

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

APLICACIÓN METODOLÓGICA DE INSPECCIÓN DE TERRENOS MEDIANTE  
EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS PARA EL  
DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA A CARGO DEL  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN PÚBLICA DE COSTA RICA (2020).

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la  
Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía para optar al  
grado y título de Maestría Profesional en Sistemas de Información Geográfica y  
Teledetección (UCR-UNA)

MARCO ANTONIO ESPINOZA LÓPEZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2021

## DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, creador de la vida, la tierra, el universo y todas las cosas.

A mis hermanas, mi sobrina y en especial a mi madre María, en quien encuentro siempre mi más grande ejemplo de amor y dedicación.

A la querida Alma Mater, senda de luz del pensamiento costarricense.

Un presente más al esfuerzo y la perseverancia.



## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial a todos los miembros del Comité Asesor que colaboraron en la guía de esta investigación.

A los distinguidos profesores y colegas Sres. Javier Saborío, Ramón Masis, Francisco Rodríguez y Paul Vega, quienes prestaron su valioso consejo para la culminación de este trabajo final de graduación.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (UCR-UNA).”

---

M.Sc. Melvin Lizano Araya  
**Representante del Decano**  
**Sistema de Estudios de Posgrado**

---

M.Sc. Paul Antonio Vega Salas  
**Profesor Guía**

---

M. Sc. Luis Francisco Rodríguez Soto  
**Lector**

---

M.Sc. Ramón Alberto Masis Campos  
**Lector**

---

M.Sc. Jonathan Reyes Chaves  
**Representante del Director del Programa de Posgrado en Geografía**

---

Marco Antonio Espinoza López  
**Sustentante**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>HOJA DE APROBACIÓN</b> .....	iv
<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Justificación del tema.....	2
1.2.1 Los estudios técnicos en la evaluación de terrenos .....	3
1.3 Objetivo general:.....	6
1.3.1 Objetivos específicos:.....	6
1.4 Delimitaciones.....	6
1.5 Alcances del proyecto .....	6
1.6 Limitaciones .....	7
1.6.1 Metodológicas.....	7
1.6.2 Técnicas .....	8
<b>CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL</b> .....	11
2.1 El área de estudio.....	11
2.1.1 Emplazamiento geográfico.....	11
2.1.2 Reseña histórica del poblado Casamata .....	13
2.2 Aspectos bioclimáticos y de la geografía física .....	13
2.2.1 Clima.....	13
2.2.2 Zona de vida y paisaje .....	14
2.2.3 Geología y geomorfología .....	16
2.2.4 Hidrología .....	18
2.2.5 Vulnerabilidad del territorio ante amenazas naturales .....	18
2.3 Aspectos socioeconómicos .....	26

2.3.1	Uso del suelo y Capacidad de Uso de la tierra .....	26
2.3.2	Bienes y servicios.....	29
2.3.3	Servicios y matrícula de la Escuela Casamata .....	29
2.4	El componente educativo .....	30
2.4.1	El Ministerio de Educación Pública .....	30
2.5	Aspectos Técnicos .....	33
2.5.1.	Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) .....	33
2.5.2	Fotogrametría Aérea Digital.....	36
<b>CAPÍTULO 3:</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>37</b>
3.1	Alcance del proyecto.....	37
3.2	Tipo de investigación.....	37
3.3	Participantes.....	37
3.4	Instrumentos y Datos .....	37
3.4.1	El Vehículo Aéreo No Tripulado .....	37
3.4.2	<i>Software</i> .....	38
3.4.3	Datos del Modelo de Elevación Digital de ALOS PALSAR.....	40
3.4.4	Boleta de inspección de campo .....	42
3.5	Área de estudio .....	42
3.5.1	Misión 1.....	42
3.5.2	Misión 2.....	42
3.6	Flujo de trabajo .....	44
3.6.1	Recolección de los datos de campo .....	46
3.6.2	Inspección de las condiciones del terreno deslizado .....	46
	MED (DEM).....	47
	Pendiente ( <i>Slope</i> ) .....	47
	Reclasificar ( <i>Reclass</i> ) .....	47
	Mapa de relieve relativo .....	47
3.6.3	Reconocimiento de la infraestructura del centro educativo .....	49
3.6.4	Estudio de las condiciones de los terrenos para reubicación .....	52
3.6.5	Carga y calibración de imágenes.....	55
3.6.6	Los productos informativos para el estudio de la utilidad de los terrenos.....	57

3.7 Limitaciones .....	66
<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
4.1 Análisis técnico de la afectación por deslizamiento en el terreno de la anterior Escuela Casamata .....	67
4.1.1 El estado del terreno post evento .....	69
4.1.2 El estado de la infraestructura educativa post evento .....	71
4.1.3 El relieve relativo en el área de estudio .....	74
4.1.4 La afectación y el riesgo en la zona de emergencia .....	77
4.2 Análisis técnico de la utilidad de los terrenos para el uso educativo .....	79
4.2.1 Características y condiciones del terreno 1 .....	79
4.2.2 Características y condiciones del terreno 2 .....	84
<b>CAPÍTULO 5:</b> .....	<b>89</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>89</b>
5.1 Conclusiones .....	89
5.2 Recomendaciones .....	91
<b>CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>92</b>
ANEXOS .....	100

## RESUMEN

Esta investigación aplica una metodología de inspección técnica desarrollada específicamente para la observación y el análisis multivariable en terrenos propuestos para el uso educativo, utilizando Vehículos Aéreos No Tripulados, Fotogrametría Aérea Digital y Sistemas de Información Geográfica.

El caso de estudio consiste en la valoración de terrenos para la reubicación de la Escuela Casamata, ubicada en la Región Central del país, que fue afectada por un deslizamiento durante la temporada lluviosa del año 2017.

Las misiones VANT se programaron en la zona para la inspección de dos escenarios particulares: el lote escolar afectado por el deslizamiento y los terrenos propuestos al MEP para la reubicación de la escuela en la comunidad.

Los sobrevuelos con VANT suministraron imágenes digitales del terreno en alta resolución, que fueron luego tratadas mediante los Sistemas de Información Geográfica y técnicas de Fotogrametría Aérea Digital, para estudiar las condiciones geográficas en los inmuebles.

El procesamiento de las imágenes permitió la generación de insumos fotogramétricos muy útiles para la descripción de los terrenos, como el Ortomosaico y el Modelo de Elevación Digital, los cuales suministran el modelado geoespacial y la vista en alta resolución de los objetivos.

El análisis geoespacial permite concluir, primero que el terreno escolar deslizado es un sitio inestable, especialmente en presencia de factores disparadores del medio natural como las lluvias de alta intensidad en periodos cortos de tiempo, a la vez que evidencia otros factores que contribuyen a la vulnerabilidad del sector, como el uso residencial sin planificación. Segundo, que los terrenos propuestos para la reubicación de la escuela presentan importantes limitaciones técnicas, especialmente en cuanto al relieve y la topografía, lo cual reduce el aprovechamiento de las áreas en función del uso educativo.

Esta aplicación metodológica es una muestra de la utilidad y las ventajas de incorporar herramientas tecnológicas modernas y actualizadas en las tareas técnicas que lleva a cabo el personal de la Dirección de Infraestructura Educativa del MEP, ahorrando tiempo y dinero a la Administración Pública.

