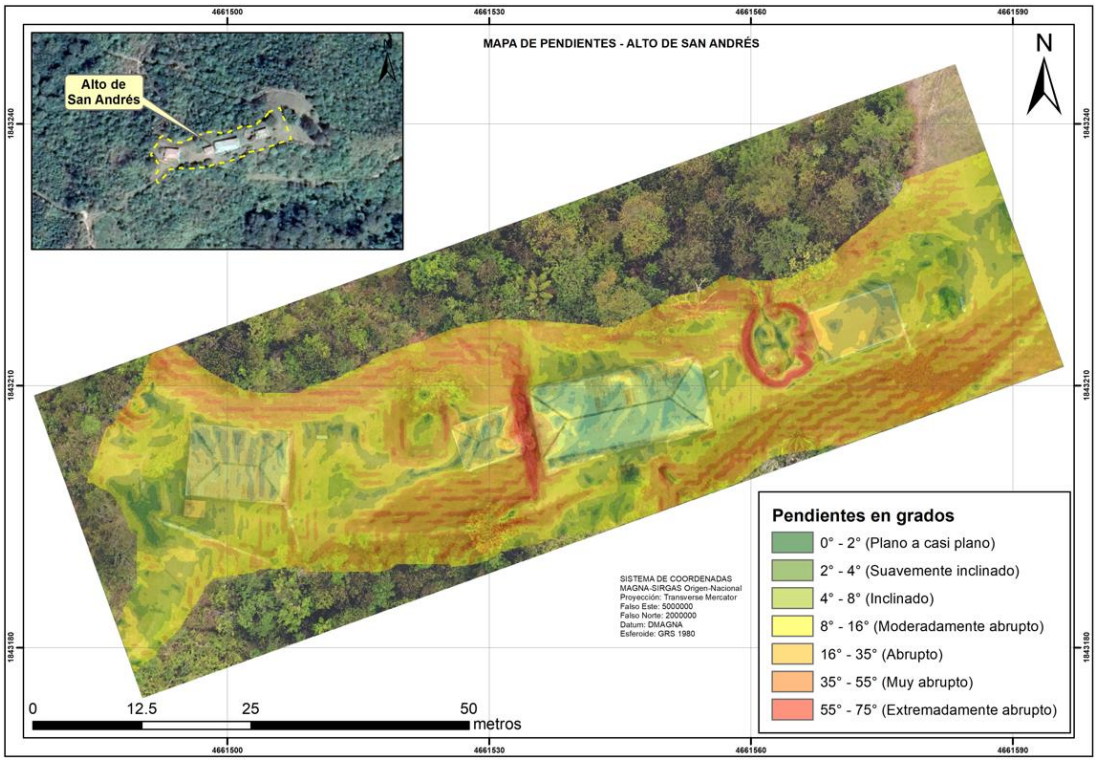


Figura. Mapa de pendientes obtenido para el Alto de San Andrés sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de las pendientes para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Rango de Pendientes en Grados (°)	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
0° - 2° (Plano a casi plano)	67.64	2.62
2° - 4° (Suavemente inclinado)	251.24	9.74
4° - 8° (Inclinado)	496.17	19.23
8° - 16° (Moderadamente abrupto)	675.1	26.16
16° - 35° (Abrupto)	799.68	30.99
35° - 55° (Muy abrupto)	250.48	9.71
55° - 75° (Extremadamente abrupto)	40	1.55
TOTAL	**2580.31**	**100**

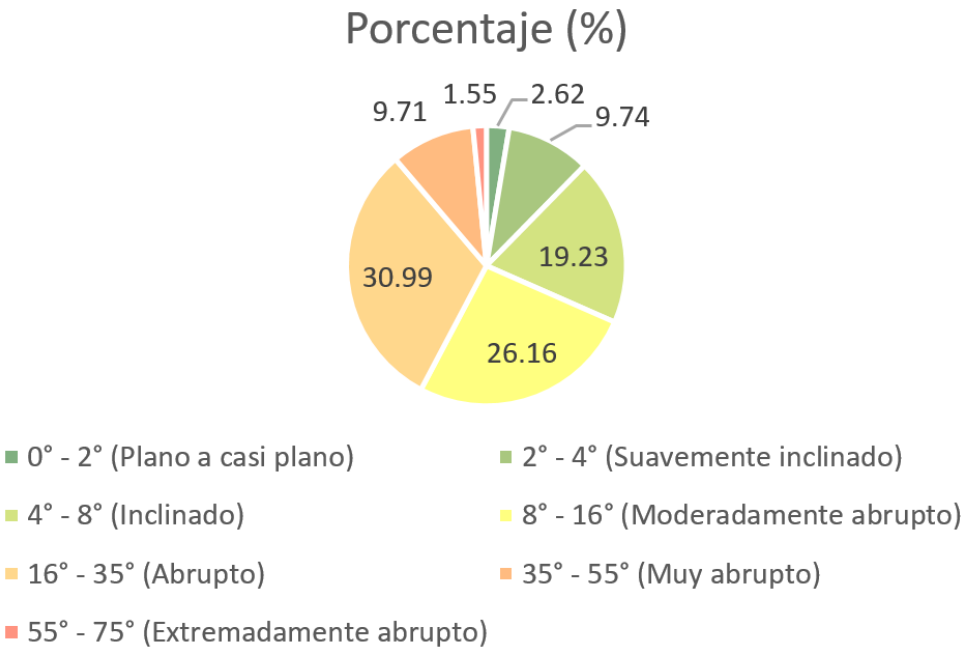


Figura. Porcentaje de las pendientes para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

Pendientes del terreno para el Alto de Segovia:

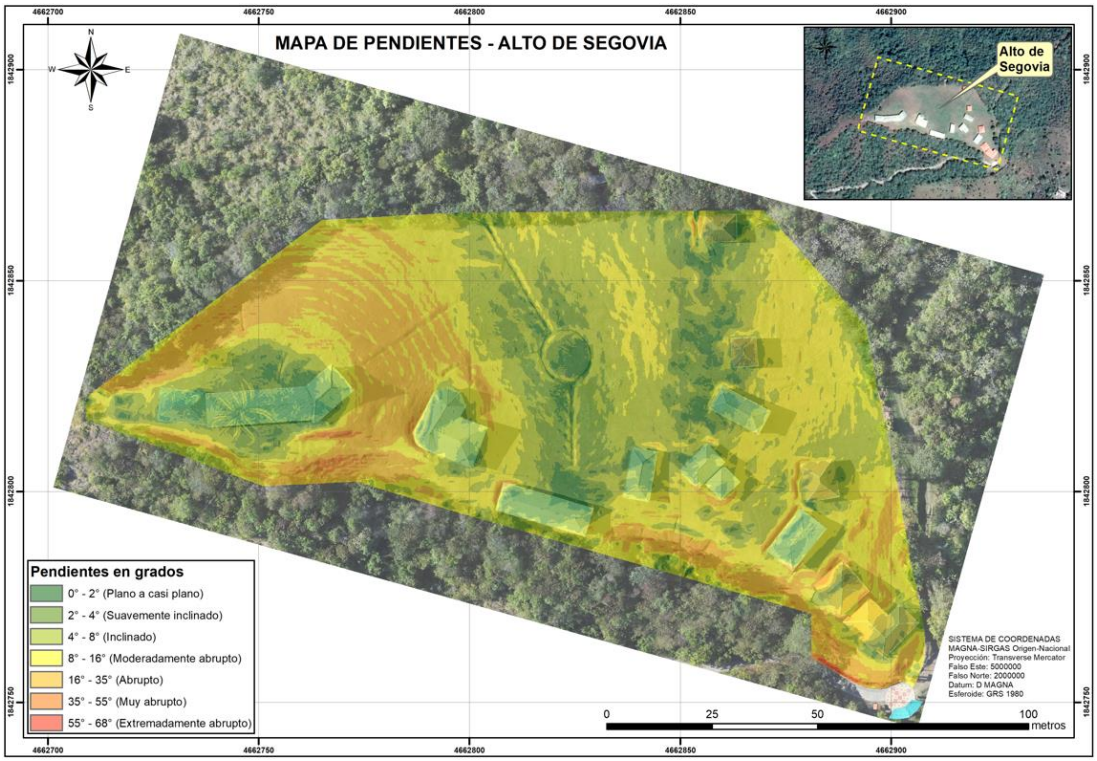


Figura. Mapa de pendientes obtenido para el Alto de Segovia sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de las pendientes para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Rango de Pendientes en Grados (°)	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
0° - 2° (Plano a casi plano)	714.17	5.53
2° - 4° (Suavemente inclinado)	2109.98	16.35
4° - 8° (Inclinado)	3748.93	29.05
8° - 16° (Moderadamente abrupto)	3821.58	29.61
16° - 35° (Abrupto)	2394.76	18.56
35° - 55° (Muy abrupto)	108.6	0.84
55° - 68° (Extremadamente abrupto)	7.13	0.06
TOTAL	**12905.15**	**100**

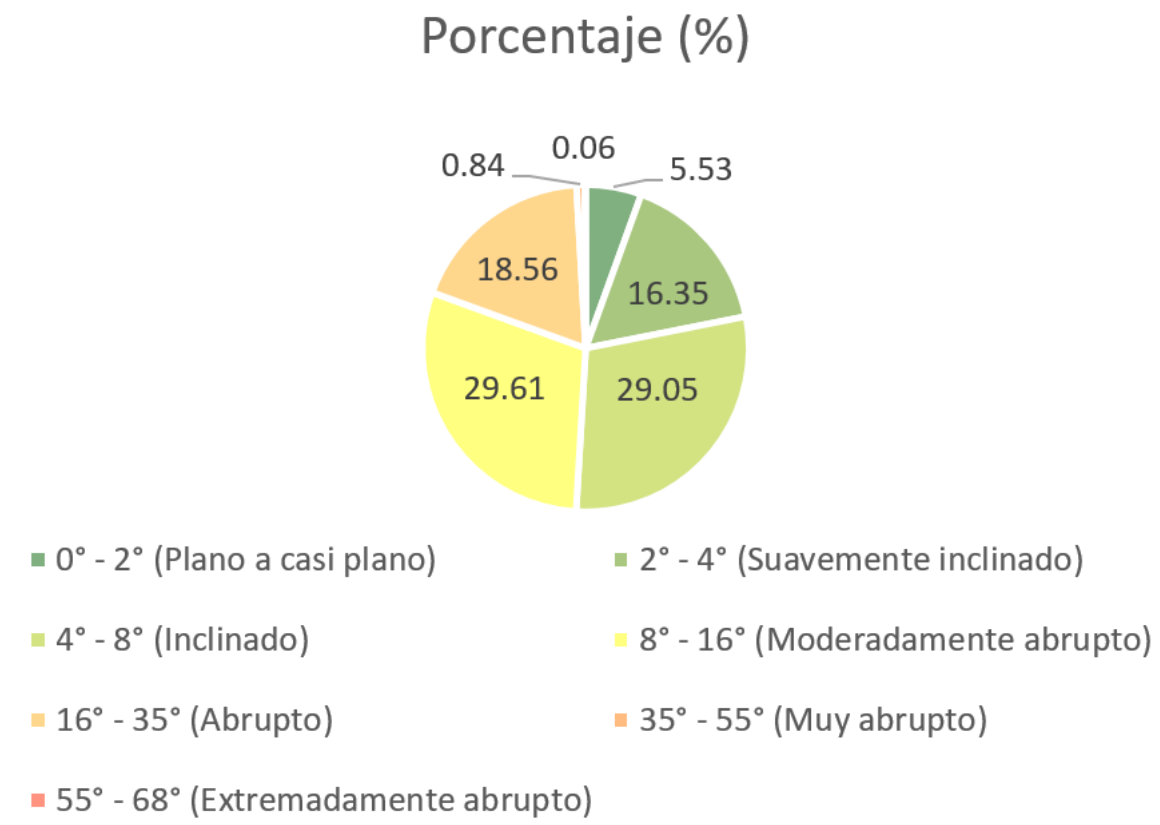


Figura. Porcentaje de las pendientes para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

Pendientes del terreno para el Alto El Duende:

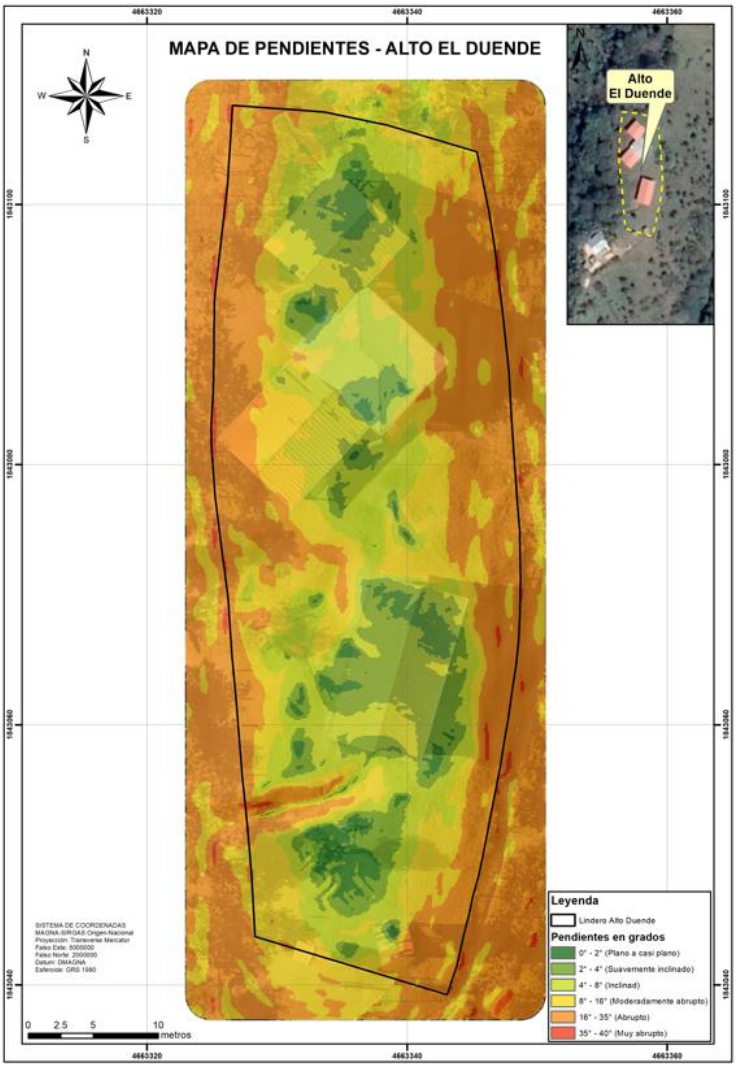


Figura. Mapa de pendientes obtenido para el Alto El Duende sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de las pendientes para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Rango de Pendientes en Grados (°)	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
0° - 2° (Plano a casi plano)	64.15	3.22
2° - 4° (Suavemente inclinado)	200.84	10.10
4° - 8° (Inclinado)	352.87	17.74
8° - 16° (Moderadamente abrupto)	498.88	25.08
16° - 35° (Abrupto)	856.15	43.04
35° - 40° (Muy abrupto)	16.45	0.83
TOTAL	**1989.34**	**100**

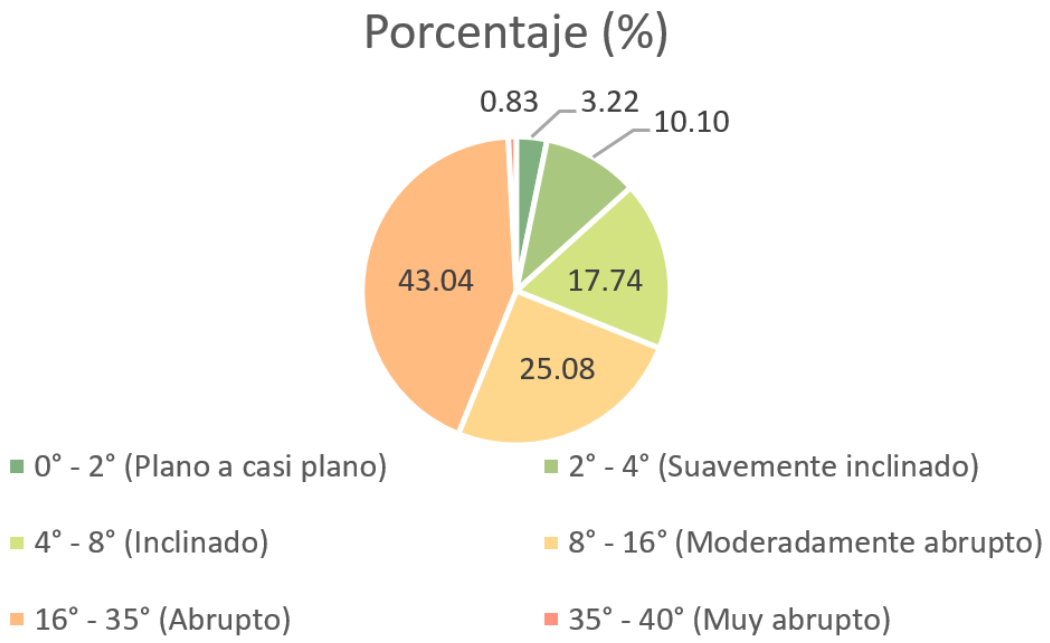


Figura. Porcentaje de las pendientes para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