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Censo escolar de los años 2018, 2019 y 2020 en la Escuela Casamata. ....	30
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de VANT según DO-001-OPS-RPAS.....	34
<b>Tabla 3.</b> Estadísticas del vuelo fotogramétrico en la Misión 2.....	52
<b>Tabla 4.</b> Boleta de Inspección de campo con las características del terreno 1. ....	80
<b>Tabla 5.</b> Boleta de inspección de campo con las características del terreno 2.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de Localización de la zona de estudio. ....	12
<b>Figura 2.</b> Mapa de Variables Bioclimáticas de la zona de estudio. ....	15
<b>Figura 3.</b> Mapa Geofísico de la zona de estudio. ....	17
<b>Figura 4.</b> Mapa de Amenazas Naturales en la zona de estudio.....	19
<b>Figura 5.</b> Vista del deslizamiento en el terreno de la Escuela Casamata.....	23
<b>Figura 6.</b> Ruptura de la infraestructura sobre la corona del deslizamiento .....	23
<b>Figura 7.</b> Avance de los materiales por la ladera.....	24
<b>Figura 8.</b> Espacios escolares dañados por la emergencia.....	25
<b>Figura 9.</b> La infraestructura educativa fue declarada inhabitable.....	25
<b>Figura 10.</b> El MEP trabaja en la inspección de terrenos en la zona.....	26
<b>Figura 11.</b> Mapa del Uso de Suelo y Capacidad de Uso de la Tierra .....	28
<b>Figura 12.</b> Clasificación de los VANT por disposición de las hélices rotatorias.....	35
<b>Figura 13.</b> Parámetros técnicos de la cámara y la aeronave Phantom 4 Standard.....	39
<b>Figura 14.</b> El modelo VANT Phantom 4 Standard utilizado en el sector de Casamata ....	39
<b>Figura 15.</b> Mapa de Ubicación de Terrenos en el Modelo de Elevación Digital ALOS PALSAR. ....	41
<b>Figura 16.</b> Mapa de Ubicación de Terrenos con las áreas de los sobrevuelos .....	43
<b>Figura 17.</b> Esquema de procesos generales que integran la metodología. ....	45
<b>Figura 18.</b> Esquema de ocho etapas que integran la metodología .....	45
<b>Figura 19.</b> Ejemplo del proceso de reclasificación de un DEM. ....	47
<b>Figura 20.</b> Proceso de construcción del mapa de relieve relativo. ....	47
<b>Figura 21.</b> Parámetros de reescalado para el DEM.....	48
<b>Figura 22.</b> Parámetros del <i>Slope</i> para el mapa de pendientes .....	48
<b>Figura 23.</b> Reclasificación del relieve relativo en nuevas categorías .....	49
<b>Figura 24.</b> El lugar ha cambiado sustancialmente desde el año 2017. ....	50
<b>Figura 25.</b> El terreno resultó muy dañado por el deslizamiento. ....	51
<b>Figura 26.</b> Equipo a cargo de la Misión 1 con VANT. ....	51
<b>Figura 27.</b> Modelo de correspondencia de imágenes del sobrevuelo. ....	53
<b>Figura 28.</b> Perspectiva del terreno 1. ....	54
<b>Figura 29.</b> Perspectiva del terreno 2. ....	54
<b>Figura 30.</b> Carga de las imágenes digitales en Agisoft PhotoScan.....	55
<b>Figura 31.</b> Proyección en el sistema CRTM05. ....	56
<b>Figura 32.</b> Flujo de trabajo para los productos fotogramétricos. ....	56
<b>Figura 33.</b> Control para la calibración de la cámara y la nube dispersa.....	58
<b>Figura 34.</b> Nube densa con la representación de la escena en 3D.....	60
<b>Figura 35.</b> Concepto de malla continua de datos o <i>Mesh</i> para un relieve irregular.....	60
<b>Figura 36.</b> Modelo 3D <i>Mesh</i> para la escena de la Misión VANT 1.....	61
<b>Figura 37.</b> Modelo Digital de Superficie y el Modelo Digital del Terreno .....	63

<b>Figura 38.</b> Control para la proyección del DEM. ....	63
<b>Figura 39.</b> Control para generación del Ortomosaico. ....	64
<b>Figura 40.</b> El Ortomosaico es un elemento ráster de alta resolución espacial .....	65
<b>Figura 41.</b> Mapa de las Amenazas Naturales para el sector. ....	68
<b>Figura 42.</b> Vista del material movilizado y las viviendas en las cercanías. ....	70
<b>Figura 43.</b> Dimensiones aproximadas del deslizamiento en el lote escolar. ....	70
<b>Figura 44.</b> Corona del deslizamiento a nivel del terreno. ....	71
<b>Figura 45.</b> Boleta de Evaluación post evento para la Escuela Casamata. ....	72
<b>Figura 46.</b> Pérdida de infraestructura escolar sobre la ruptura del terreno. ....	73
<b>Figura 47.</b> Vista de los remanentes del edificio escolar .....	73
<b>Figura 48.</b> Vista de los escombros en el lote escolar. ....	74
<b>Figura 49.</b> Mapa de Relieve Relativo en el área de estudio. ....	75
<b>Figura 50.</b> Marcas de deslizamientos en el relieve local. ....	76
<b>Figura 51.</b> La corona del deslizamiento alcanzó a las propiedades vecinas. ....	78
<b>Figura 52.</b> Viviendas habitadas a pocos metros del deslizamiento. ....	78
<b>Figura 53.</b> Propuesta de área del terreno 1. ....	81
<b>Figura 54.</b> Modelo de Elevación MDS para el terreno 1. ....	81
<b>Figura 55.</b> Ortomosaico con el análisis espacial para el terreno 1. ....	82
<b>Figura 56.</b> Uso del suelo sobre el Ortomosaico para el terreno 1. ....	82
<b>Figura 57.</b> Propuesta de área para el terreno 2. ....	86
<b>Figura 58.</b> Modelo de Elevación MDS para el terreno 2. ....	86
<b>Figura 59.</b> Ortomosaico con el análisis espacial para el terreno 2. ....	87
<b>Figura 60.</b> Uso del suelo sobre el Ortomosaico para el terreno 2. ....	87

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASP: Área Silvestre Protegida

CNE: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias

CBI: Coordinación Bienes Inmuebles

CRTM05: Proyección Costa Rica Transversal Mercator 2005

DIE: Dirección de Infraestructura

DIEE: Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo

IGN: Instituto Geográfico Nacional

GNSS: Global Navigation Satellite System

GPS: Global Positioning System

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

MDS: Modelo Digital de Superficie

MDT: Modelo Digital del Terreno

MED o DEM: Modelo Elevación Digital (Digital Model Elevation)

MEP: Ministerio de Educación Pública

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

PALSAR: Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar

RPAS: Remotely Piloted Aircraft System

SETENA: Secretaría Técnica Nacional Ambiental

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

SNIT: Sistema Nacional de Información Territorial

UAV: Unnamed Aerial Vehicle

VANT: Vehículo Aéreo No Tripulado



**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Marco Antonio Espinoza López, con cédula de identidad 1-1259-0708, en mi condición de autor del TFG titulado Aplicación Metodológica de Inspección de Terrenos mediante el Uso de Vehículos Aéreos No Tripulados para el Desarrollo de Infraestructura Educativa a cargo del Ministerio de Educación Pública de Costa Rica (2020).

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO \*

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: \_\_\_\_\_ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**FIRMA ESTUDIANTE**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad los Vehículos Aéreos No Tripulados desarrollan tareas y funciones que resultan muy convenientes para algunas aplicaciones científicas, tales como las inspecciones remotas a objetivos de diversa índole.

La gama de aplicaciones de la tecnología VANT crece rápidamente y parece no tener límites. Los populares “drones” son adquiridos por los usuarios especialmente para el entretenimiento y la recreación, sin embargo, pueden emplearse también como valiosas herramientas de trabajo, que facilitan y simplifican algunas de las tareas que realizamos de forma manual o personalizada, por ejemplo, en las inspecciones visuales de grandes obras de infraestructura como puentes, tendidos y represas hidroeléctricas, en la fumigación de plantaciones y jardines, en la industria del cine y las transmisiones televisivas, en la captura de datos para la geografía, la ingeniería, minería, en el uso militar, en la atención de emergencias, en la búsqueda de personas desaparecidas y en muchos usos más (DroneDeploy, 2020).

Considerando tal versatilidad en estos dispositivos, salta la pregunta: ¿Pueden los VANT utilizarse como herramientas de trabajo al servicio del MEP para complementar las inspecciones técnicas en los terrenos de interés para el uso educativo, optimizando la manera de capturar la información en el campo, especialmente en secciones de topografía irregular o difícil acceso?

Los VANT pueden utilizarse en eso y en mucho más, pero es necesario disponer de un procedimiento que aplique las ventajas de esta tecnología al servicio de la Administración. En momentos donde el uso de la tecnología geoespacial se abre paso dentro de las organizaciones, se vuelve trascendental mantenerse actualizado, implementar soluciones geoespaciales adecuadas y aprovechar las ventajas asociadas. “Cada vez más, las organizaciones públicas y los encargados de formular políticas han llegado a identificar el SIG como algo importante para el alcance de sus objetivos” (Tomlinson, 2008).

## 1.2 Justificación del tema

El desarrollo de infraestructura educativa pública en Costa Rica es una importante función del Estado a cargo del Ministerio de Educación Pública (Decreto N°42488-MEP, 2020). Esta función se materializa a través de la Dirección de Infraestructura Educativa, la instancia técnica especializada en materia de infraestructura educativa a nivel nacional.

Entre las funciones de la DIE se encuentra realizar las inspecciones a terrenos para desarrollo de los proyectos de infraestructura educativa. Estas inspecciones en la actualidad se llevan a cabo por funcionarios de manera muy personalizada, lo que involucra algunas limitaciones físicas para el profesional y el equipo inspector, sin embargo, la actual metodológica de inspección con VANT soluciona esas limitaciones al proporcionar un método de inspección aéreo para el reconocimiento de objetivos.

Esta tecnología ya está en uso en el país, mostrando muy buenos resultados dentro de instituciones públicas, como en el caso del LANAMME, la Cruz Roja, la CNE, ICE y algunas municipalidades especialmente de la GAM.

Esta aplicación metodológica puede considerarse un método rápido de inspección de campo, basado en el uso de VANT y las aplicaciones geoespaciales SIG, que por su propósito no incorpora puntos de control para fijar el modelo matemático a nivel del terreno. Esto supondría emplear más tiempo y recursos durante las visitas técnicas para levantar antes los puntos de control, aunque sin duda mejoraría considerablemente la precisión de los datos. No obstante, los resultados en general son bastante satisfactorios y el residual se mantiene en el orden de una cifra significativa, lo que en nada complica el análisis cualitativo y descriptivo que emplea la metodología.

No obstante, el levantamiento previo de los puntos de control en campo es un ejercicio muy recomendable cuando se trabaja con misiones de sobrevuelos VANT, para mejorar las posiciones geoespaciales y reducir en general el ruido en los datos del modelado.