Pendientes del terreno para el Alto El Aguacate:

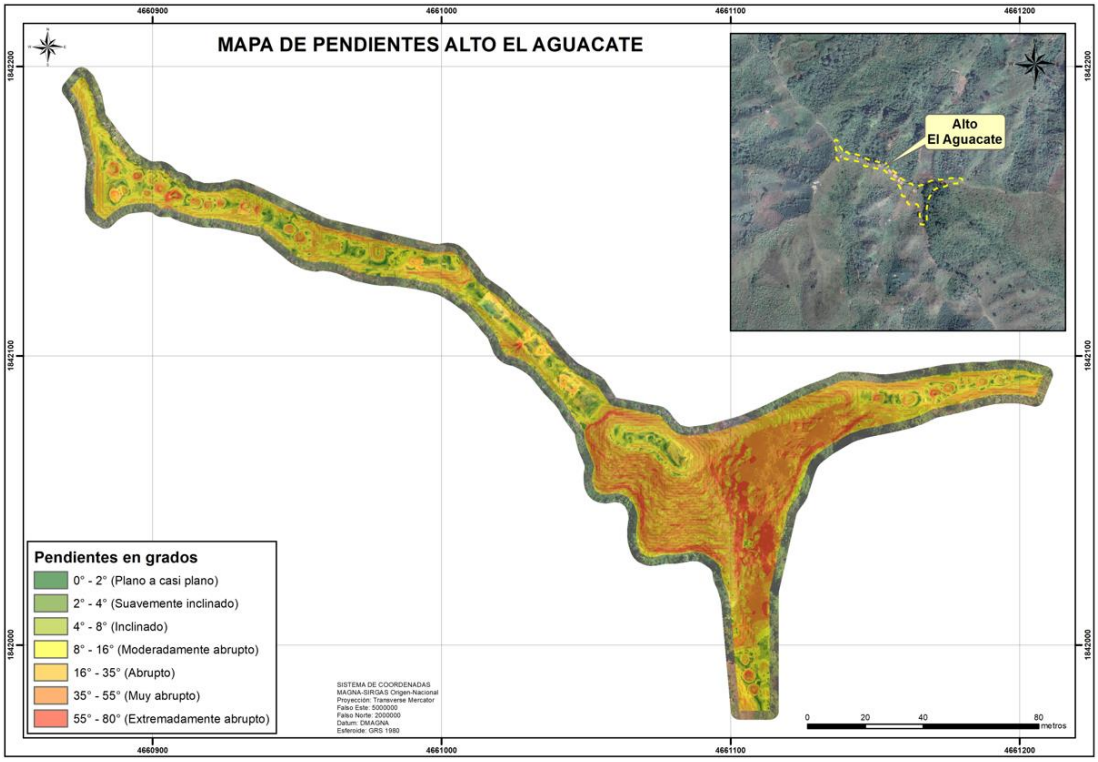


Figura. Mapa de pendientes obtenido para el Alto El Aguacate sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de las pendientes para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Rango de Pendientes en Grados (°)	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
0° - 2° (Plano a casi plano)	101.79	1.39
2° - 4° (Suavemente inclinado)	279.58	3.81
4° - 8° (Inclinado)	758.06	10.33
8° - 16° (Moderadamente abrupto)	1523.15	20.76
16° - 35° (Abrupto)	2313.43	31.53
35° - 55° (Muy abrupto)	1860.59	25.36
55° - 80° (Extremadamente abrupto)	499.56	6.81
TOTAL	**7336.16**	**100**

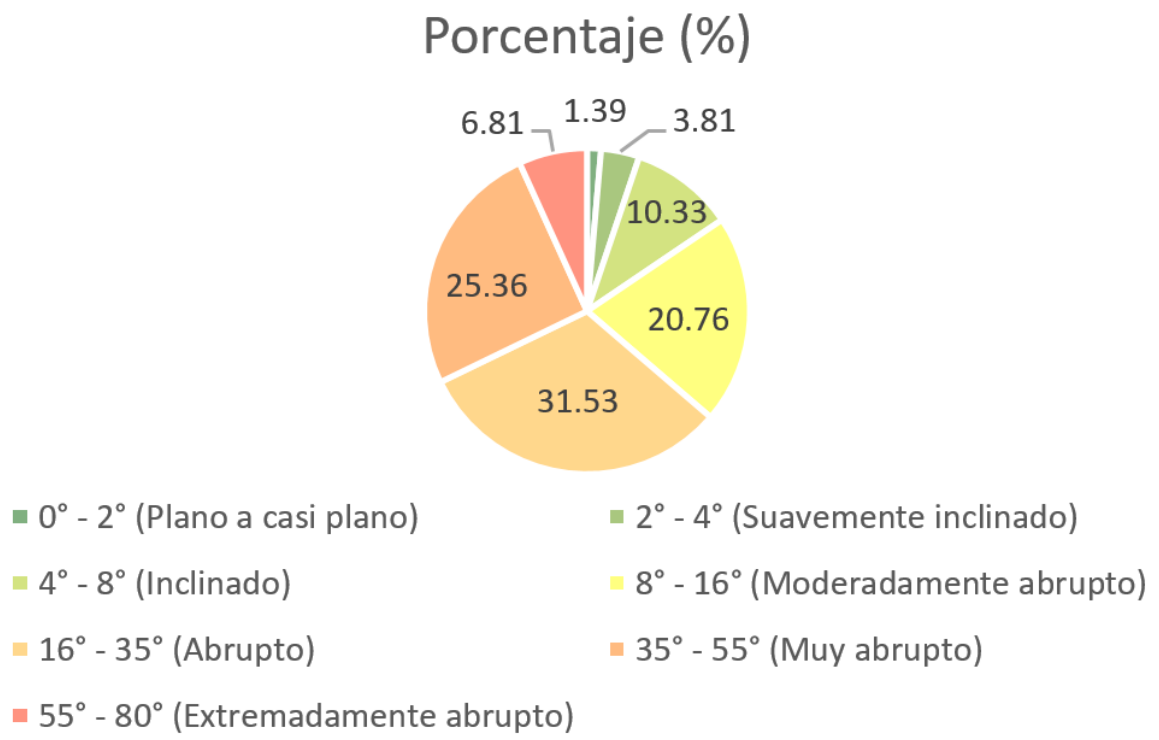


Figura. Porcentaje de las pendientes para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

IDENTIFICACIÓN DE LAS DIRECCIONES DE FLUJO DE AGUA LLUVIA

La identificación de las direcciones de flujo de agua lluvia, respecto a los puntos cardinales, sobre la superficie de cada uno de los Altos analizados, se logró mediante procesos y análisis en los softwares especializados ArcGIS y Surfer para lograr observar de manera precisa el movimiento del agua sobre el terreno. Estas direcciones de flujo están influenciadas principalmente por las pendientes del terreno, siendo un factor fundamental que determina el recorrido del flujo de agua superficial. En este sentido, el agua tiende a moverse desde áreas más altas hacia áreas más bajas debido a la gravedad. La visualización de las direcciones de flujo sirve para conocer la trayectoria que tomará el flujo de agua superficial, la cual contribuirá en gran medida a las aguas de escorrentía y posteriormente a los empozamientos.

A continuación, se presentan los mapas resultantes para cada uno de los Altos con perspectivas 2D y 3D:

Direcciones de Flujo Alto de San Andrés:

A continuación, se representa gráficamente las direcciones de flujo obtenidas para el Alto de San Andrés, utilizando de fondo el ortofotomosaico para un mejor entendimiento de cómo se distribuyen las aguas sobre toda la superficie de estudio. Como se observa en el siguiente mapa, las direcciones de flujo recorren todo el Alto principalmente en dirección noreste, terminado de distribuirse hacia las laderas perimetrales que poseen las mayores pendientes.

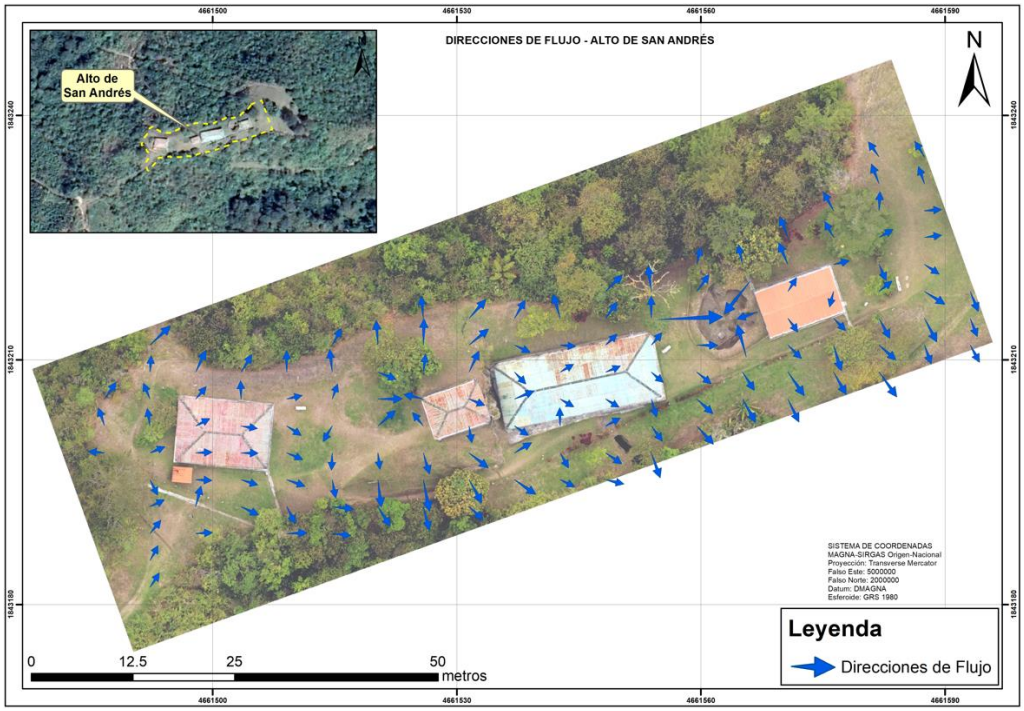


Figura. Direcciones de flujo obtenidas para el Alto de San Andrés sobre ortofotomosaico.
Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el software Surfer para visualizar en tres dimensiones el comportamiento de las direcciones de flujo sobre el terreno, con el fin de tener una perspectiva más realista del área de interés.

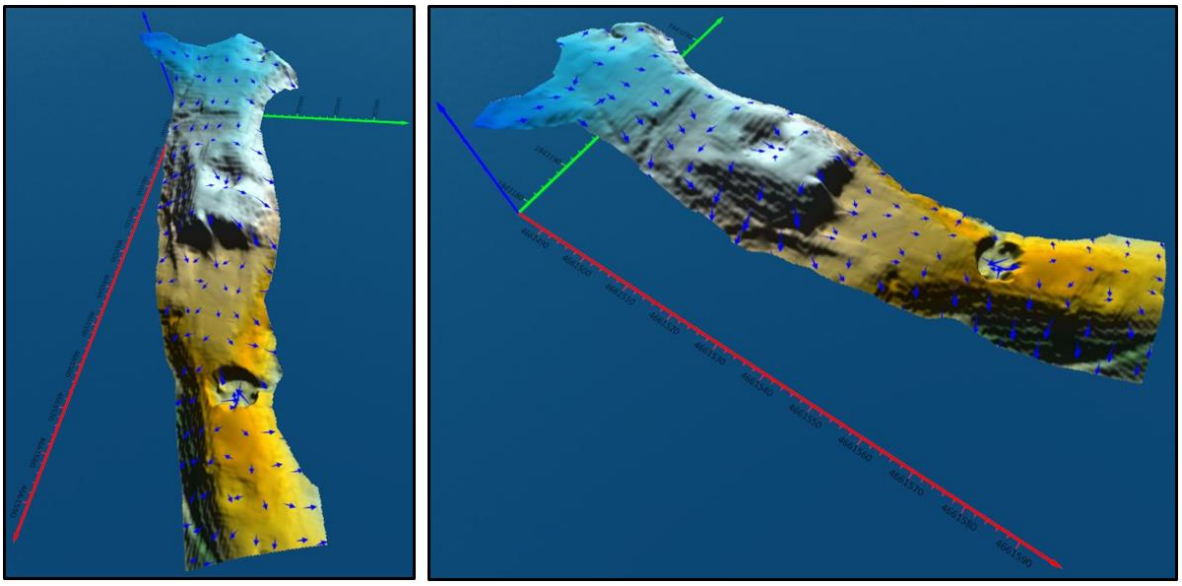


Figura. Direcciones de flujo 3D obtenidas para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

Direcciones de Flujo Alto de Segovia:

A continuación, se representa gráficamente las direcciones de flujo obtenidas para el Alto de Segovia, utilizando de fondo el ortofotomosaico para un mejor entendimiento de cómo se distribuyen las aguas sobre toda la superficie de estudio. Como se observa en el siguiente mapa, las direcciones de flujo provienen principalmente de la zona alta del Alto de Segovia localizada al oeste del área analizada, donde se ubican los hipogeos S-9, S-10, S-11 y S-12; recorriendo el terreno y terminando principalmente en la zona central donde se ubican sistemas de drenaje superficial para el manejo de aguas. Las demás direcciones de flujo se distribuyen hacia las laderas perimetrales que poseen las mayores pendientes de la zona.

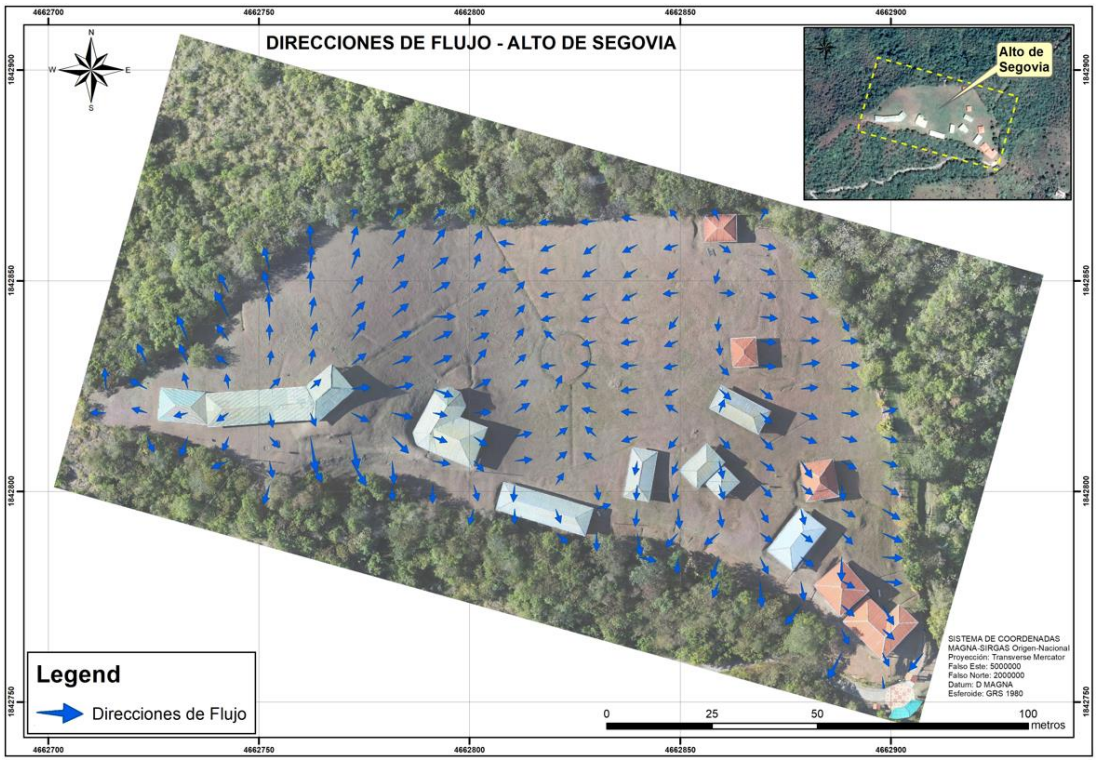
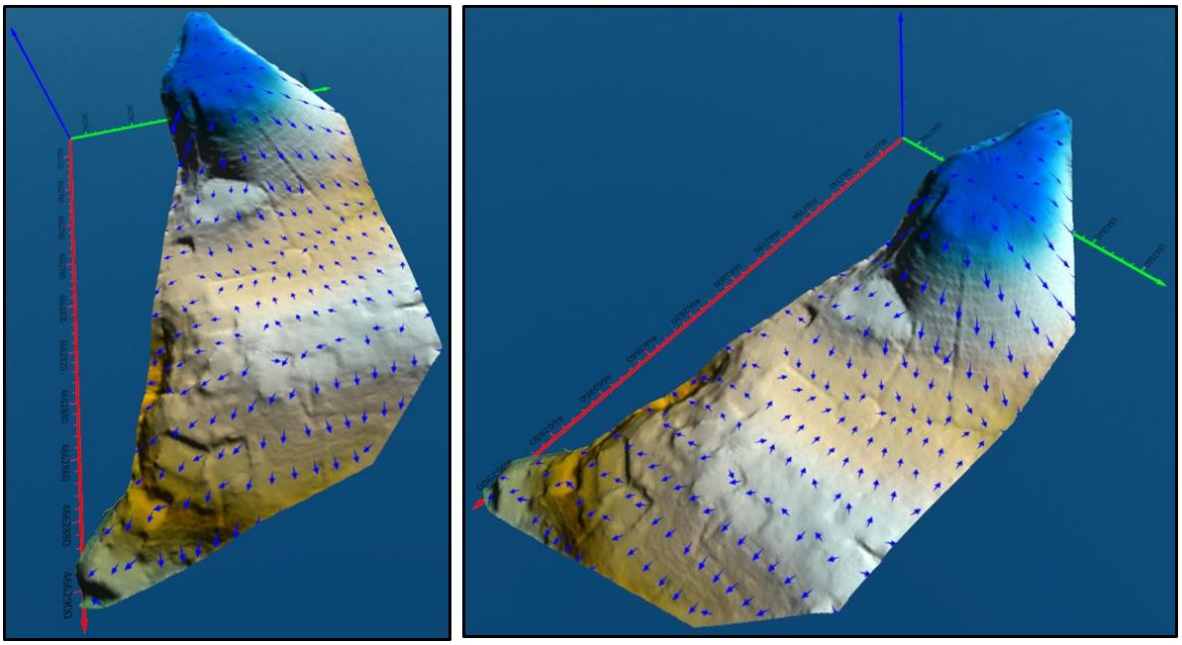


Figura. Direcciones de flujo obtenidas para el Alto de Segovia sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el software Surfer para visualizar en tres dimensiones el comportamiento de las direcciones de flujo sobre el terreno, con el fin de tener una perspectiva más realista del área de interés.


Figura. Direcciones de flujo 3D obtenidas para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

Direcciones de Flujo Alto El Duende:

A continuación, se representa gráficamente las direcciones de flujo obtenidas para el Alto El Duende, utilizando de fondo el ortofotomosaico para un mejor entendimiento de cómo se distribuyen las aguas sobre toda la superficie de estudio. Como se observa en el siguiente mapa, las direcciones de flujo recorren todo el Alto, primordialmente en sentido norte-sur, terminado de distribuirse hacia las laderas perimetrales en sentido este-oeste donde se localizan las mayores pendientes del terreno.

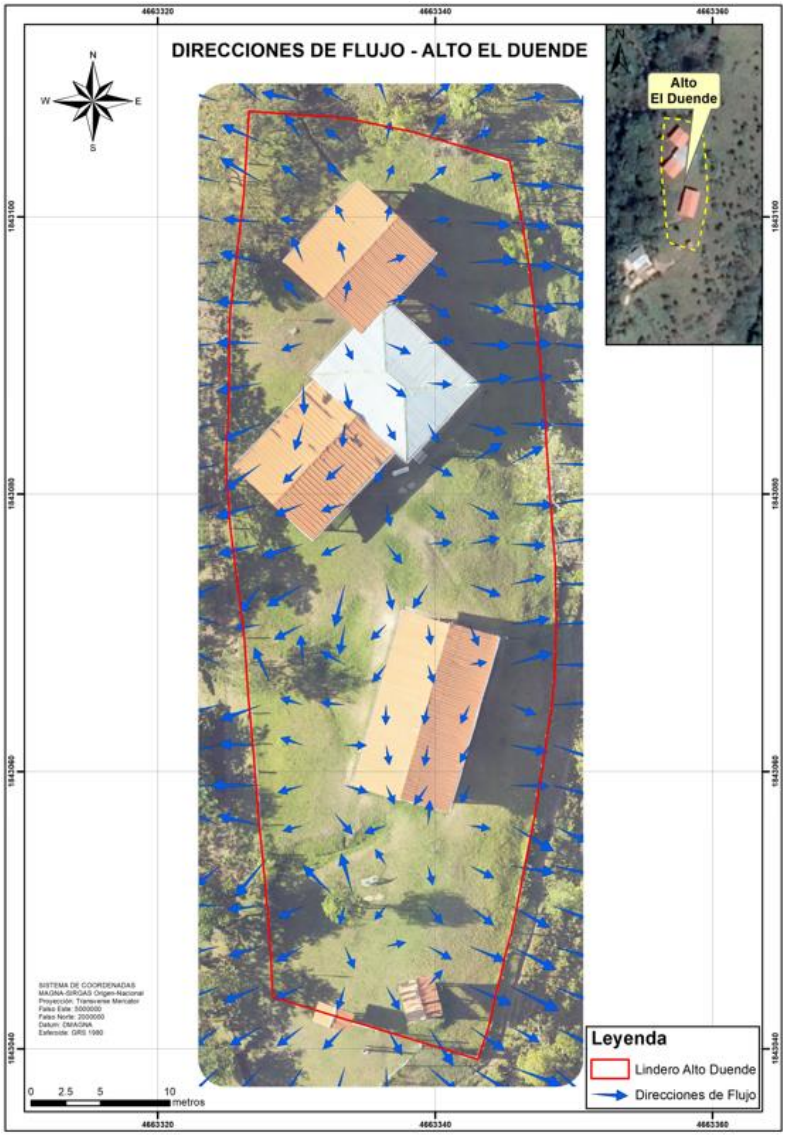


Figura. Direcciones de flujo obtenidas para el Alto El Duende sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el software Surfer para visualizar en tres dimensiones el comportamiento de las direcciones de flujo sobre el terreno, con el fin de tener una perspectiva más realista del área de interés.

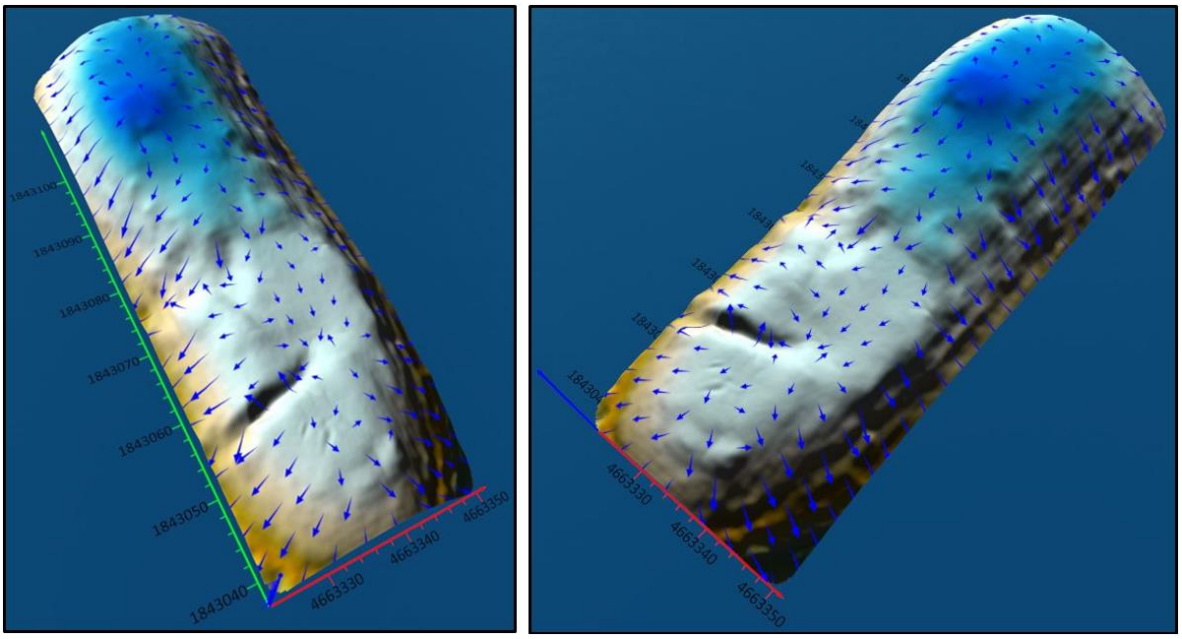


Figura. Direcciones de flujo 3D obtenidas para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

Direcciones de Flujo Alto El Aguacate:

A continuación, se representa gráficamente las direcciones de flujo obtenidas para el Alto El Aguacate, utilizando de fondo el ortofotomosaico para un mejor entendimiento de cómo se distribuyen las aguas sobre toda la superficie de estudio. Como se observa en el siguiente mapa, las direcciones de flujo se distribuyen especialmente hacia las laderas perimetrales que corresponden a los costados de las divisorias de las cuencas hidrográficas que componen este Alto, lo que equivale a las zonas de mayor pendiente del área de estudio.

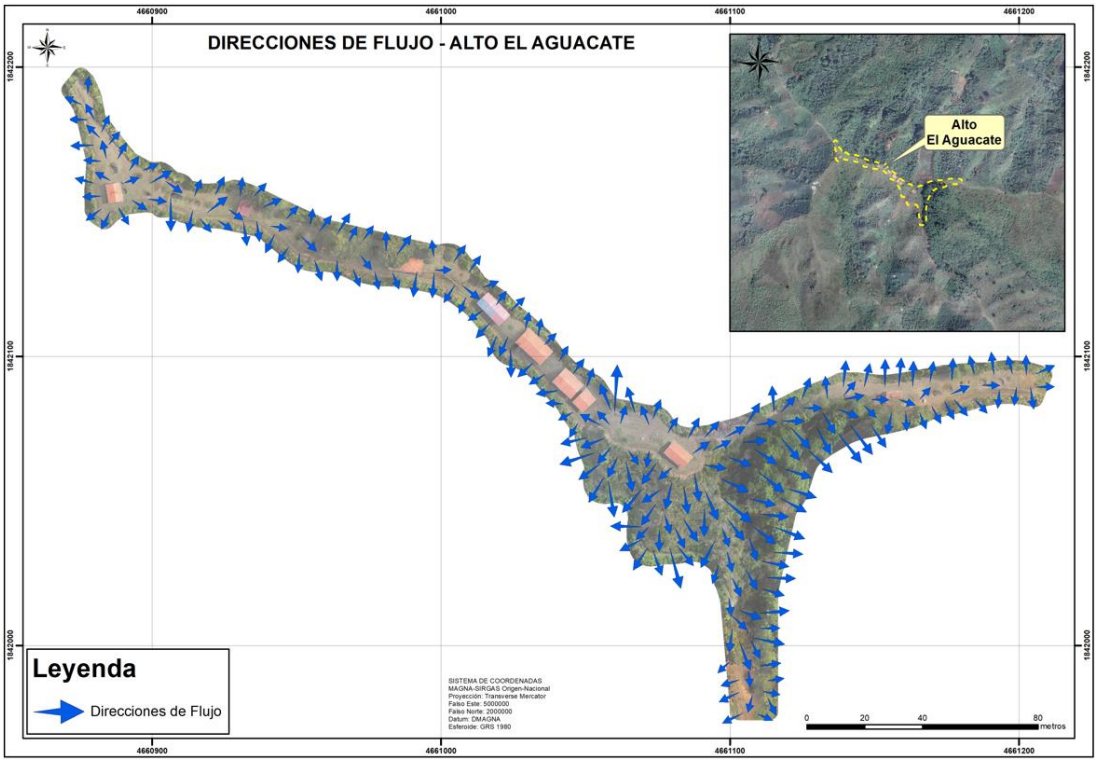


Figura. Direcciones de flujo obtenidas para el Alto El Aguacate sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el software Surfer para visualizar en tres dimensiones el comportamiento de las direcciones de flujo sobre el terreno, con el fin de tener una perspectiva más realista del área de interés.

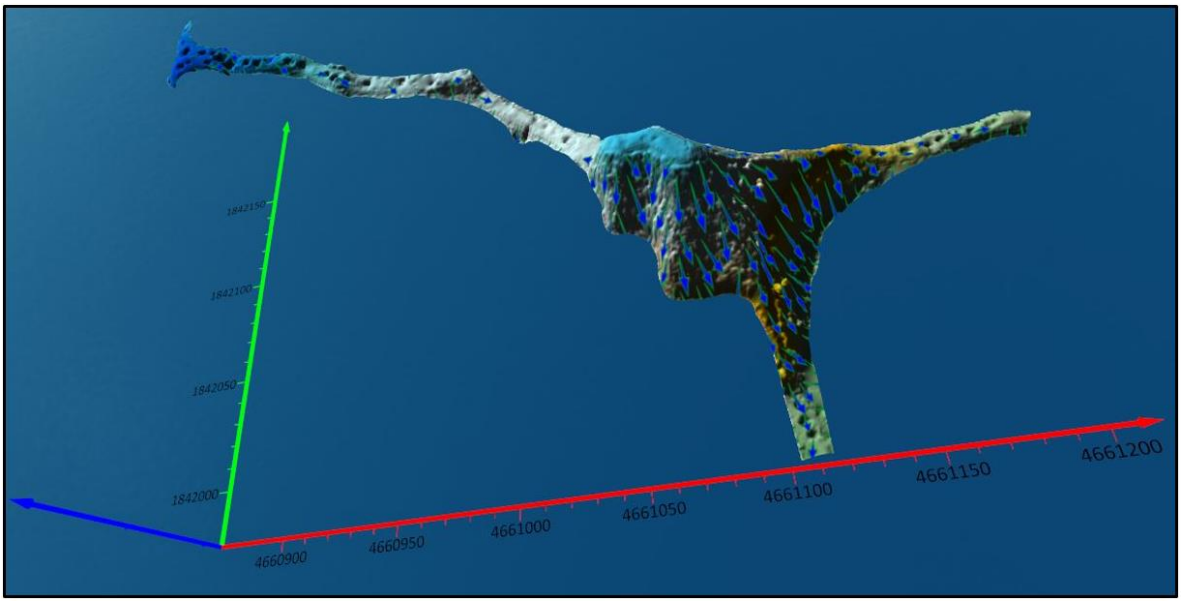


Figura. Direcciones de flujo 3D obtenidas para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE INFILTRACIÓN Y DE ESCORRENTÍA

La identificación de las zonas de infiltración y de escorrentía para cada uno de los Altos analizados, se obtuvo mediante análisis y operaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG), teniendo en cuenta el comportamiento del terreno respecto a los factores condicionantes que lo constituyen. Estas zonas permiten reconocer qué tan propenso es el entorno a infiltrarse y donde se ubican las áreas de escorrentía superficial.

Es de mencionar, que las coberturas de la tierra influyen directamente en las infiltraciones, condicionando la cantidad de agua que ingresa en el suelo, ya que dependido del tipo de cobertura, esta puede facilitar o limitar la infiltración según su permeabilidad lo permita. En todos los Altos, la cobertura de la tierra que predomina son los pastos limpios, la cual, en comparación con otro tipo de coberturas más densas o frondosas, tienen mayor capacidad de infiltración, permitiendo más fácilmente la absorción y el ingreso de agua en el suelo.