### **1.2.1 Los estudios técnicos en la evaluación de terrenos**

La utilidad de los terrenos para uso de infraestructura educativa está determinada principalmente por las condiciones geofísicas del medio y la complejidad de la obra constructiva. Durante la fase de prefactibilidad y en función de la naturaleza del proyecto, los análisis de utilidad de terrenos para el desarrollo de infraestructura educativa deben complementarse con otros estudios técnicos especializados del lugar, con el propósito de asegurar en todo momento el éxito del proyecto.

Las inspecciones a terrenos con VANT pueden entenderse como parte de los estudios de prefactibilidad o básicos preliminares, necesarios en la planificación de cualquier proyecto. Estos estudios básicos preliminares “constituyen el punto de partida de cualquier proyecto en materia de arquitectura, ingeniería o topografía, siendo que, dada la naturaleza y los alcances del mismo, determinan la viabilidad ambiental, técnica, financiera y legal de un proyecto y por consiguiente la decisión o no de ejecutarlo. Como estudios básicos en los terrenos se consideran, por ejemplo, el levantamiento de obras existentes, estudios topográficos y catastrales, estudios de suelos, estudios ambientales, análisis de materiales, estudios de viabilidad de tránsito en el caso de accesos con fuertes cargas vehiculares, y cualquier otro estudio necesario para evaluar la utilidad de las propiedades (CFIA, 2016).

Los estudios básicos de ingeniería en los terrenos, por ejemplo, determinan “las condiciones y características físicas y ambientales, sociales, culturales y económicas, existentes en un determinado sitio o zona; sin estos estudios el planeamiento y desarrollo del proyecto no se puede realizar” (CFIA, 2016).

Estudios como los análisis geotécnicos o de suelos, de arqueología, de geología básica hidrológicos e hidrogeológicos, o de vulnerabilidad por amenazas naturales son fundamentales para determinar las condiciones geofísicas y la utilidad de las propiedades para el desarrollo de un proyecto constructivo.

El reconocimiento de terrenos con VANT y el análisis espacial SIG son, sin lugar a dudas, recursos eficaces para estudiar la utilidad de los terrenos, pero no sustituyen los estudios técnicos más específicos en los inmuebles, necesarios para asegurar la viabilidad ambiental de un proyecto constructivo.

Conforme a la normativa ambiental nacional, durante la etapa de prefactibilidad, las obras nuevas de infraestructura educativa están sujetas a la aprobación de la viabilidad ambiental de SETENA para el trámite de los permisos constructivos (Decreto N° 32712-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC, 2005). En ese sentido, el Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) introduce los requisitos y procedimientos generales con los que se determinará la viabilidad ambiental y respectivos registros de las actividades, obras o proyectos nuevos de construcción (Decreto N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC, 2004).

El Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA) presenta los tipos de estudios básicos necesarios en el área de un proyecto con un impacto calculado en el medio ambiente.

El Decreto N° 32712 del año 2005-Parte II, introduce los instrumentos técnicos del Documento de Evaluación Ambiental D1, la guía para el llenado del Documento D1 y en el Anexo 5 presenta el Protocolo técnico para el Estudio de Ingeniería básica del terreno, indispensable para determinar las condiciones geofísicas del terreno.

Más adelante, el Decreto N° 32967 del año 2006-Parte III, introduce la variable ambiental en los planes reguladores u otra planificación del suelo y en el Anexo 3 presenta el Protocolo Técnico para la Zonificación y Restricciones al Uso del Suelo sobre o en el ámbito territorial inmediato a Fallas Geológicas Activas, indispensable para analizar el riesgo geológico en la zona del proyecto.

El mismo decreto N° 32712, en el Anexo 2: Guía para el llenado del Documento de Evaluación Ambiental D-1, en la Sección II Llenado del D-1. Aspectos Generales, en el punto 1.4 Documentos Técnicos Complementarios, se citan los estudios requeridos para presentación del Documento D1, de la siguiente forma:

- A. El diseño básico de sitio corresponde a un plano general de la actividad, obra o proyecto a desarrollar.
- B. La copia de la hoja cartográfica en la que se localiza el área del proyecto.
- C. Estudio de ingeniería básica del terreno del área del proyecto. (Estudio que incluye la capacidad soportante, pruebas de infiltración, estabilidad de taludes en pendientes altas e hidrología).
- D. Estudio de geología básica del terreno del área del proyecto. (Estudio de geología básica y condición de amenazas y riesgos naturales geológicos)
- E. Reporte arqueológico rápido del terreno del área del proyecto.
- F. Certificación sobre el monto de inversión global de la actividad, obra o proyecto planteada.
- G. Registro fotográfico de las condiciones actuales del área del proyecto.

De tal manera que, la aplicación de los estudios preliminares de ingeniería básica, geología básica y el reporte arqueológico rápido en terrenos con proyección de desarrollo, son deseables para determinar con mejor fundamento la utilidad de cada terreno propuesto para inversión. En este sentido, se reitera la importancia de contar con los mismos y se recomienda a la Administración realizar las gestiones necesarias para la contratación de dichos estudios, de previo a la adquisición de los inmuebles y como parte de la verificación de prefactibilidad en los proyectos de obra educativa.

### **1.3 Objetivo general:**

Desarrollar una metodología de inspección de terrenos para uso de infraestructura educativa pública relacionando los productos informativos de los sobrevuelos VANT, la Fotogrametría Aérea Digital y las soluciones geoespaciales SIG.

#### **1.3.1 Objetivos específicos:**

1. Realizar dos misiones de sobrevuelos con VANT inspeccionando el área del terreno escolar deslizado y el sector de los terrenos propuestos al MEP para el traslado del centro educativo.
2. Producir los insumos informativos derivados del vuelo fotogramétrico y las aplicaciones SIG para la caracterización de los terrenos.
3. Elaborar un análisis técnico de la afectación en el terreno escolar deslizado y de la utilidad de los terrenos propuestos para el desarrollo de infraestructura educativa.

### **1.4 Delimitaciones**

Las inspecciones se desarrollaron en la comunidad rural Casamata, un pequeño poblado localizado en la Región Central del país.

Los sobrevuelos VANT tienen como propósito:

- a) Visualizar el terreno escolar deslizado.
- b) Realizar el vuelo fotogramétrico en los terrenos propuestos para el traslado del centro educativo.

### **1.5 Alcances del proyecto**

Esta investigación pretende orientar a la Administración en el empleo de nuevas herramientas técnicas disponibles para optimizar las tareas de inspección de terrenos para el uso educativo.

Se espera que esta metodología marque un precedente en los procedimientos de inspección de terrenos que realiza la Coordinación de Bienes Inmuebles y la Administración valore la implementación de la misma en el corto o mediano plazo.

## **1.6 Limitaciones**

La investigación presentó algunas limitaciones metodológicas y técnicas en el desarrollo de la metodología de inspección de terrenos.

### **1.6.1 Metodológicas**

La bibliografía sobre amenazas naturales en la zona de Casamata es puntual acerca de la susceptibilidad del sector ante los deslizamientos y derrumbes, fuera de ese análisis, las referencias se vuelven escasas.

Los deslizamientos en ese sector han sido bien identificados por la CNE, especialmente en los casos donde provocan afectaciones a las propiedades y la infraestructura vial (Mora, 2017). Desde una perspectiva geográfica, la zona de estudio es altamente compleja, con características de clima y relieve que incrementan la susceptibilidad de los deslizamientos a lo largo del tramo de montaña de la Ruta Nacional 2, donde se ubica la zona de estudio (LANAMME UCR, 2004).

En relación al estado general de los terrenos y la infraestructura de los centros educativos propiedad del MEP a nivel nacional, el Ministerio no dispone de una base de datos pública donde consultar las condiciones de estos bienes inmuebles, pero avanza en los esfuerzos para contar con una en el corto plazo.

En cuanto a la cartografía oficial para la zona de estudio, la información disponible en la escala 1:50.000, sobre litología, geomorfología, el uso del suelo y la red de caminos locales, resulta muy general para describir con precisión las áreas donde se realizaron los sobrevuelos con VANT. Algunas variables fueron digitalizadas a partir de la fotointerpretación de imágenes satelitales y los insumos de los sobrevuelos con VANT, especialmente para la escala 1:7000.

## **1.6.2 Técnicas**

### **1.6.2.1 Terrenos para centros educativos**

El terreno adecuado para infraestructura educativa debe cumplir una serie de parámetros técnicos para asegurar el uso del óptimo disponible. Para esto, los terrenos son evaluados según las condiciones de ubicación, seguridad, salubridad, dotación y capacidad, en función de los requerimientos del uso educativo. (CSE, 2012).

La normativa para el uso de terrenos destinados a la educación está basada principalmente en el Reglamento de Construcciones del INVU, donde, la primera versión de la norma establecía que el terreno seleccionado "...deberá reunir las mejores condiciones posibles respecto a topografía, vegetación, orientación, y estar protegido de los elementos perturbadores de la tranquilidad y salud de los educandos" (INVU, 1982).