Por otra parte, las inclinaciones del terreno, contribuyen de manera directa en la velocidad de escorrentía y, por ende, en la infiltración. En este sentido, en áreas con pendientes pronunciadas, el agua puede moverse más rápidamente sobre la superficie, reduciendo la oportunidad de infiltración. Por el contrario, las pendientes más planas a suavemente inclinadas, pueden influir en la distribución espacial de la infiltración, ya que al no tener el agua hacia donde evacuar, se infiltra con mayor facilidad en el terreno.

Así mismo, las direcciones de flujo de agua, permiten identificar y visualizar el movimiento del agua sobre la superficie del suelo. En esencia, el agua tiende a moverse de zonas más elevadas a zonas más bajas debido a la gravedad. La visualización de estas direcciones de flujo es valiosa para comprender la trayectoria del agua superficial, lo cual es crucial para entender las aguas de escorrentía y las posibles infiltraciones que puedan ocurrir.

Vale la pena recalcar que los resultados son regionales y buscan delimitar zonas de infiltración y zonas de escorrentía, más no establecer la intensidad de la mismas, ya que para esto se requieren de otros insumos de detalle, como por ejemplo estudios geotécnicos y estudios geofísicos.

También es de destacar, que no necesariamente las zonas de infiltración de agua es un factor negativo que resulte directamente perjudicial para los hipogeos, ya que de alguna manera se ha identificado que la roca que componen los hipogeos necesita de un equilibrio de humedad, ni muy húmeda ni muy seca, para preservarse y mantenerse estable, beneficiando el estado de conservación de los hipogeos. Por tal razón no necesariamente las zonas identificadas como infiltración significan que se van a ver afectados los hipogeos de manera directa. En este sentido, no se sugiere impermeabilizar todas las áreas identificadas como zonas de infiltración o de empozamientos, solo los hipogeos que presentan afectaciones por humedad directa de agua, que normalmente son lo que presentan mayores

afectaciones estructurales por fracturamiento o diaclasamiento, ya que se aumenta su permeabilidad.

Zonas de Infiltración y de Escorrentía Alto de San Andrés:

A continuación, en el mapa resultante para el Alto de San Andrés, se observa como la mayor parte del área presenta zonas susceptibles a infiltración por acción directa de las aguas lluvia que caen directamente en el terreno y se distribuye espacialmente casi de manera homogénea por todo el Alto, a excepción de las zonas con mayores pendientes. De acuerdo a las estadísticas generadas, aproximadamente el 67% del área de análisis del Alto de San Andrés presenta infiltración del agua que se precipita sobre este sector. Por otra parte, el otro 33% corresponde a zonas de escorrentía, donde el agua escurre y se distribuye por efectos de la gravedad hacia las laderas perimetrales que son las zonas de mayor pendiente del terreno, lo que en consecuencia genera menos infiltración y menor contenido de humedad en el área.

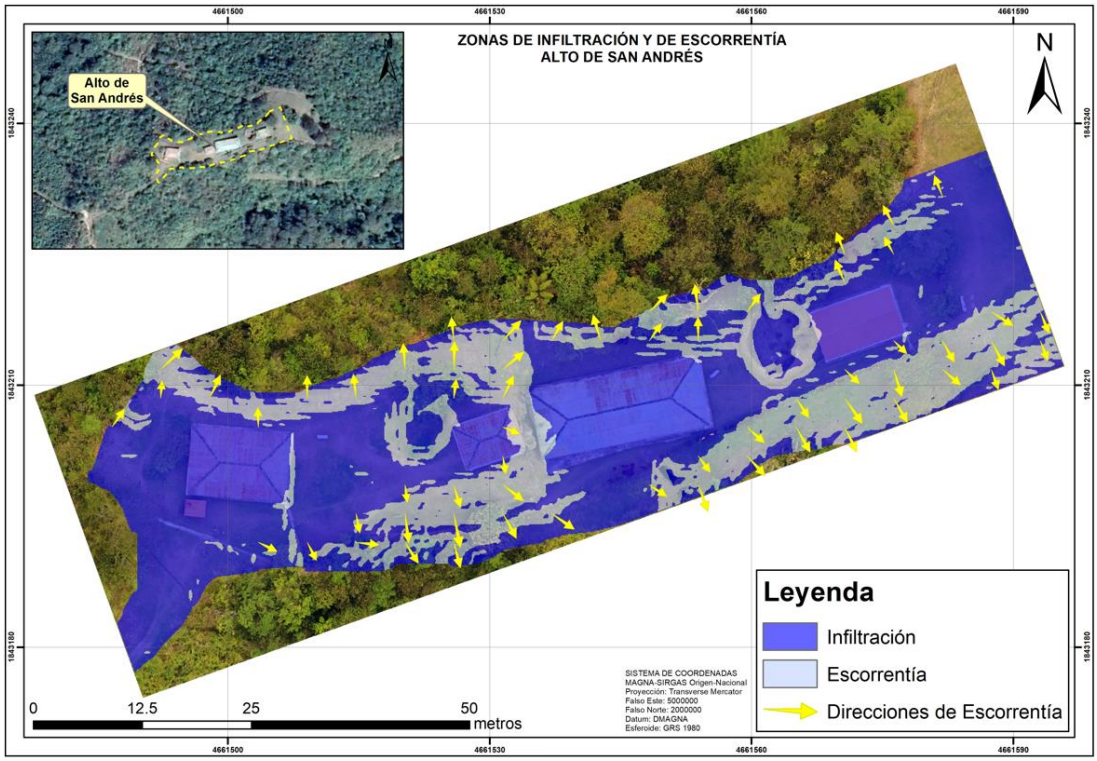


Figura. Zonas de Infiltración y de Escorrentía obtenidas para el Alto de San Andrés sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de la Infiltración y Escorrentía para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Clasificación	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Infiltración	1728.09	66.97
Escorrentía	852.22	33.03
TOTAL	**2580.31**	**100**

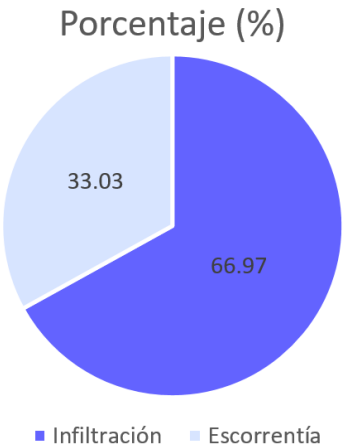


Figura. Porcentaje de Infiltración y Escorrentía para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

Zonas de Infiltración y de Escorrentía Alto de Segovia:

A continuación, en el mapa resultante para el Alto de Segovia, se observa como la mayor parte del área presenta zonas susceptibles a infiltración por acción directa de las aguas lluvia que caen directamente en el terreno y se distribuye espacialmente casi de manera homogénea por todo el Alto debido principalmente a la geometría del terreno que corresponde a pendientes moderadamente inclinadas, a excepción de las zonas con pendientes más pronunciadas. De acuerdo a las estadísticas generadas, aproximadamente el 90% del área de análisis del Alto de Segovia presenta infiltración del agua que se precipita sobre este sector. Por otra parte, el otro 10% corresponde a zonas de escorrentía, donde el agua lluvia escurre y se distribuye por efectos de la gravedad hacia las laderas perimetrales que son las zonas de mayor pendiente del terreno, lo que en consecuencia genera menos infiltración y menor contenido de humedad en el área.

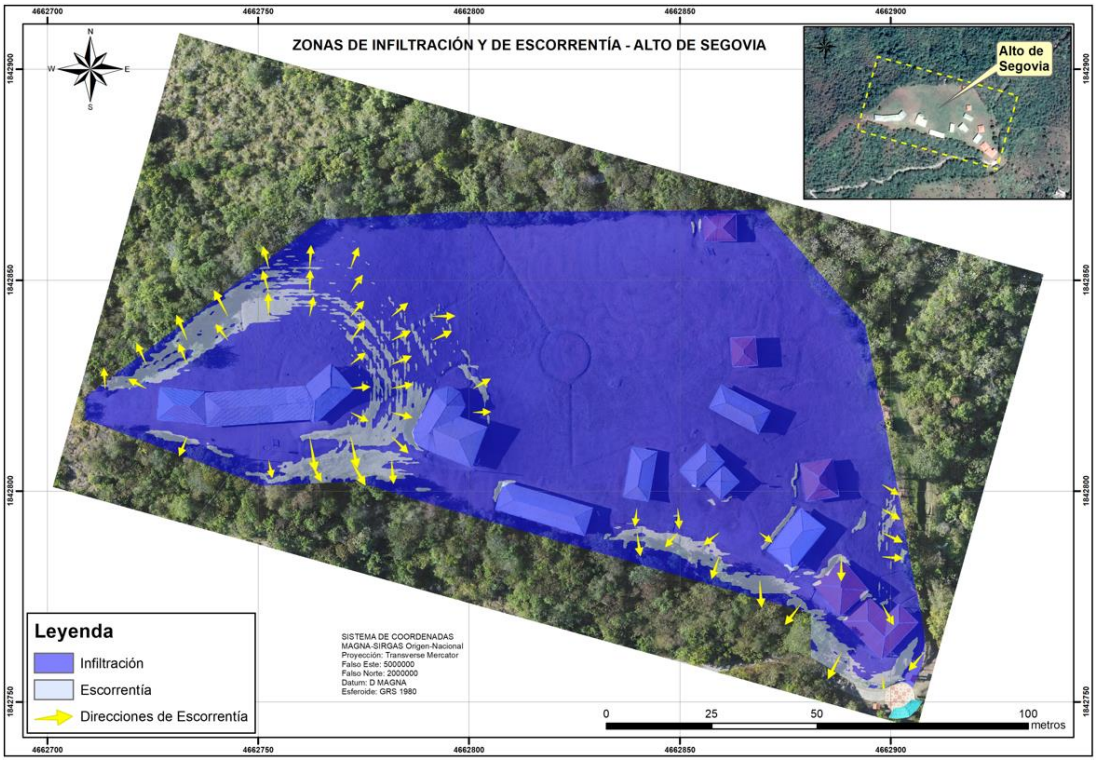


Figura. Zonas de Infiltración y de Escorrentía obtenidas para el Alto de Segovia sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de la Infiltración y Escorrentía para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Clasificación	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Infiltración	11579.79	89.73
Escorrentía	1325.36	10.27
TOTAL	**12905.15**	**100**

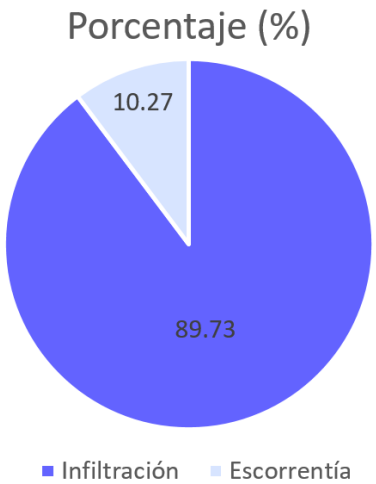


Figura. Porcentaje de Infiltración y Escorrentía para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

Zonas de Infiltración y de Escorrentía Alto El Duende:

A continuación, en el mapa resultante para el Alto El Duende, se observa como la mayor parte del área presenta zonas susceptibles a infiltración por acción directa de las aguas lluvia que caen directamente en el terreno y se distribuye espacialmente casi de manera homogénea por todo el Alto debido principalmente a la geometría del terreno que corresponde a pendientes suavemente inclinadas que se presentan en la zona central del Alto, a excepción de las zonas circundantes con mayores pendientes. De acuerdo a las estadísticas generadas, aproximadamente el 72% del área de análisis del Alto El Duende presenta infiltración del agua que se precipita sobre este sector. Por otra parte, el otro 28% corresponde a zonas de escorrentía, donde el agua escurre y se distribuye por efectos de la gravedad hacia las laderas perimetrales en sentido este-oeste por las zonas de mayor pendiente del terreno, lo que en consecuencia genera menos infiltración y menor contenido de humedad en el área.

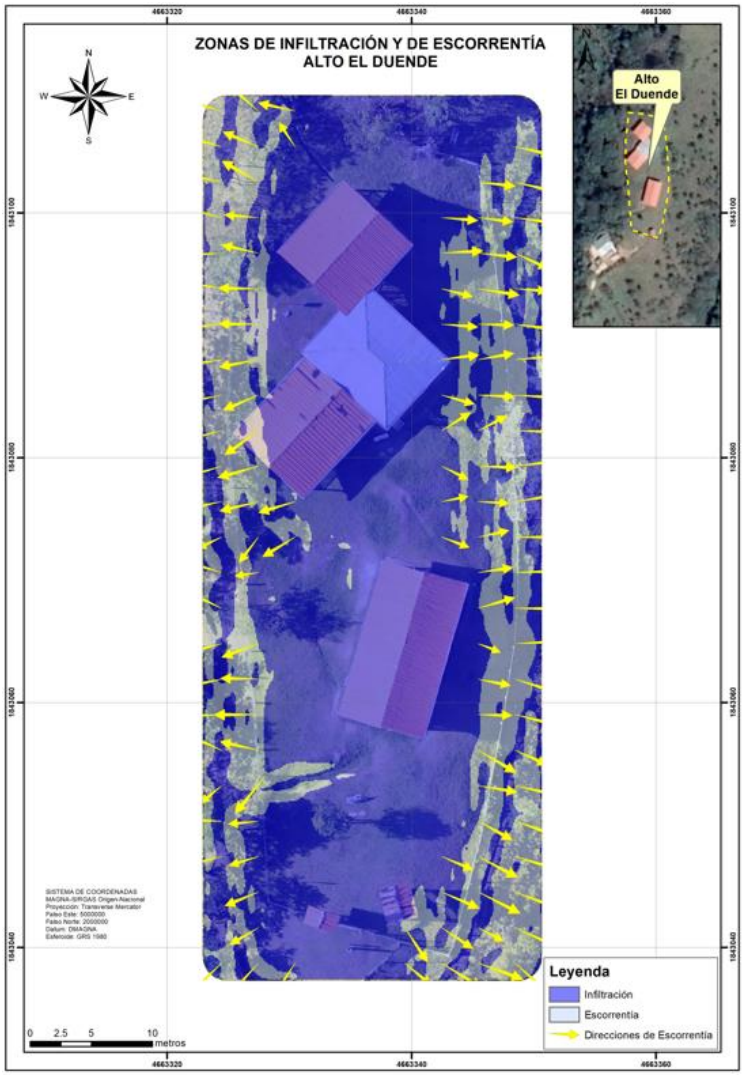


Figura. Zonas de Infiltración y de Escorrentía obtenidas para el Alto El Duende sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de la Infiltración y Escorrentía para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Clasificación	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Infiltración	1429.65	71.87
Escorrentía	559.69	28.13
TOTAL	**1989.34**	**100**

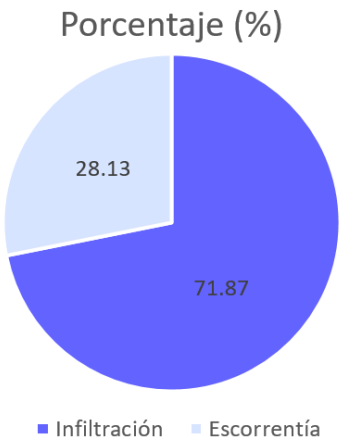


Figura. Porcentaje de Infiltración y Escorrentía para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

Zonas de Infiltración y de Escorrentía Alto El Aguacate:

A continuación, en el mapa resultante para el Alto El Aguacate, se observa como la mayor parte del área presenta zonas identificadas como de escorrentía producto de las fuertes pendientes que componen el Alto hacia sus márgenes, principalmente la ubicada al sureste; mientras que las áreas susceptibles a infiltración por acción directa de las aguas lluvia que caen directamente en el terreno son de menor proporción, correspondientes a las zonas suavemente inclinadas. De acuerdo a las estadísticas generadas, aproximadamente el 55% del área de análisis del Alto El Aguacate corresponde a zonas de escorrentía, donde el agua escurre y se distribuye por efectos de la gravedad hacia las laderas perimetrales que corresponden a los costados de las divisorias de las cuencas hidrográficas que componen este Alto, que son las zonas de mayor pendiente del terreno. Por otra parte, el otro 45% representa las áreas de infiltración del agua que se precipita sobre este sector.