Sobre las condiciones ideales de los terrenos, el Compendio de Normas y Recomendaciones para la Construcción de Edificios para la Educación del MEP, amplía la normativa, de la siguiente forma:

"Corresponde a la Dependencia Competente en Materia de Infraestructura del Ministerio de educación Pública la aprobación de la ubicación de las obras e instalaciones educativas del país, previa presentación del certificado de uso de suelo en los casos en que corresponda y tomando en cuenta: topografía, vegetación, orientación, planes reguladores (donde afecte), servicios básicos, reservas indígenas, áreas de patrimonio, emisiones sónicas, condiciones ambientales y demás factores o elementos perturbadores de la tranquilidad y la salud que son preponderantes y condicionan el diseño de las mismas.

Se debe acudir a cada ente regulador (ICE, MOPT, INVU, Municipalidad, MINAET, AYA y otros) para solicitar los lineamientos y retiros, así como información de servidumbres en los casos donde sea necesario... en cuestiones de presencia de elementos perturbadores de la salud y la tranquilidad... en caso de que no exista criterio legal a nivel nacional, se recurrirá a la consulta de literatura normativa internacional o sus instancias". (MEP, 2012 p. 6).

Es deseable en los terrenos propuestos para el uso educativo, la presencia de otras variables importantes, por ejemplo, acceso libre sobre vía pública, una configuración regular de linderos, cercanía con servicios complementarios como centros de salud, comercio, recreo, etc.

Por su parte, el Reglamento de Requerimientos de Diseño Arquitectónico Sobre Edificios Para la Educación Pública y Privada en Costa Rica, basado en la última norma del Reglamento de Construcciones, en relación a los proyectos constructivos, señala el cumplimiento de los siguientes requerimientos:

- a) “Diseños complementarios que permitan la accesibilidad a la edificación según la Ley de Igualdad de Oportunidades para Personas con Discapacidad número 7600.
- b) Acceso vehicular y peatonal, individuales (de manera que no existan conflictos de circulación entre sí).
- c) Espacios con vegetación.
- d) Estar protegidos de elementos perturbadores de la salud y tranquilidad de los educandos, como accesos principales sobre vías ferroviarias o carreteras sin la debida señalización para la seguridad vial, tendidos de alta tensión y áreas identificadas como insalubres por las autoridades competentes.
- e) Cumplir con las normativas dispuestas para zonas de protección, aeropuertos o campos de aterrizaje (de acuerdo al artículo 96 de la Ley General de Aviación Civil, número 5150), alineamiento vial del MOPT (artículo 19 de la Ley General de Caminos Públicos, Número 5060), áreas de protección de cuencas (Ley Forestal 7575 del 13 de febrero de 1996, artículo 33), alineamiento municipal (capítulo cuatro, artículo 18 de la Ley de Construcciones, número 833), Planes Reguladores (Ley de Planificación Urbana, Ley N°4240 del 15 de noviembre de 1968, artículo 15), zonas especiales para conducción de redes de agua, alcantarillado, electricidad, oleoductos y similares (servidumbres) (artículo 2, Decreto N° 25902-MIVAH-MP-MINAE del 12 de febrero de 1997, Plan Regional Desarrollo Urbano Gran Área Metropolitana, y cualquier otra regulación especial y sus respectivas reformas).
- f) No deberán estar ubicados a menos de la distancia legal permitida respecto de locales que comercialicen bebidas con contenido alcohólico (artículo 9 de la Ley de Regulación y Comercialización de bebidas con contenido alcohólico, Número 9047 y sus reformas)” (Decreto N°41103-MEP, 2018).

Naturalmente, no todos los terrenos cumplen los requerimientos técnicos necesarios para localizar adecuadamente el uso educativo, por ello es determinante realizar las tareas de inspecciones técnicas a los inmuebles propuestos para este uso específico.

#### **1.6.2.2 Cobertura o uso**

El desarrollo de terrenos deberá ser consecuente con la normativa ambiental nacional. Esto incluye el acatamiento de la normativa urbanística de ordenamiento territorial, el marco jurídico ambiental, los planes reguladores municipales y otras disposiciones que apliquen (MEP, 2012).

En los casos donde se desarrollen centros educativos nuevos, se prefieren los terrenos en verde o libres de edificaciones previas, ya que reducen los costos asociados de los proyectos y permiten un mejor aprovechamiento de las áreas disponibles.

#### **1.6.2.3 Factor de área**

El área es una de las características principales que determinan la utilidad de los terrenos en general y constituye un factor fundamental para calcular el valor comercial y fiscal del inmueble.

El área necesaria en un terreno para uso educativo se establece mediante un Informe Diagnóstico de las necesidades institucionales, donde se examina el número máximo de alumnos en la matrícula estudiantil, el plan de estudios y los módulos horarios (INVU, 2018).

Es deseable que los terrenos cumplan con el área necesaria para desarrollar infraestructura, con una proyección de uso a mediano y largo plazo, tomando como parámetro esencial el comportamiento de la matrícula estudiantil en el tiempo.

## **CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 El área de estudio**

Corresponde al área donde se ubica el terreno escolar deslizado y el sector donde se ubican los terrenos propuestos al MEP para la reubicación de la escuela (Figura 1).

#### **2.1.1 Emplazamiento geográfico**

Casamata se ubica en la Cordillera de Talamanca. Se trata de un poblado rural situado en el límite entre las provincias San José y Cartago y los cantones Desamparados y El Guarco, entre los distritos San Cristóbal y San Isidro, respectivamente (SNIT, 2020).

Se ubica en las coordenadas geográficas 9°46'42,463" Latitud Norte y -83°59'29,111" Longitud Oeste, a una altitud promedio de 1.880 m.s.n.m., como se observa en el Mapa de Localización de la zona de estudio (Figura 1).

Es un poblado pequeño anexo a la Ruta Nacional 2, la cual parece tener influencia directa en la distribución local de los usos del suelo, principalmente en el caso de las viviendas y el comercio.

La Ruta Nacional 2 constituye una vía de comunicación esencial para Casamata y las comunidades vecinas, siendo ésta la conexión vial más importante entre el Valle Central y la zona Sur del país.

Desde el momento en la Ruta Nacional 2 entró en funcionamiento en la década de los años 40's, ha experimentado múltiples deslizamientos de tierra y roca a lo largo de su trayecto. Esta condición se presenta claramente en los alrededores de Casamata, con el registro de varios deslizamientos ocurridos en los últimos años. "... el problema se intensifica con la llegada de la estación lluviosa y de fenómenos atmosféricos importantes, como se ha demostrado con los huracanes Juana (1988), César (1996) y Mitch (1998) (CNE, 2018). También son disparados por eventos sísmicos como el terremoto de Pérez Zeledón (1983) y el de Limón (1991)" (LANAMME, 2004).

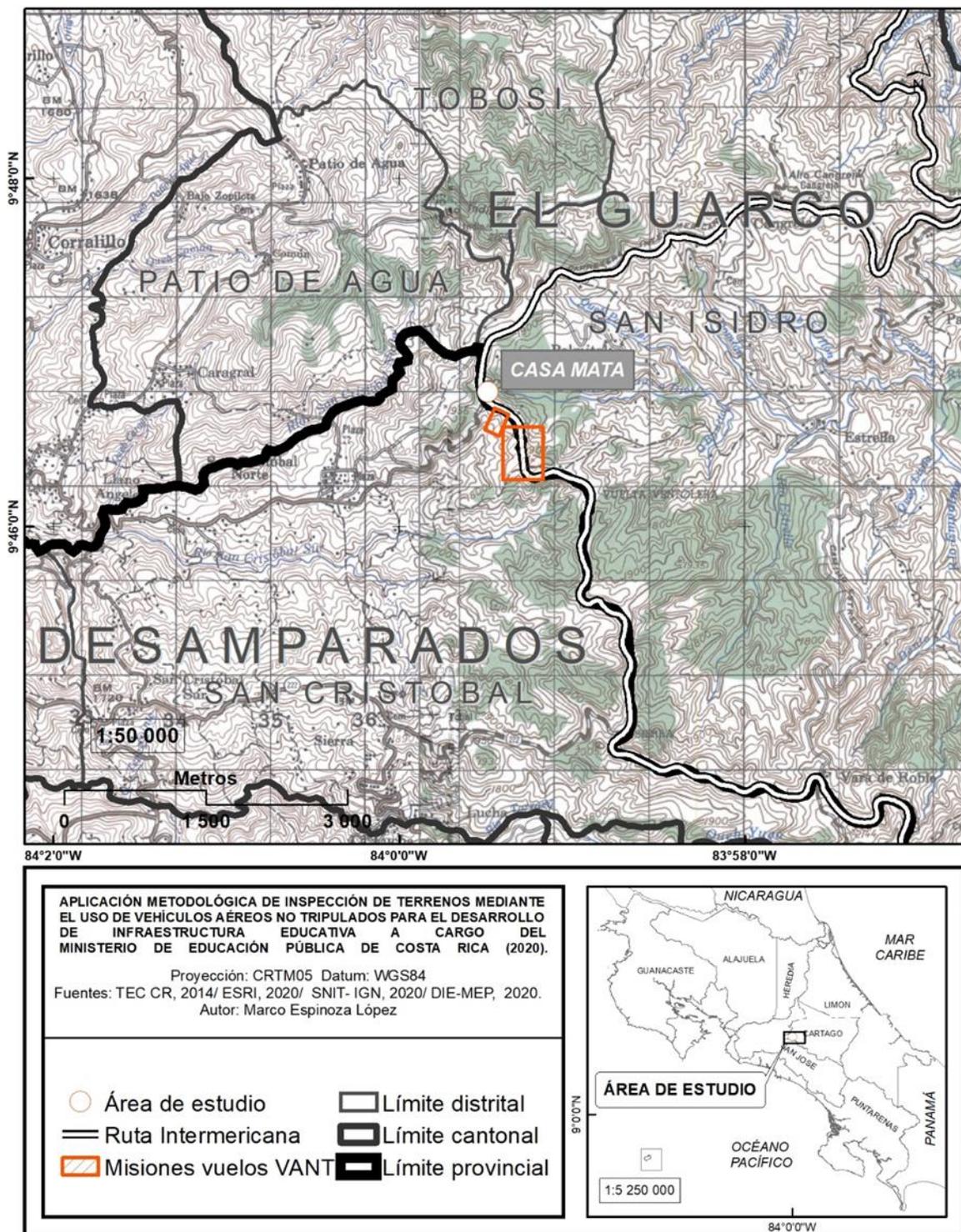


Figura 1. Mapa de Localización de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2020.