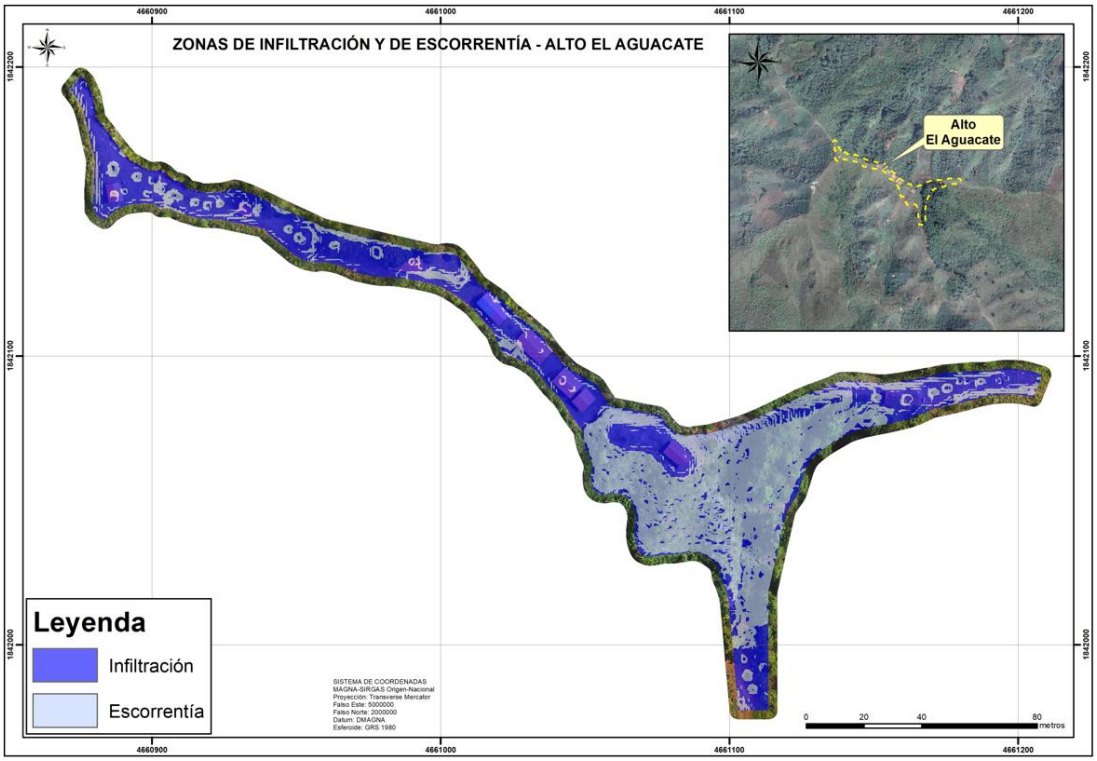


Figura. Zonas de Infiltración y de Escorrentía obtenidas para el Alto El Aguacate sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de la Infiltración y Escorrentía para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Clasificación	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Infiltración	3283.21	44.75
Escorrentía	4052.95	55.25
TOTAL	**7336.16**	**100**

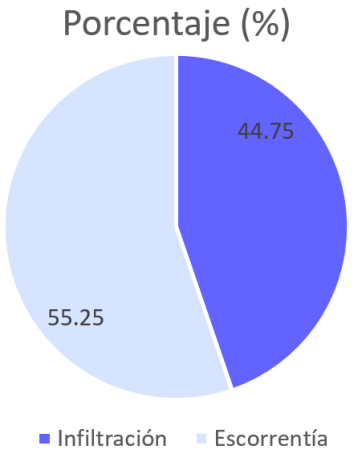


Figura. Porcentaje de Infiltración y Escorrentía para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE CONCENTRACIÓN Y DE ACUMULACIÓN DE HUMEDAD SOBRE LA SUPERFICIE DEL TERRENO (*EMPOZAMIENTOS*)

La identificación de zonas de empozamiento permite reconocer los lugares de gran potencial donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación capaces de recepcionar agua a lo largo de la superficie del territorio. La obtención de estas zonas se basa principalmente en un análisis morfológico de la superficie del terreno.

El cálculo de estas zonas consiste en realizar análisis de la morfología del terreno mediante herramientas y operaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG); teniendo en cuenta las direcciones de flujo, características de las pendientes, entre otros. Estos sitios habitualmente responden a su área contribuyente y a lugares planos a suavemente inclinados, con características que las hacen propensas a ser los suelos de mayor captación específica de humedad del entorno.

Es importante mencionar que los resultados de este insumo son de gran utilidad, ya que muestra las áreas potenciales de empozamientos zonificadas como baja, media y alta; lo cual sirve para la toma de decisiones y contribuye a definir con mayor certeza las zonas donde se pueden establecer intervenciones para evitar infiltraciones de agua directamente en el terreno que pueden seguir afectando a los hipogeos que se ven perjudicados por estas humedades.

Es de aclarar que a pesar de que hay áreas identificadas como zonas potenciales de empozamientos sobre los hipogeos, no significa que todos estos se vean afectados por infiltraciones o humedades en su interior, en realidad son solo algunos, los cuales se identificaron por medio de visitas de campo y se mencionan en los resultados para cada Alto. Así mismo, teóricamente se aclara que posiblemente los demás hipogeos que no presentan infiltraciones de agua o humedades, se deben a diversos factores como por ejemplo los cobertizos cubren de forma óptima los hipogeos, no cuentan con condiciones geológicas desfavorables (*discontinuidades*), o simplemente, como es el caso de algunos hipogeos cuentan con geomembranas y geotextiles que impiden el acceso de agua directa al terreno.

Empozamientos Alto de San Andrés:

Como se evidencia en los mapas y en las estadísticas generadas, aproximadamente el 27% del área de análisis del Alto de San Andrés presenta zonas de empozamiento categorizada como alta, el 42% como media y el restante como baja. Las zonas de concentración y de acumulación de humedad catalogadas como altas, se deben principalmente a aspectos morfológicos del terreno, donde las superficies topográficas son predominantemente planas a suavemente inclinadas, lo que favorece los empozamientos de agua, principalmente en la zona central del Alto.

Teniendo en cuenta lo anterior, se aclara que solo los hipogeos SA-1, SA-4 y SA-5 manifiestan infiltraciones y condiciones de humedad en su interior, esto posiblemente relacionado con permeabilidades locales a partir de flujos de agua intergranulares y a través de discontinuidades (*diaclasa, fracturas, grietas y fisuras*) presentes en la toba a nivel general, aparentemente ligadas a los procesos de fallamiento regional o sismos, causantes del desarrollo de una porosidad secundaria, por donde los fluidos se pueden infiltrar y afectar los hipogeos. También es posible que la presencia de humedad en los hipogeos SA-1, SA-4 y SA-5 esté relacionada con la proximidad de los demás hipogeos circundantes que se encuentran clausurados y no escavados, ya que por estos se pueden presentar infiltraciones de agua directa, por lo que no cuentan con ningún tipo de protección o recubrimiento superficial, transmitiendo agua y humedad subterráneamente hacia los hipogeos cercanos. En resumen, teóricamente, tanto los procesos geológicos como la ubicación cercana de otros hipogeos contribuyen a las infiltraciones y condiciones de humedad observadas en los hipogeos SA-1, SA-4 y SA-5.

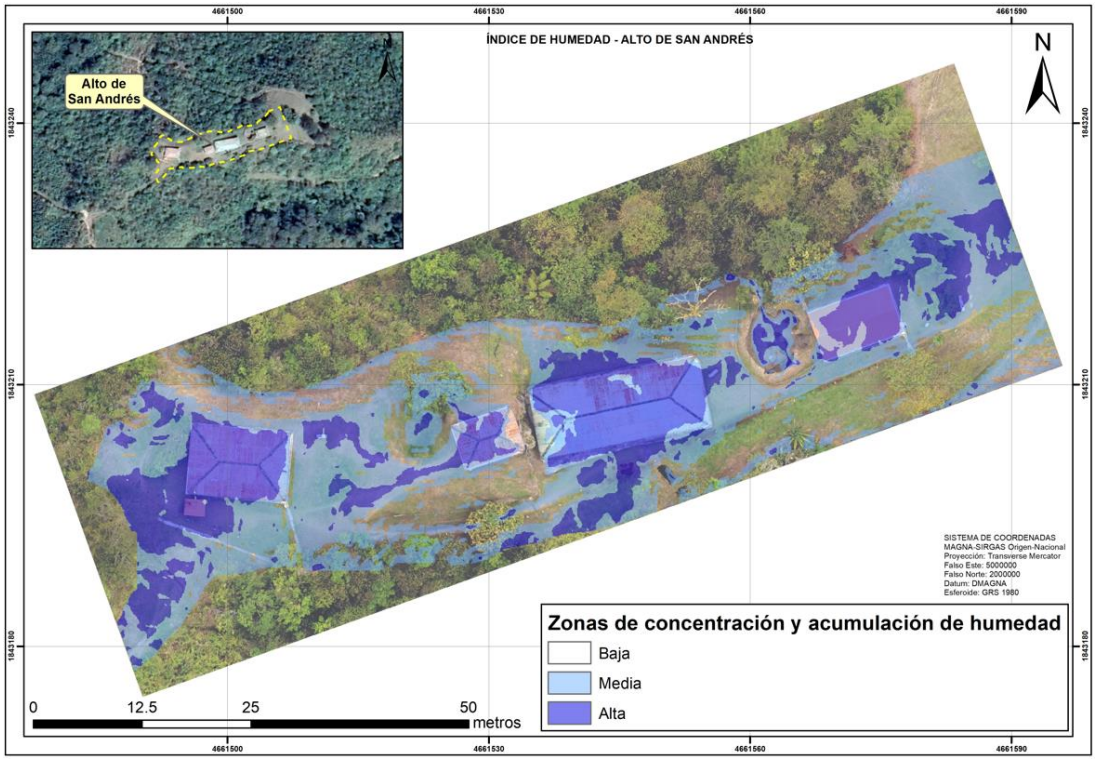


Figura. Zonas de concentración y de acumulación de humedad (*Empozamientos*) obtenidas para el Alto de San Andrés sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se realizó la georreferenciación de un plano proporcionado por el ICANH (2002), donde se muestra la distribución de los hipogeos presentes en el Alto de San Andrés, con el fin de identificar cómo se distribuyen las zonas de empozamiento sobre toda la zona. Es de mencionar, que este es un plano antiguo, por consiguiente, es probable que la escala, distribución, dimensiones, forma y orientación en profundidad de los hipogeos no sean plenamente fiables a la realidad actual, para esto se requeriría de un plano topográfico altiplanimétrico detallado

reciente de todo el Alto y de los hipogeos en profundidad para tener un resultado visualmente preciso.

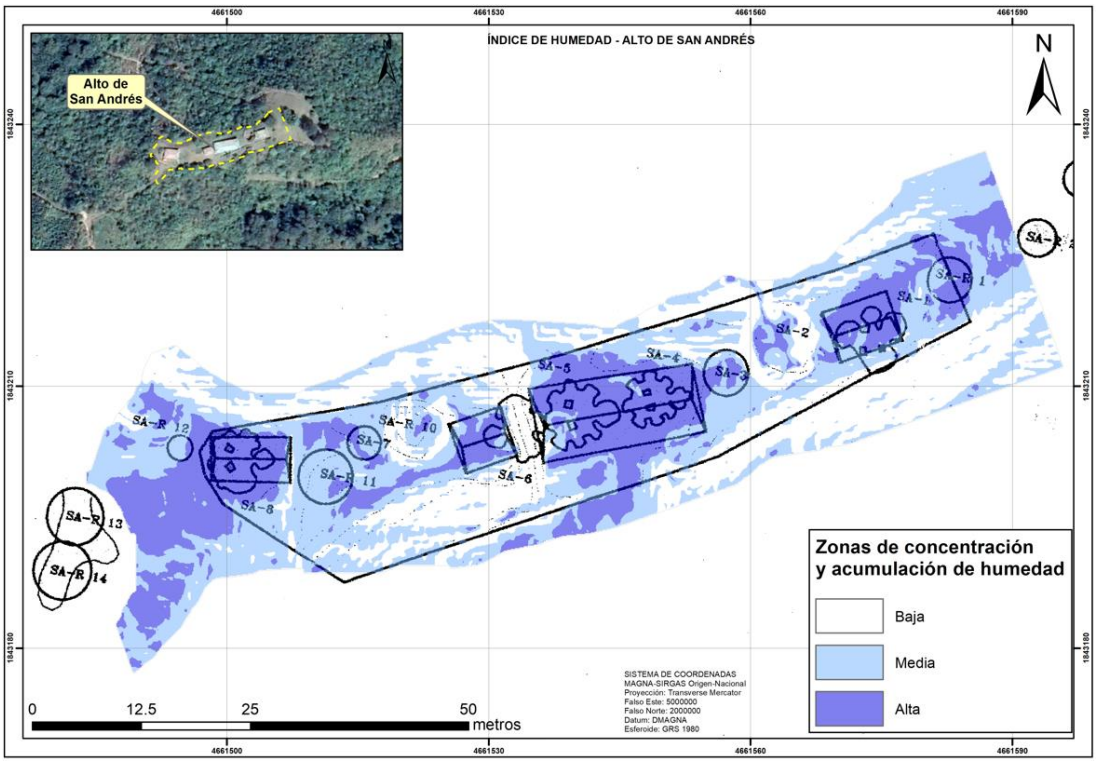


Figura. Zonas de concentración y de acumulación de humedad (*Empozamientos*) obtenidas para el Alto de San Andrés sobre plano con los hipogeos. Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo anterior, se aprecia cómo efectivamente la ubicación de los hipogeos SA-1, SA-4 y SA-5 coinciden con las áreas de empozamientos identificadas, lo cual concuerda plenamente con la información recopilada y las observaciones realizadas directamente en campo.

Tabla. Distribución estadística de empozamiento para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Clasificación	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Baja	804.57	31.18
Media	1073.15	41.59
Alta	702.59	27.23
TOTAL	**2580.31**	**100**

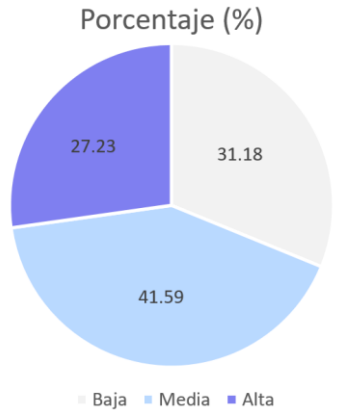


Figura. Porcentaje de empozamiento para el Alto de San Andrés. Fuente: Elaboración propia.

El mapa previo y las estadísticas correspondientes al Alto de San Andrés revelan que las áreas de concentración y acumulación de humedad se sitúan particularmente sobre superficies prácticamente planas dentro del área de estudio. Este aspecto favorece la retención y estancamiento del agua alrededor de cada uno de los hipogeos existentes. En este contexto, las pendientes casi planas obstaculizan el drenaje rápido del agua lluvia en la zona.

Empozamientos Alto de Segovia:

Como se evidencia en los mapas y en las estadísticas generadas, aproximadamente el 25% del área de análisis del Alto de Segovia presenta zonas de empozamiento categorizada como alta, el 43% como media y el restante como baja. Las zonas de concentración y de acumulación de humedad catalogadas como altas, se deben principalmente a aspectos morfológicos del terreno, donde las superficies topográficas se encuentran más bajas y se caracterizan por ser predominantemente planas a suavemente inclinadas, lo que favorece la acumulación de agua (*empozamientos*) por escorrentía y filtración, principalmente en la zona central del Alto.

Teniendo en cuenta lo anterior, se aclara que solo los hipogeos S-3, S-4, S-12, S-17 y S-18 manifiestan infiltraciones y condiciones de humedad en su interior, probablemente vinculadas a permeabilidades locales a partir de flujos de agua intergranulares y a través de discontinuidades como diaclasas, fracturas, grietas y fisuras presentes en la toba en general. Estas discontinuidades pueden estar relacionadas con procesos de fallamiento regional o movimientos sísmicos, lo que causa el desarrollo de una porosidad secundaria que permite la infiltración de fluidos afectando los hipogeos.

También es posible que la presencia de humedad en los hipogeos S-3, S-4, S-12, S-17 y S-18 esté relacionada con la proximidad de otros hipogeos circundantes que están clausurados y no escavados. Estos hipogeos cerrados podrían actuar como puntos de entrada directa de agua, ya que carecen de protección o recubrimiento

superficial, transmitiendo agua y humedad subterráneamente hacia los hipogeos mencionados anteriormente. En resumen, teóricamente, tanto los procesos geológicos como la ubicación cercana de otros hipogeos contribuyen a las infiltraciones y condiciones de humedad observadas en los hipogeos S-3, S-4, S-12, S-17 y S-18.