### **2.1.2 Reseña histórica del poblado Casamata**

Los primeros pobladores llegaron a la zona a mediados de la década de los años 40's impulsados por la construcción de la Ruta Nacional 2, la cual se construía para comunicar en aquellos años el Valle Intermontano Central y el Valle del General, este último en la Zona Sur del país.

Con la apertura de la ruta nacional por este sector poco a poco fue llegando también la población, la cual con el paso del tiempo se ha ido asentando, dado forma a la actual comunidad de Casamata (V. Camacho, comunicación personal, 25 de setiembre del 2019).

A inicios de la década de los 90's, la fundación de la ASADA Casamata en la comunidad permitió el suministro de agua potable por primera vez a los residentes y representó un cambio muy significativo en las condiciones de vida para ese entonces (V. Camacho, comunicación personal, 25 de setiembre del 2019).

Más recientemente, desde el año 2011 la apertura del Parque Eólico Los Santos ha permitido nuevas fuentes de empleo a los vecinos, favoreciendo la permanencia de los habitantes en el mismo pueblo por más tiempo (V. Camacho, comunicación personal, 25 de setiembre del 2019).

## **2.2 Aspectos bioclimáticos y de la geografía física**

### **2.2.1 Clima**

El área se caracteriza por un clima fresco y ventoso, con una marcada variabilidad en las temperaturas a lo largo de todo el año. "Aquí las condiciones del tiempo cambian en cuestión de horas, se niebla rápidamente y hace frío en la mayor parte del día, así son las condiciones del clima en esta zona de la montaña" (V. Camacho, comunicación personal, 25 de setiembre del 2019).

El clima de la zona muestra la influencia de las vertientes Caribe y Pacífica a lo largo de todo el año. Los vientos alisios predominan desde el Este durante la mayor parte del año, empujando la humedad que ingresa desde el Caribe y asciende hacia la Cordillera de Talamanca. Hacia el Oeste, la influencia de los vientos cálidos del Pacífico influye sobre todo en la estacionalidad de las precipitaciones, provocando los patrones de lluvia característicos de la vertiente Pacífica (MINAE, 2017).

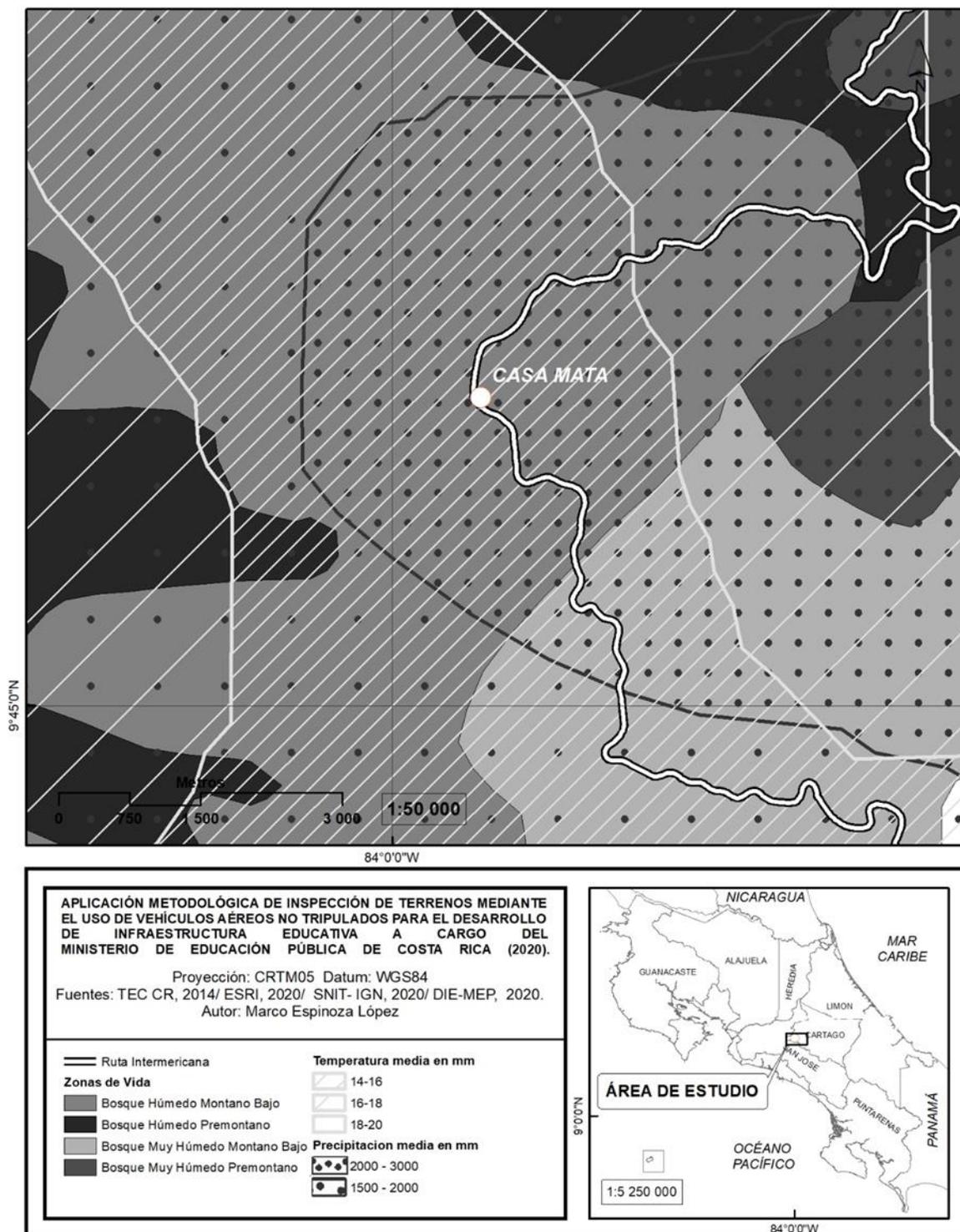
La temperatura se promedia en el rango de los 14°C y 16°C en condiciones normales, con máximas de 25°C y mínimas de 13°C, como se observa en el Mapa de Variables Bioclimáticas de la zona de estudio (Figura 2). Los meses entre noviembre y marzo siguen siendo los más frescos y en los que ocurre la mayor influencia de vientos alisios (IMN, 2017).

La confluencia de vientos en Casamata propicia un régimen de altas precipitaciones, con un promedio anual de lluvias variable entre los 2000 - 3000 mm (Figura 2). La lluvia y la neblina contribuyen al balance hidrológico en toda la serranía, siendo de setiembre a octubre cuando ocurren las máximas de lluvias, coincidiendo con el patrón climatológico de la Región Central del país (IMN, 2017).

### **2.2.2 Zona de vida y paisaje**

El sector reúne varias zonas de vida y ambientes transicionales, reflejo de la amplia variabilidad ecosistémica del territorio (SNIT, 2020). Dos zonas de vida dominan en el paisaje: el Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB) hacia el Sureste, donde también se presentan las transiciones al Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) y el Bosque Muy Húmedo Premontano, distribuido sobre todo en dirección de la Vertiente Atlántica (bmh-P) (Figura 2).

El paisaje socioeconómico de Casamata es rural y campestre, con la población ocupando sobre todo las áreas menos quebradas, como los llanos, filas y las orillas de los caminos. En los últimos años, la presencia del Parque Eólico Los Santos ha transformado notablemente el paisaje natural, con la instalación de al menos 15 torres aerogeneradoras de energía, para el aprovechamiento del recurso eólico (V. Camacho, comunicación personal, 25 de setiembre del 2019).



**Figura 2.** Mapa de Variables Bioclimáticas de la zona de estudio. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

### 2.2.3 Geología y geomorfología

La zona de estudio se localiza dentro del llamado Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR), caracterizado por complejos procesos de deformación y fallamiento de la corteza continental. El CDCCR tuvo su génesis en un vulcanismo intenso ocurrido principalmente durante las series del Mioceno Superior y Medio, hace aproximadamente entre 8 y 19 millones de años (Sojo, et al., 2017).

Geológicamente el territorio se compone de los materiales ígneos del periodo terciario, entre los que destaca la presencia de basaltos, andesitas y tobas. Estas rocas volcánicas componen la base ígnea de toda la zona y son materiales asociados a la cubierta volcánica de la Formación La Cruz, concordante con la formación de la Cuenca de Candelaria (Sojo, et al., 2017).

Los materiales de la Formación La Cruz son reconocibles por la presencia de amígdalas rellenas, vetillas rellenas con calcita, tobas color rojizo y signos de basculamiento (Sojo, et al., 2017). Varios autores coinciden en ubicar a la Formación La Cruz en una posición que sobreyace a las unidades sedimentarias circundantes, mientras otras formaciones cercanas hacen lo mismo respecto a ésta, por medio de una discordancia angular. Sobre el origen de dichos materiales, estos se relacionan “...con una serie de roca volcánicas posiblemente extruidas por medio de fisuras eruptivas, basculadas, al igual que la secuencia sedimentaria subyacente, determinando que la depositación de estas rocas volcánicas fue interrumpida por un evento tectónico asociado al arribo de la cordillera de Coco, cerca del límite Mioceno-Plioceno” (Sojo, et al., 2017).

Los cerros, filas y bajos están comunicados por estrechos accesos que conducen a otros sectores más o menos quebrados La geomorfología se presenta en formas de serranías con variable altitud que pueden conformar importantes divisorias de cuencas hidrográficas. Las pendientes promedian los 2.000 m.s.n.m. y dominan el relieve general siguiendo un patrón que caracteriza las estribaciones de la Cordillera de Talamanca (Sojo, et al., 2017). La Ruta Nacional 2 discurre por la cumbre del relieve, como se observa en el Mapa Geofísico de la zona de estudio (Figura 3).

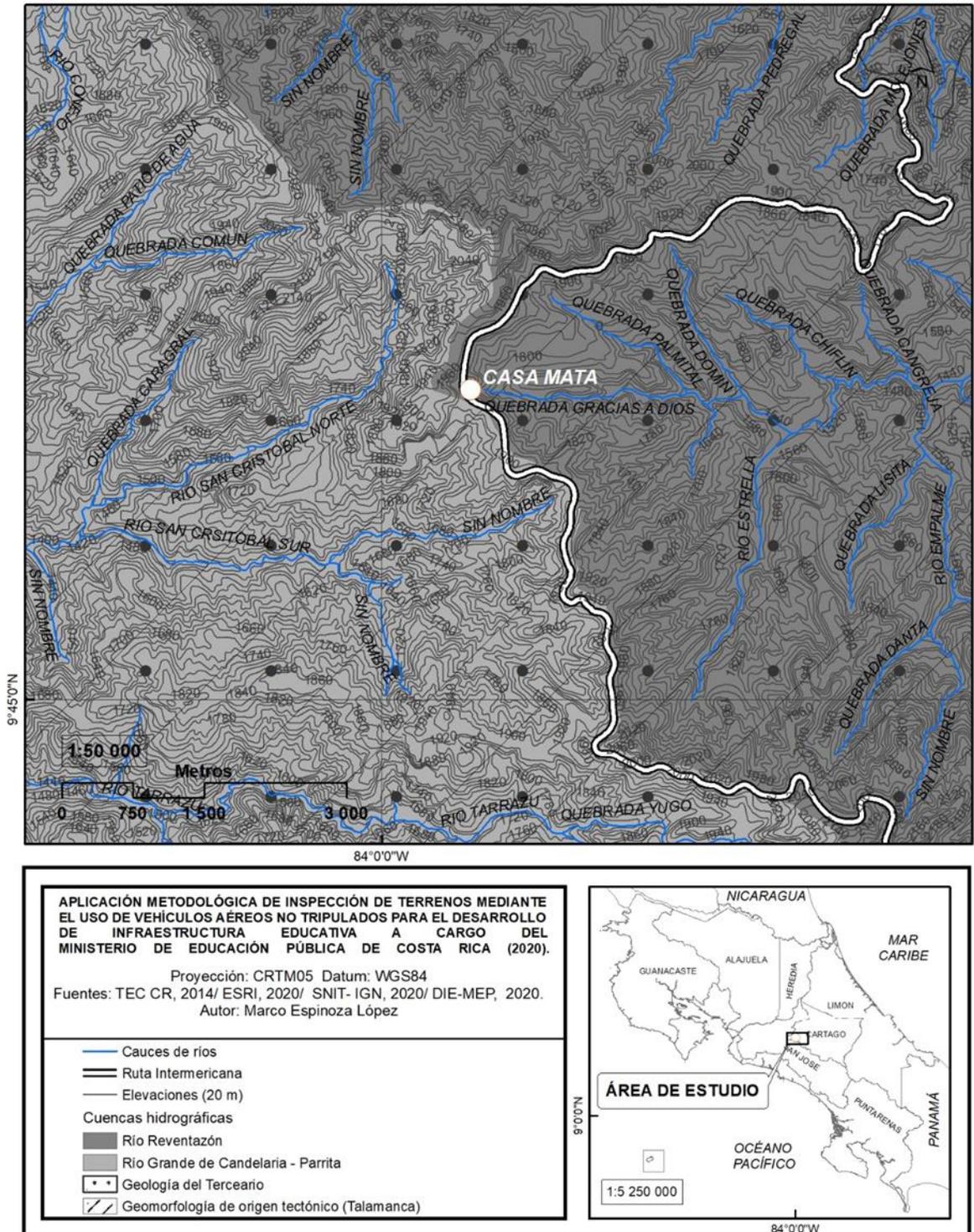


Figura 3. Mapa Geofísico de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2020.

## **2.2.4 Hidrología**

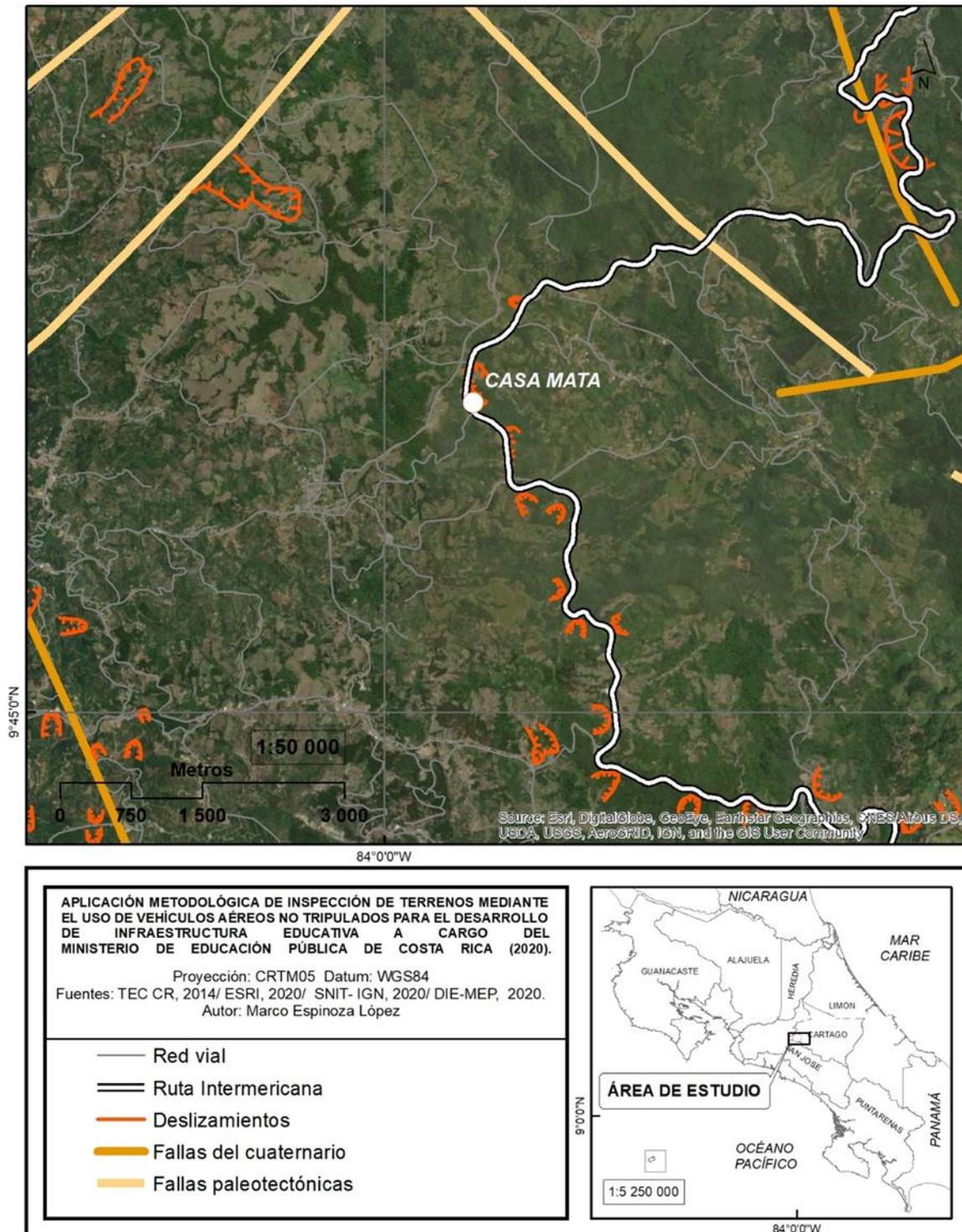
El relieve convexo y la altitud que presenta la serranía contribuyen a la distribución de la humedad en varias microcuencas (Figura 3). Casamata se sitúa en la divisoria de las vertientes Caribe y Pacífica, desde donde se drena el territorio hacia el Este y el Oeste, a través de los ríos Reventazón y Grande de Candelaria, respectivamente (SNIT, 2020). Las comunidades aquí en la zona de recarga de las cuencas juegan un importante rol en la conservación del recurso hídrico. Por ejemplo, la ASP Zona Protectora río Navarro-río Sombrero protege buena parte del bosque que se extiende desde la Ruta Nacional 2 hacia la Vertiente Caribe, donde nacen la quebrada Bonita, quebrada Palmital y quebrada Gracias a Dios, todas afluentes del río Reventazón (SNIT, 2020). Hacia el Oeste, en el distrito San Cristóbal nacen las quebradas San Cristóbal Norte y quebrada San Cristóbal Sur, quebrada Común y otros cauces sin nombre, tributarios del río Santa Elena, un importante afluente del río Grande de Candelaria, conocido este último como Pirris o Parrita en la sección baja de la cuenca. (SNIT, 2020).