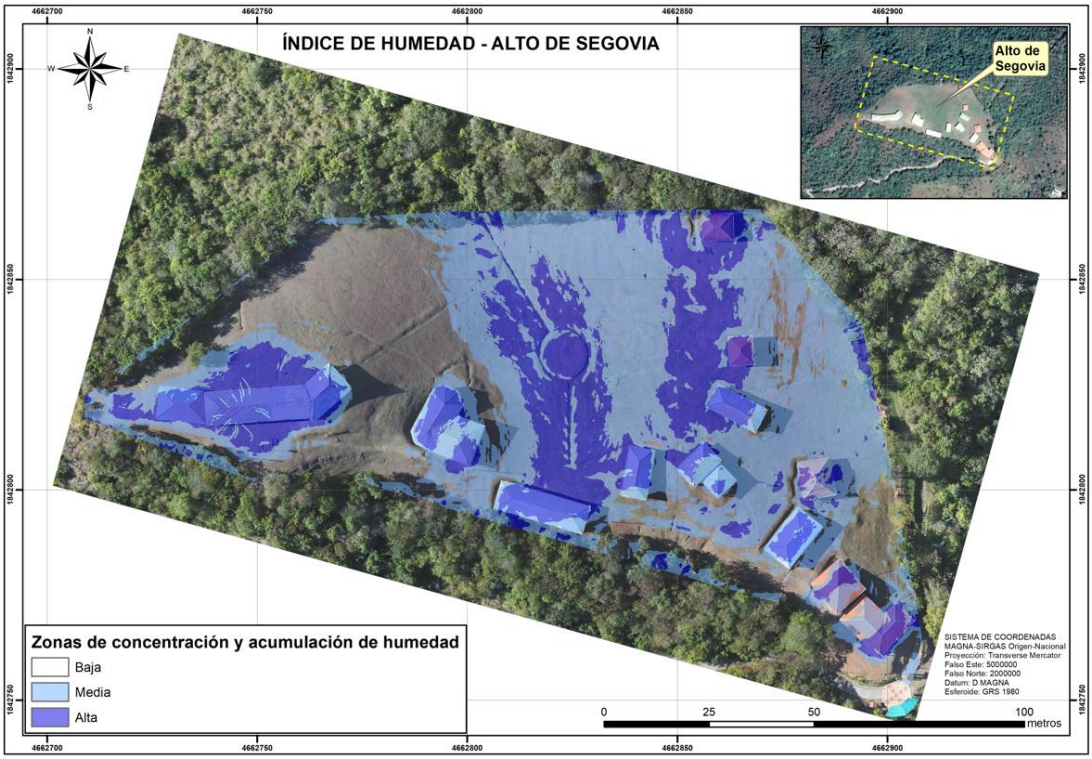


Figura. Zonas de concentración y de acumulación de humedad (*Empozamientos*) obtenidas para el Alto de Segovia sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se realizó la georreferenciación de un plano proporcionado por el ICANH (2002), donde se muestra la distribución de los hipogeos presentes en el Alto de Segovia, con el fin de identificar cómo se distribuyen las zonas de empozamiento sobre toda la zona. Es de mencionar, que este es un plano antiguo, por consiguiente, es probable que la escala, distribución, dimensiones, forma y orientación en profundidad de los hipogeos no sean plenamente fiables a la realidad actual, para esto se requeriría de un plano topográfico altiplanimétrico detallado reciente de todo el Alto y de los hipogeos en profundidad para tener un resultado visualmente preciso.

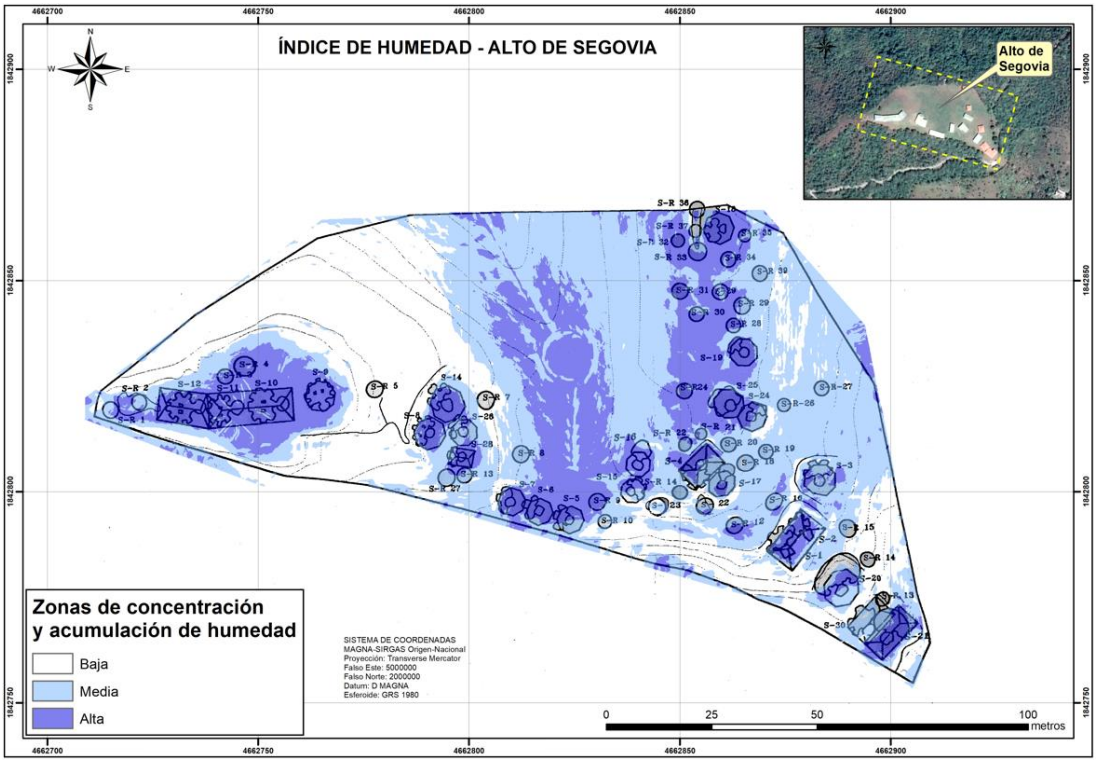


Figura. Zonas de concentración y de acumulación de humedad (*Empozamientos*) obtenidas para el Alto de Segovia sobre plano con los hipogeos. Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo anterior, se aprecia cómo efectivamente la ubicación de los hipogeos S-3, S-4, S-12, S-17 y S-18 coinciden con las áreas de empozamientos identificadas, lo cual concuerda plenamente con la información recopilada y las observaciones realizadas directamente en campo.

Tabla. Distribución estadística de empozamiento para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Clasificación	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Baja	4071.99	31.55
Media	5575.06	43.20
Alta	3258.09	25.25
TOTAL	**12905.14**	**100**

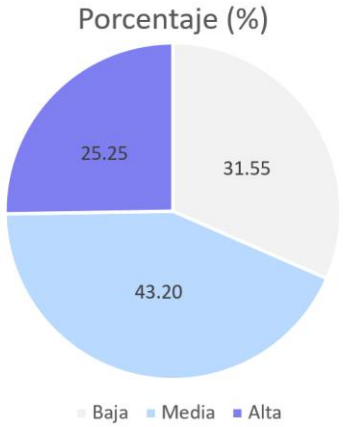


Figura. Porcentaje de empozamiento para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

El mapa anterior y las estadísticas generadas para el Alto de Segovia, muestran que las zonas de concentración y de acumulación de humedad se encuentran notablemente sobre superficies casi horizontales del área de estudio, lo que favorece las zonas de estancamiento y empozamiento de agua sobre cada uno de los hipogeos presentes. En este sentido, las pendientes casi planas no permiten un movimiento y una evacuación rápida del agua lluvia que cae en el sector.

Es de mencionar que el Alto de Segovia cuenta con una geomembrana ubicada en los hipogeos S-9, S-10, S-11 y S-12; diseñada y adecuada por Germán Hermida y Hernán Hermida en el año 2001. Una vez analizado el documento "*IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS HIPOGEOS 8,14, 26, 28, 9, 10, 11 Y 12 DE LA LOMA DE SEGOVIA EN EL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE TIERRA DENTRO, Julio 2001*" se encontró el diagrama del diseño de la geomembrana instalada en estos hipogeos. Teniendo en cuenta este insumo, se procedió a realizar la georreferenciación de este plano, con el fin de superponer los resultados de las zonas de concentración y de acumulación de humedad, para visualizar el cubrimiento que está cumpliendo esta geomembrana de acuerdo a las zonas consideradas de posibles empozamientos. Se aclara, que este es un diagrama antiguo, por consiguiente, es probable que la escala, distribución, dimensiones, forma y orientación tanto de los cobertizos como de la geomembrana no sean plenamente fiables a la realidad actual, para esto se requeriría de un plano topográfico altiplanimétrico detallado reciente de este sector en específico para tener un resultado visualmente preciso.

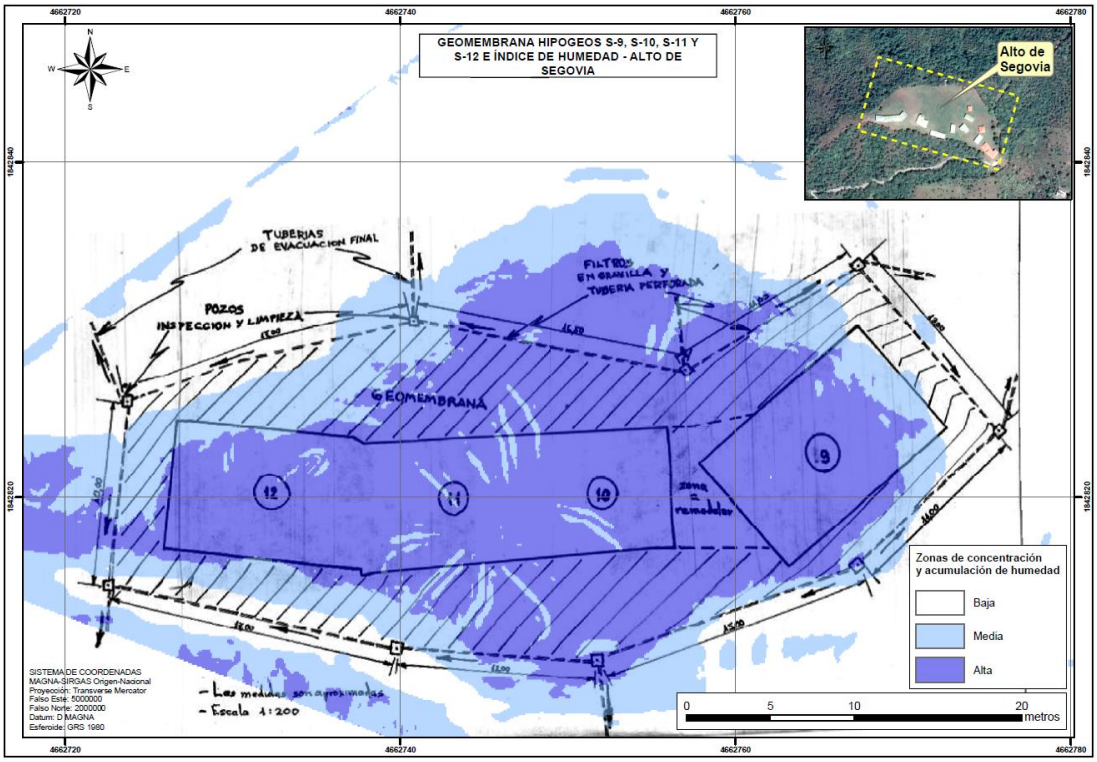


Figura. Diseño de la geomembrana de los hipogeos S-9, S-10, S-11 y S-12; y Zonas de concentración y acumulación de humedad (*Empozamientos*) obtenidas para el Alto de Segovia. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo observado en el mapa anterior, se asume que el diseño de la geomembrana es acorde a la zona de estudio y cumple en gran medida con el cubrimiento necesario para la impermeabilización de la zona. Teniendo en cuenta este análisis, se recomienda complementar y adecuar la geomembrana hacia la parte norte, sur y oeste de los hipogeos; con el fin de terminar de cubrir e impermeabilizar estas zonas identificadas como susceptibles a empozamientos, y favorecer el adecuado manejo y control de las aguas superficiales; para evitar la infiltración y percolación del agua en el suelo.

Las medidas aproximadas para terminar de adecuar la geomembrana serían:

- Sector Norte: 170 m^2
- Sector Oeste: 70 m^2
- Sector Sur: 60 m^2

Empozamientos Alto El Duende:

Como se puede observar en los mapas y las estadísticas generadas, alrededor del 16% del área analizada en Alto El Duende presenta áreas de acumulación de agua clasificadas como alta, mientras que el 29% se cataloga como media y el resto como baja. Las áreas con una concentración significativa de humedad, clasificadas como altas, se deben principalmente a características morfológicas del terreno, donde las superficies topográficas son mayormente planas a suavemente inclinadas, lo que propicia la acumulación de agua, especialmente en la región central del Alto.

Considerando lo expuesto anteriormente, se aclara que solo el hipogeo D-1 manifiesta infiltraciones y condiciones de humedad en su interior, posiblemente vinculadas a permeabilidades locales a partir de la presencia de flujos de agua intergranulares o a través de discontinuidades como diaclasas, fracturas, grietas y fisuras presentes en la toba. Estas discontinuidades pueden estar asociadas a eventos de fallamiento regional o movimientos sísmicos, generando el desarrollo de porosidad secundaria que facilita la penetración de fluidos, afectando de este modo al hipogeo.

También cabe la posibilidad de que la presencia de humedad en el hipogeo D-1 esté relacionada con la cercanía de otros hipogeos adyacentes que se encuentran clausurados y no escavados. Estos hipogeos sellados podrían actuar como puntos de entrada directa de agua, al carecer de protección o recubrimiento superficial, transmitiendo agua y humedad subterráneamente hacia el hipogeo mencionado previamente. En resumen, en términos teóricos, tanto los procesos geológicos como la proximidad de otros hipogeos contribuyen a las infiltraciones y condiciones de humedad observadas en el hipogeo D-1.

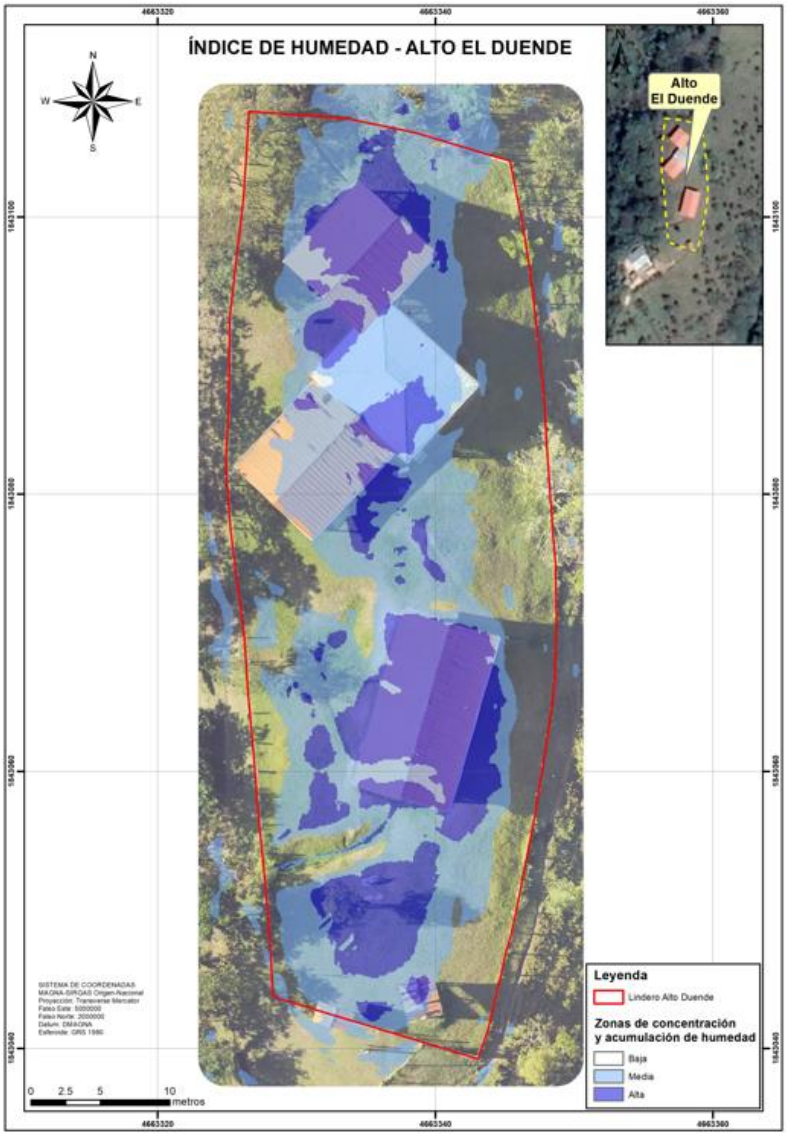


Figura. Zonas de concentración y de acumulación de humedad (*Empozamientos*) obtenidas para el Alto El Duende sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se realizó la georreferenciación de un plano proporcionado por el ICANH (2002), donde se muestra la distribución de los hipogeos presentes en el Alto El Duende, con el fin de identificar cómo se distribuyen las zonas de empozamiento sobre toda la zona. Es de mencionar, que este es un plano antiguo, por consiguiente, es probable que la escala, distribución, dimensiones, forma y orientación en profundidad de los hipogeos no sean plenamente fiables a la realidad actual, para esto se requeriría de un plano topográfico altiplanimétrico detallado reciente de todo el Alto y de los hipogeos en profundidad para tener un resultado visualmente preciso.

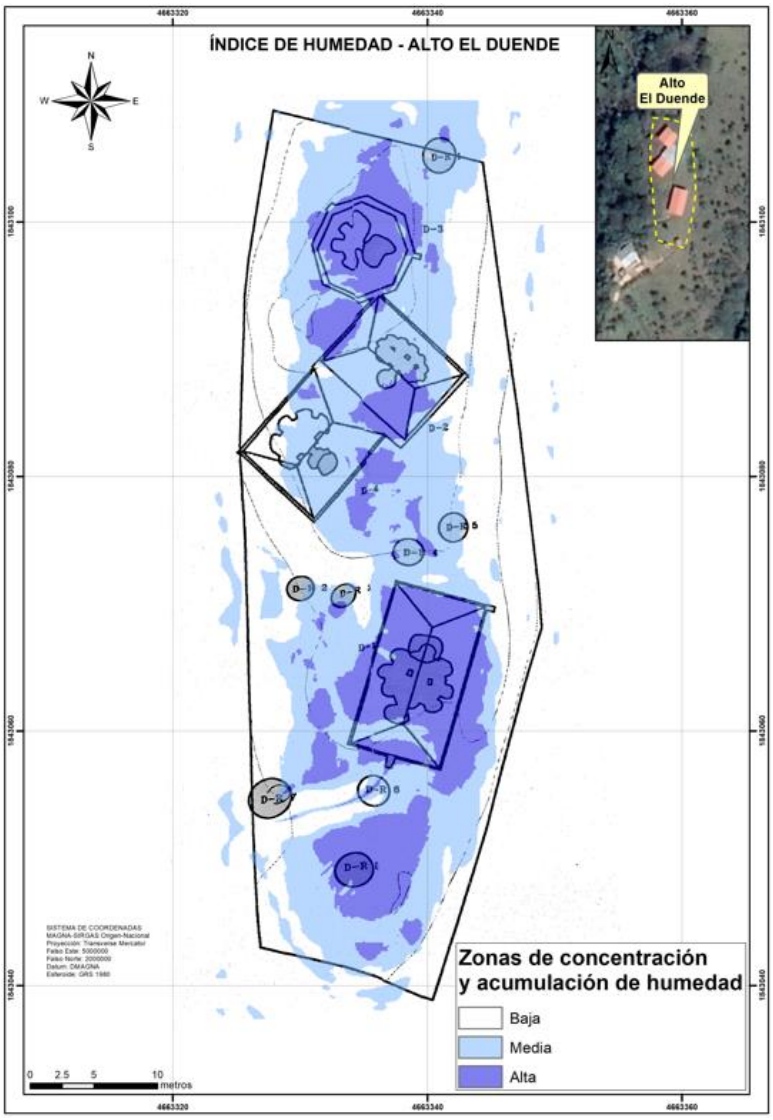


Figura. Zonas de concentración y de acumulación de humedad (*Empozamientos*) obtenidas para el Alto El Duende sobre plano con los hipogeos. Fuente: Elaboración propia.

Con base en la figura anterior, se puede observar claramente como la ubicación del hipogeo D-1 coincide con las áreas de empozamientos identificadas, siendo la más perceptible y de mayor área de la zona. Esto concuerda plenamente con la información recopilada y las observaciones realizadas en campo.

Tabla. Distribución estadística de empozamiento para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Clasificación	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Baja	1074.61	54.02
Media	586.52	29.48
Alta	328.21	16.50
TOTAL	**1989.34**	**100**

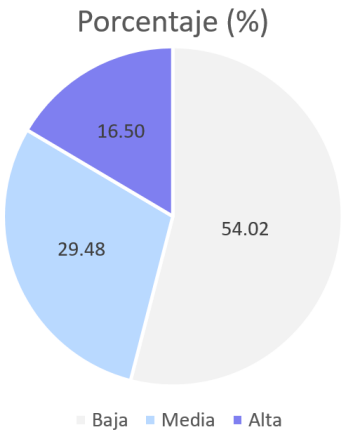


Figura. Porcentaje de empozamiento para el Alto El Duende. Fuente: Elaboración propia.

El mapa anterior y las estadísticas generadas para el Alto El Duende, muestran que las zonas de concentración y de acumulación de humedad se encuentran precisamente sobre cada uno de los hipogeos del Alto, siendo la explicación de esta situación la ubicación de los hipogeos, ya que al encontrasen en zonas casi completamente planas, favorece los empozamientos de agua. Aunque es de anotar que la acumulación de agua y humedad está en menor proporción sobre los hipogeos D-4 y D-2, en comparación con los demás hipogeos.

Empozamientos Alto El Aguacate:

Como se observa en el mapa y en las estadísticas generadas, aproximadamente el 20% del área de análisis del Alto El Aguacate presenta zonas de empozamiento categorizada como alta, el 41% como media y el resto como baja. Las zonas de concentración y de acumulación de humedad catalogadas como altas, se deben principalmente a aspectos morfológicos del terreno, donde las superficies topográficas son predominantemente planas a suavemente inclinadas, lo que favorece los empozamientos de agua, principalmente en las divisorias de las cuencas hidrográficas que componen este Alto.

Es de mencionar que solo el hipogeo A-4 presenta infiltraciones de agua puntuales cuando llueve, ingresando por las escaleras de acceso del hipogeo cuando hay precipitaciones en la zona.

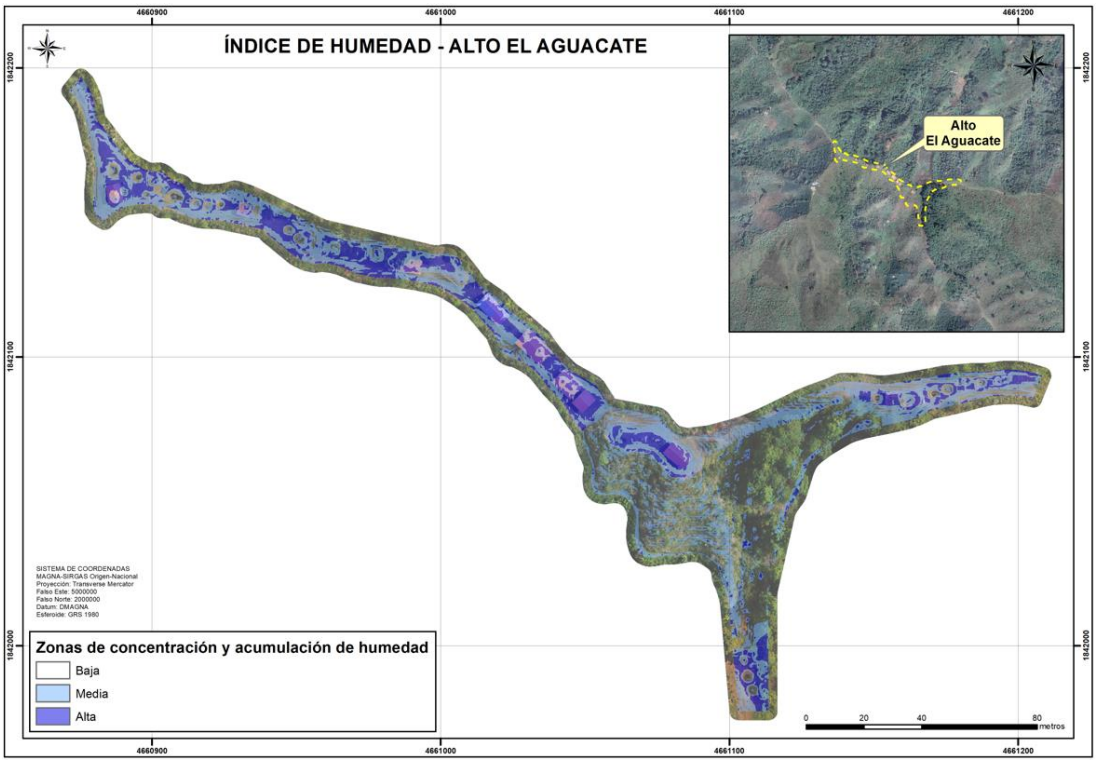


Figura. Zonas de concentración y de acumulación de humedad (*Empozamientos*) obtenidas para el Alto El Aguacate sobre ortofotomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Tabla. Distribución estadística de empozamiento para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS		
Clasificación	**Área (m^2)**	**Porcentaje (%)**
Baja	2852.66	38.88
Media	3003.56	40.94
Alta	1479.94	20.17
TOTAL	**7336.16**	**100**

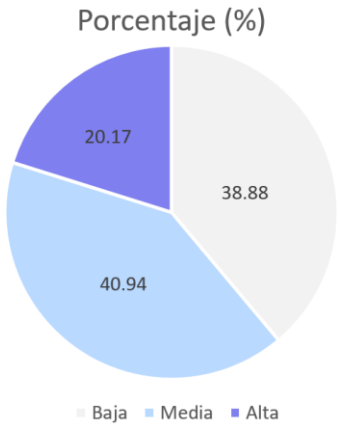


Figura. Porcentaje de empozamiento para el Alto El Aguacate. Fuente: Elaboración propia.

El mapa anterior y las estadísticas generadas para el Alto El Aguacate, muestran que las zonas de concentración y de acumulación de humedad se encuentran sobre superficies casi horizontales del área de estudio, lo que favorece las zonas de estancamiento y empozamiento de agua sobre el área de análisis.

SISTEMA DEL DRENAJE SUPERFICIAL

Teniendo como insumo los planos relacionados con el sistema de drenaje superficial, elaborados por la consultora INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS LTDA en el año 1990, para los Altos de San Andrés, Segovia y El Duende; se procedió a georreferenciar cada uno de ellos, con el fin de superponer los resultados de las zonas de concentración y de acumulación de humedad y observar si los diseños del sistema de drenaje se ajustan a las necesidades actuales de recolección, conducción y evacuación de las aguas superficiales que tienden a empozarse sobre el terreno.

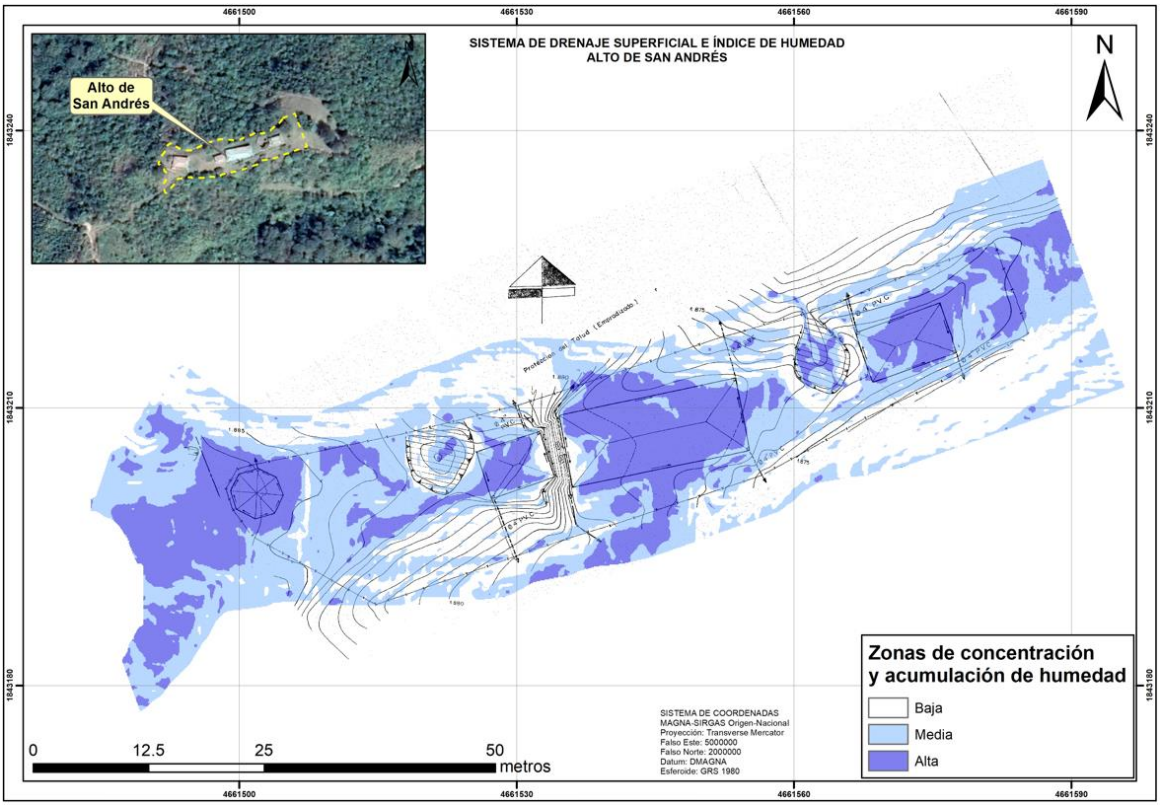


Figura. Sistema de drenaje superficial y zonas de concentración y acumulación de humedad (*Empozamientos*) para el Alto de San Andrés. Fuente: INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS LTDA, 1990.

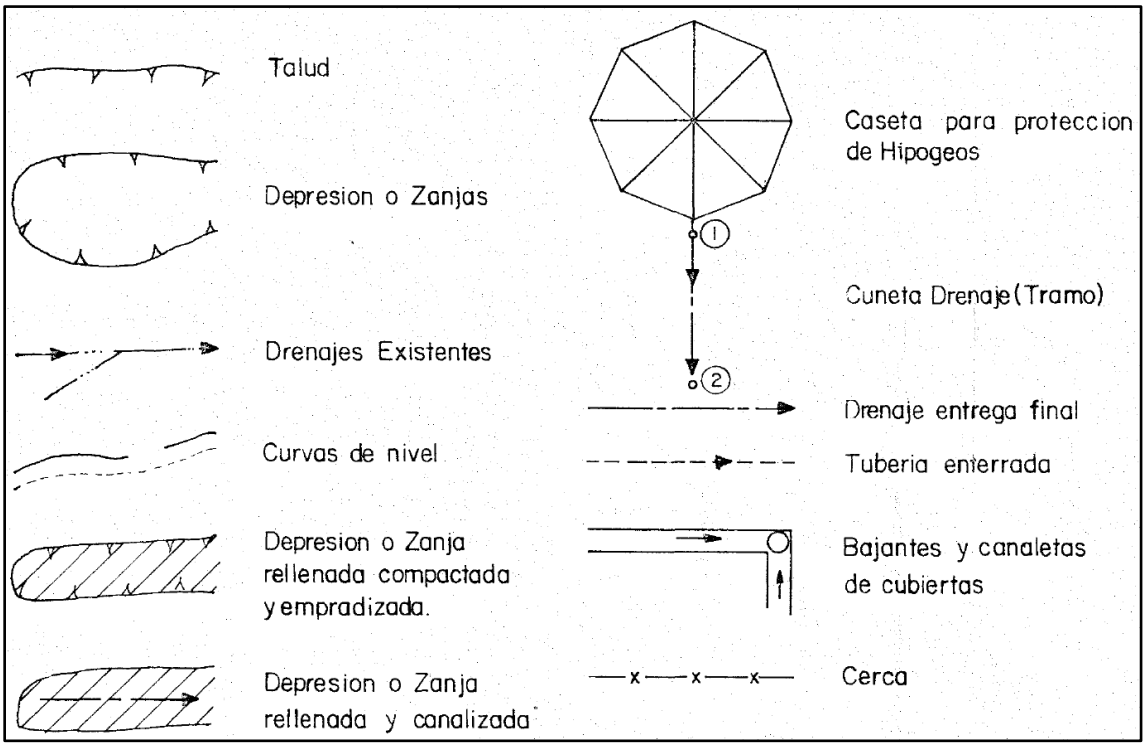


Figura. Convenciones del sistema de drenaje superficial para el Alto de San Andrés. Fuente: INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS LTDA, 1990.