## **2.2.5 Vulnerabilidad del territorio ante amenazas naturales**

A nivel local, los fenómenos atmosféricos como sequías e inundaciones, las erupciones volcánicas en zonas pobladas, los sismos, terremotos y los deslizamientos, son los eventos naturales que más afectan el territorio nacional (CNE, 2020).

Un deslizamiento o derrumbe es un movimiento lento o rápido de material natural, compuesto por rocas, suelo, vegetación o rellenos mal conformados, por efecto de la pendiente, el peso y la consistencia de los materiales, o algún otro factor que genere desequilibrio en la ladera. Ocurren en presencia de factores disparadores del medio natural como la sismicidad, el vulcanismo y las lluvias de gran intensidad (CNE, 2020).

En la zona de estudio, los deslizamientos son frecuentes y ocurren potenciados por las altas pendientes, la saturación de los suelos durante precipitaciones fuertes y la presencia de eventos sísmicos importantes como los terremotos (LANAMME UCR, 2004).



**Figura 4.** Mapa de Amenazas Naturales en la zona de estudio. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

Cerca de la zona de estudio, varios sectores han presentado problemas con deslizamientos a lo largo de los últimos años. Los poblados más vulnerables "...son aquellos localizados sobre o muy cerca de la Carretera Interamericana Sur, como La Cangreja, Casa Mata y Palmital, entre otras..." (CNE, s.f.).

En Casamata, por ejemplo, estos eventos producen múltiples daños a los cultivos, a las viviendas y las propiedades, así como afectaciones a la infraestructura vial, principalmente en tramos de la Ruta Nacional 2 (LANAMME UCR, 2004).

Otra amenaza natural aquí es la presencia de varias fallas geológicas que cruzan el territorio, relacionadas con la producción de sismos de variable intensidad. La zona comparte un emplazamiento geológico complejo, delimitado por trazos de fallas paleotectónicas en el Noreste y el Noroeste, y de fallas cuaternarias activas en el Este y el Suroeste, como se aprecia en el Mapa de Amenazas Naturales en la zona de estudio (SNIT, 2020) (Figura 4).

Desde el Este, la proximidad de la falla Cangreja con el sistema sinistral de la falla Navarro, a poco menos de seis kilómetros, es un factor que incide directamente en la vulnerabilidad del territorio. La correlación de estas fallas cuaternarias arroja un potencial sísmico estimado entre 6 y 6,7 (Mw) (RSN, 2020).

Varios autores han descrito el sistema de falla Navarro como un conjunto de fallas activas interconectadas entre sí, con potencial de liberar sismos y terremotos históricos en toda la Región Central del país (Montero, Linkimer y Rojas, 2016).

Al Norte del sistema Cangreja-Navarro se ubica la falla de Aguacaliente (Figura 4). Esta última es también una falla activa, con un destructivo potencial sísmico, como lo recuerdan los episodios ocurridos a lo largo del registro histórico (RSN, 2015).

En el Este y el Suroeste, la amenaza sísmica se relaciona principalmente al sistema de fallas Frailes-Pirris-Pangolín, el cual alcanza un potencial sísmico estimado de 7,0 (Mw) (RSN, 2020). Este sistema de fallas a la fecha no ha liberado terremotos históricos destructivos, pero sí la ocurrencia de varios microsismos locales (RSN, 2020). (Figura 4).

### **2.2.5.1 Deslizamientos en Casamata y alrededores**

Los deslizamientos en Casamata y alrededores son de especial interés para la actual investigación. El mapeo de los eventos demuestra un patrón espacial que concuerda en parte con la trama vial local, principalmente con tramos de la Ruta Nacional 2 (Figura 4). Esta situación podría estar relacionada con la inestabilidad en laderas y rellenos mal conformados, generados con la apertura de la ruta en esta zona.

Otro sector con alta incidencia de eventos se ubica hacia el Este y el Suroeste de Casamata, donde la cercanía de los factores geológicos podría estar relacionada con la inestabilidad del suelo.

La temporada lluviosa del año 2017 fue verdaderamente significativa en cuanto a la presencia de deslizamientos en esta zona. La interacción de los fenómenos climáticos afectó con fuertes lluvias la zona, provocando al menos tres deslizamientos considerables entre Cangrejal y Casamata, con graves consecuencias en terrenos y en la infraestructura de la Ruta Nacional 2. Otros deslizamientos menores en terrenos privados también fueron documentados (Mora, 2017).

Para ese momento, el primer evento en importancia se presentó en las coordenadas  $9^{\circ} 46' 52.90''$  Latitud Norte y  $83^{\circ} 59' 31.80''$  Longitud Oeste, cerca de la intersección de la Ruta Nacional 2 con la ruta 406 que entronca con la Interamericana hacia San Cristóbal Norte, donde la carpeta asfáltica resultó socavada por el rebalse de la alcantarilla de drenaje y provocó la movilización de un bloque de material considerable (Mora, 2017).

El segundo evento ocurrió precisamente en el terreno de la Escuela Casamata, en las coordenadas  $9^{\circ} 46' 39.5''$  Latitud Norte y  $83^{\circ} 59' 24.2''$  Longitud Oeste, donde destruyó buena parte del terreno y la infraestructura del centro educativo.

Un tercer evento se registró en las inmediaciones de la tienda de ropa americana, en las coordenadas  $9^{\circ} 46' 59.4''$  Latitud Norte y  $83^{\circ} 59' 29.9''$  Longitud Oeste, donde el material de la ladera se movilizó por la reactivación de un viejo deslizamiento que ha mantenido el suelo inestable desde hace tiempo (Mora, 2017).

Ninguno de los eventos sucedidos registró pérdidas humanas, pero sí cuantiosos daños materiales a las propiedades y la infraestructura, algunas de las cuales ya no se podrán utilizar nunca más, como en el caso del centro educativo de la comunidad.

### **2.2.5.2 Tormenta Tropical Nate y la emergencia en la Escuela Casamata**

La Tormenta Tropical Nate afectó el territorio nacional a finales del año 2017, siendo uno de los eventos naturales más desastrosos en la historia del país, afectando en general a toda la Región del Istmo centroamericano (CNE, 2018).

En Costa Rica, las lluvias intensas, vientos y marejadas, provocaron inundaciones y deslizamientos en un 85% del territorio nacional, al tiempo que las consecuencias más severas se concentraron en el 45% del territorio, afectando en total 38 cantones y 642 comunidades (CNE, 2018). La tormenta obligó la declaratoria de emergencia nacional mediante el Decreto N°40677-MP publicado en La Gaceta N°242 del día 09 de octubre del 2017. Según registros históricos, los efectos de esta tormenta tropical son semejantes a otros eventos ciclónicos muy destructivos que se han presentado en la Cuenca del Caribe y que han afectado gravemente el país, tales como el Huracán Juana (1988), César (1996), Mitch (1998) y Tomás (2010) (CNE, 2018).

La concentración de lluvias atípicas durante varios días en el territorio nacional produjo la saturación crítica de los suelos, propiciando desprendimientos de materiales y deslizamientos en terrenos inestables y con pendiente acusada. Como sucedió en la mañana del 05 de octubre del 2017 cuando se presentó el deslizamiento en el terreno de la anterior Escuela Casamata, el cual destruyó seriamente el lote escolar y la infraestructura del centro educativo (Figura 5).

El deslizamiento ocurrió en la sección posterior del terreno afectando no solo el lote de la escuela si no también parte de las propiedades vecinas, como se muestra en las fotografías que ilustran los momentos de la emergencia (Figura 5, 6, 7, 8, 9 y 10).