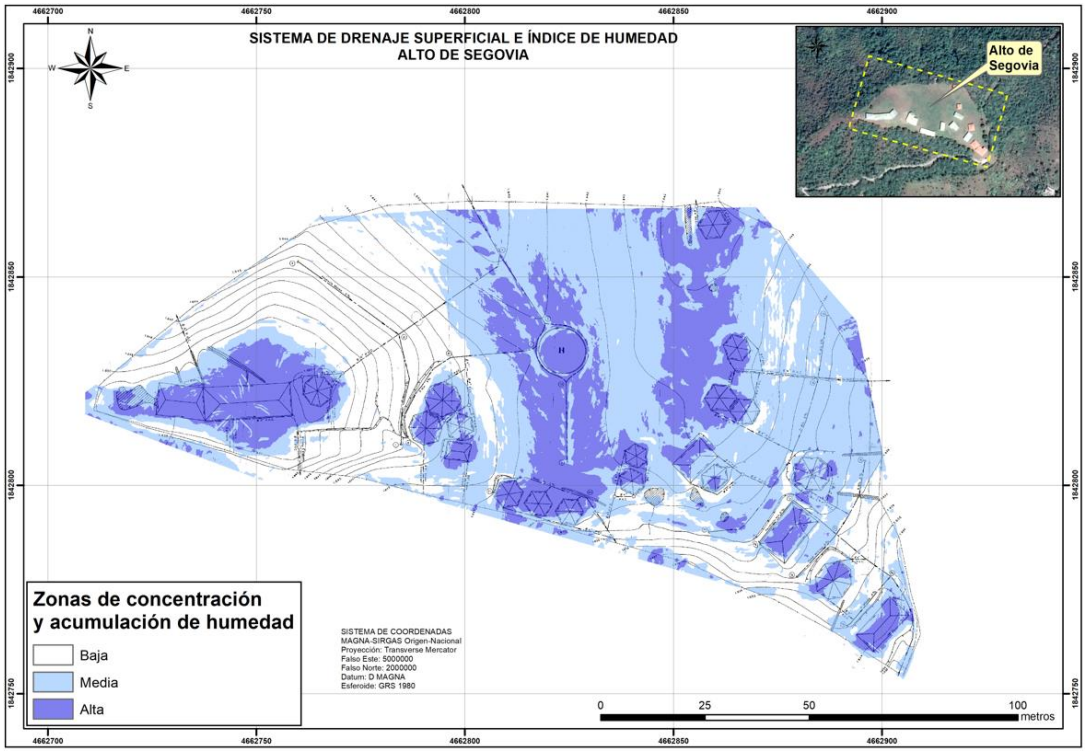


Figura. Sistema de drenaje superficial y zonas de concentración y acumulación de humedad (*Empozamientos*) para el Alto de Segovia. Fuente: INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS LTDA, 1990.

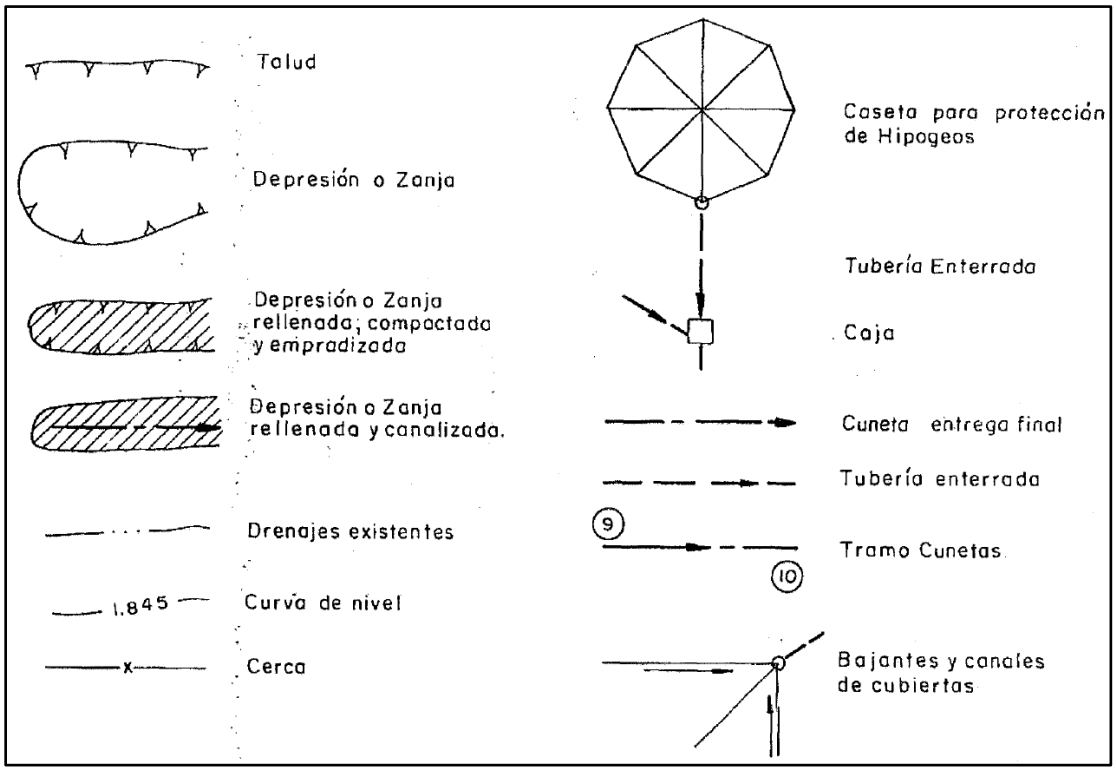


Figura. Convenciones del sistema de drenaje superficial para el Alto de Segovia. Fuente: INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS LTDA, 1990.

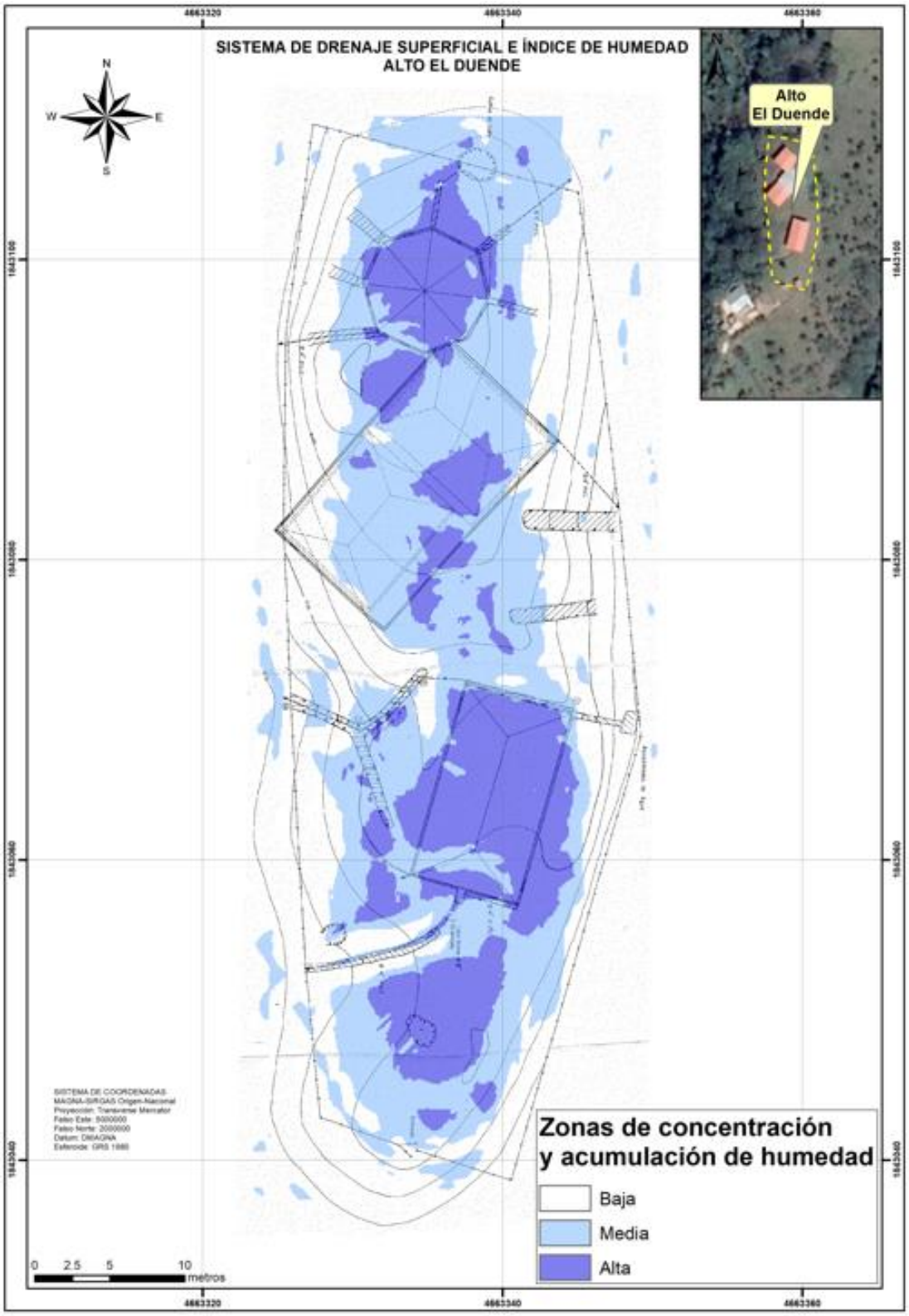


Figura. Sistema de drenaje superficial y zonas de concentración y acumulación de humedad (*Empozamientos*) para el Alto El Duende. Fuente: INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS LTDA, 1990.

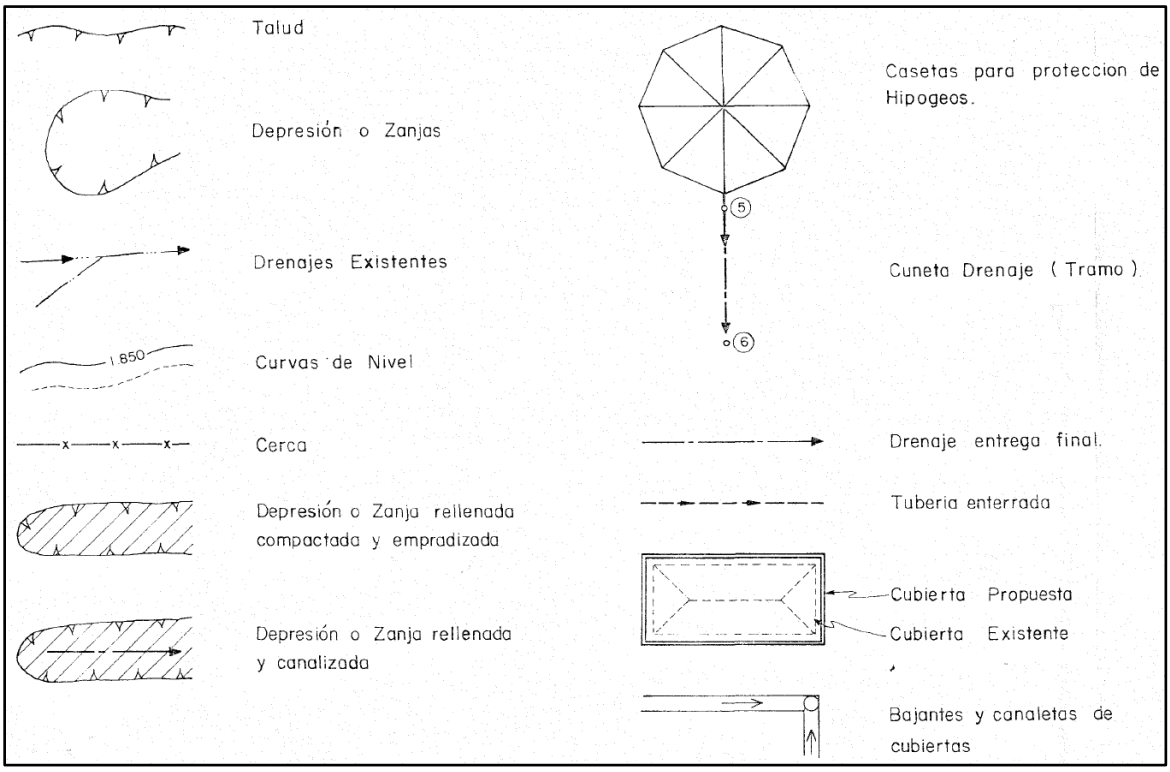


Figura. Convenciones del sistema de drenaje superficial para el Alto El Duende. Fuente: INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS LTDA, 1990.

Al examinar cada uno de los planos previamente analizados para los Altos de San Andrés, Segovia y El Duende; se observa que los sistemas de drenaje superficial han sido diseñados de manera idónea para la recolección, conducción y evacuación efectiva de las aguas superficiales propensas a acumularse sobre la superficie del terreno. Aunque, es de mencionar y aclarar, que estos son planos antiguos, por consiguiente, es probable que la escala, distribución, dimensiones, ubicación y forma del sistema de drenaje no sean plenamente fiables ni correspondan a la realidad actual, ya que, como puede que estos sistemas existan aun hoy en día, también existe la posibilidad de que se hayan modificado en el transcurso del tiempo. Para esto se requeriría de un plano topográfico altiplanimétrico detallado reciente de todo el Alto, donde se realice el levantamiento minucioso y exacto, específicamente del sistema de drenaje superficial actual, con el propósito de tener un resultado visualmente preciso.

CONCLUSIONES

- Las direcciones de flujo de agua lluvia, permiten observar de manera precisa el movimiento del agua sobre la superficie, influenciadas principalmente por las pendientes del terreno.

- Las zonas de Infiltración y de Escorrentía, permiten reconocer qué tan propenso es el entorno a infiltrarse y donde se ubican las áreas de escorrentía superficial. Condicionado principalmente por: Las coberturas de la tierra, inclinaciones del terreno y las direcciones de flujo de agua.

- Las zonas de Concentración y de Acumulación de Humedad sobre la superficie del terreno (Empozamientos), permite reconocer los lugares donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación capaces de recepcionar agua a lo largo de la superficie del territorio. Sirven para la toma de decisiones y contribuye a definir con mayor certeza las zonas donde se pueden establecer intervenciones para evitar infiltraciones de agua directamente en el terreno. Se aclara que solo los hipogeos SA-1, SA-4, SA-5, S-3, S-4, S-12, S-17, S-18 y D-1 manifiestan infiltraciones y condiciones de humedad en su interior, coincidiendo con los resultados obtenidos en campo. Teóricamente, tanto los procesos geológicos como la ubicación cercana de otros hipogeos contribuyen a las infiltraciones y condiciones de humedad observadas en estos hipogeos.

- El Sistema de Drenaje Superficial, han sido diseñados de manera idónea para la recolección, conducción y evacuación efectiva de las aguas superficiales propensas a acumularse sobre la superficie del terreno.

- Los factores a considerar que afectan la resistencia interna de la roca que contribuyen al deterioro físico y químico son: las discontinuidades estructurales como diaclasas y fracturas, la presencia de agua y cambios de humedad y la falta de cohesión de sus componentes minerales que le atribuyen un carácter deleznable.

- Los datos estructurales obtenidos en campo sirvieron como insumo fundamental para la construcción del documento diagnóstico sobre la condición geotécnica de los hipogeos que presenten condición estructural en riesgo y para la formulación del componente estructural.

ANEXOS

https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1lBYeQzjt7K7WVhr2LHedSRXUXAHotx0k