En el terreno escolar, la corona del deslizamiento se extendió por debajo de las edificaciones provocando el colapso de la infraestructura educativa (Figura 6). Los materiales desprendidos, como paredes, pisos, cerramiento perimetral, techos y escombros, acabaron dispersos sobre la pendiente del barranco (Figura 7).

Cerca de la corona del deslizamiento aumenta el riesgo de nuevos desprendimientos de materiales. “El deslizamiento es muy grande y el terreno donde se ubica la escuela posiblemente es un relleno, además ubicado en una zona muy peligrosa con fuertes pendientes... el sitio es inhabitable para siempre” (Mora, 2017).



**Figura 5.** Vista del deslizamiento en el terreno de la Escuela Casamata.  
**Fuente:** Mora, 2017.



**Figura 6.** Ruptura de la infraestructura sobre la corona del deslizamiento.  
**Fuente:** Fotografía propia, 2017.

Los espacios escolares que resistieron al colapso tuvieron que abandonarse ante el riesgo de nuevos desprendimientos del suelo. Los daños fueron muy graves para la institución educativa, las instalaciones resultaron muy comprometidas e inutilizables a partir de ese momento (Figura 8).

La emergencia provocó el cierre definitivo y el traslado temporal de la escuela a una ubicación más segura. (Figura 9). El Ministerio de Educación Pública atiende el proceso de reubicación definitiva de la institución, inspeccionando y valorando la utilidad de varios terrenos en la zona (Figura 10).



**Figura 7.** Avance de los materiales por la ladera. **Fuente:** Camacho, V., 2017.



**Figura 8.** Espacios escolares dañados por la emergencia. **Fuente:** Camacho, V, 2017.



**Figura 9.** La infraestructura educativa fue declarada inhabitable. **Fuente:** Fotografía propia, 2017.



**Figura 10.** El MEP trabaja en la inspección de terrenos en la zona. **Fuente:** Fotografía propia, 2017.

## 2.3 Aspectos socioeconómicos

### 2.3.1 Uso del suelo y Capacidad de Uso de la tierra

En Casamata se presenta un uso del suelo mixto, donde destacan cinco usos principales, como se observa en el Mapa del Uso de Suelo y Capacidad de Uso de la Tierra (Figura 11).

El más extensivo es la conservación de áreas silvestres y reservas forestales, que domina especialmente sobre la divisoria de vertientes. Este uso comprende la Zona Protectora Rio Sombrero-Río Navarro, junto a otras áreas boscosas de menores dimensiones. Otros usos representativos son los tacotales y suelos descubiertos, distribuidos sobre los retiros de las vías y en repastos o sembradíos propios del uso agropecuario (Figura 11).

El uso residencial es disperso, con una distribución espacial en forma de núcleos de viviendas separados entre sí, pero comunicados por la trama de vías vecinales. Estas vías a menudo dependen de la Ruta Nacional 2 para completar la conexión con otros

sectores más distantes. El uso residencial se concentra sobre todo hacia el Suroeste de Casamata, donde se asienta la mayor parte de la población.

Por otro lado, el uso institucional y comercial es bien escaso, y se conforma de las propiedades e instalaciones del Parque Eólico Los Santos, el templo católico, la anterior escuela pública, algunas sodas y un restaurante, el comisariato y comercio al detalle, como tiendas de ropa y abarrotes.

El uso vial está representado principalmente por el tramo de la Ruta Nacional 2 y el entronque con la ruta 406, que comunica con San Cristóbal Norte, en el cantón Desamparados. Estas vías son construidas en asfalto y se encuentran en buen estado de mantenimiento. Otras vías de menor de circulación dan acceso, por ejemplo, a zonas menos transitadas, como las fincas ganaderas en los alrededores. Estas vías normalmente son compuestas de laste o tierra y son transitables casi todo el año, con excepciones en temporadas sumamente lluviosas, como ocurrió en el año 2017, donde resultaron interrumpidas por los deslizamientos de tierra.

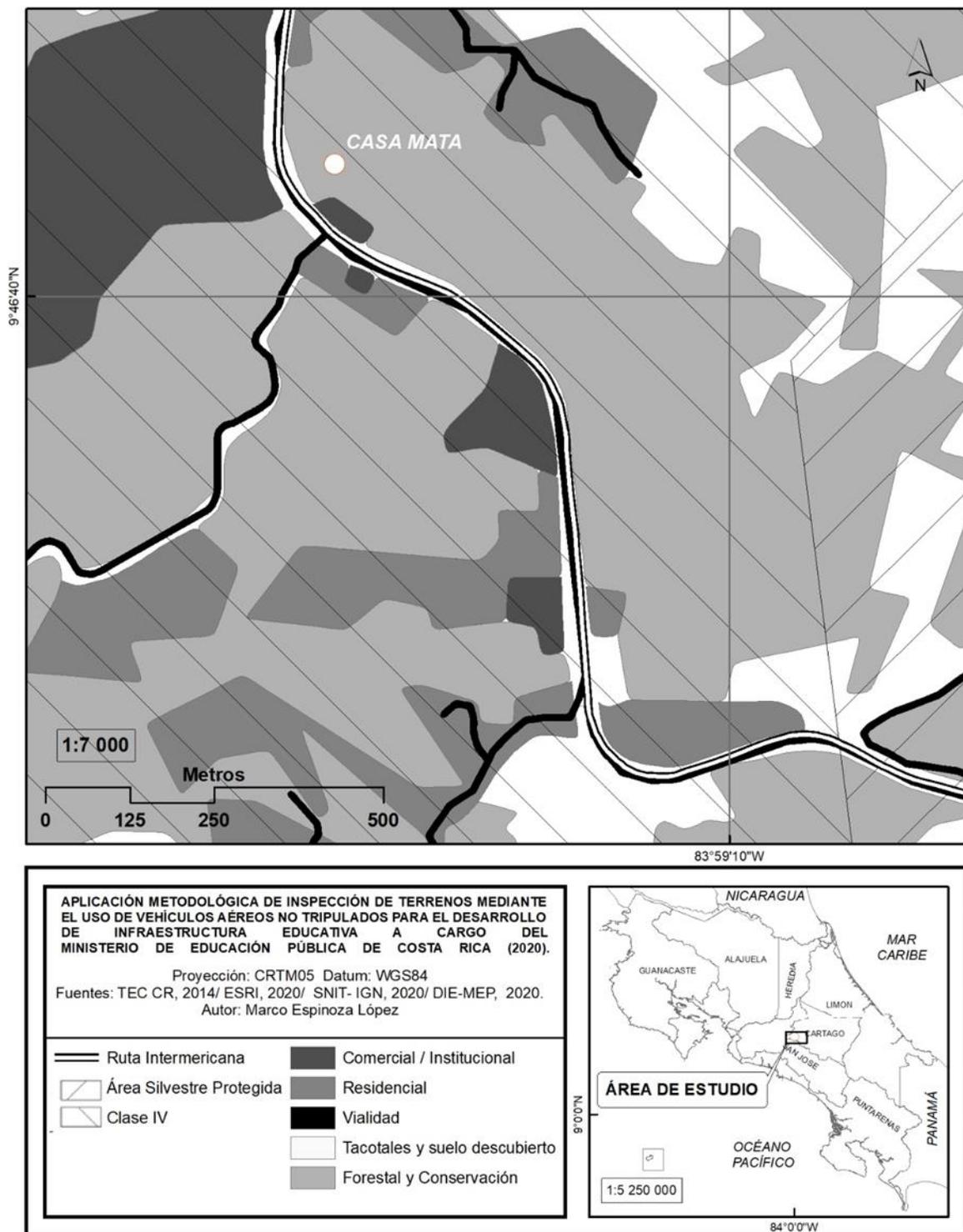
Por su parte, en el territorio nacional, la capacidad de uso de la tierra clasifica las tierras en grupos que reflejen el uso más intensivo y sostenible al que se puede someterse un territorio (Decreto N°23214-MAG-MIRENEM, 1994).

En Casamata y en los alrededores, la presencia de altas pendientes en la topografía es una variable importante que ciertamente limita las actividades socio productivas de la zona, de ahí que los usos dominantes sean mayoritariamente las áreas de reserva forestal y zonas de uso agropecuario.

La aplicación de la Metodología de Capacidad de Uso en la zona arroja una capacidad de aprovechamiento limitada para la mayoría de las tierras disponibles, con presencia de las categorías de clase IV en Casamata y de las clases VI y VII en las inmediaciones de la comunidad (MAG, 1997) (Figura 11).

Dada la dominancia de las altas pendientes en el paisaje natural, la capacidad de uso de las tierras tiende al uso de las actividades agropecuarias con limitaciones fuertes, en cultivos permanentes o para manejo del bosque (MAG, 1997).

Aun así, algunos usos técnicamente “inconformes” con la capacidad de las tierras establecida poco a poco se han ido posicionando, como el uso residencial y el comercial, por ejemplo (Figura 11).



### **2.3.2 Bienes y servicios**

Los bienes y servicios disponibles en el área son escasos y en general parecen muy relacionados al *Buffer* o la zona de influencia de la Ruta Nacional 2. Los servicios institucionales se representan con la Escuela Casamata y El Parque Eólico Los Santos. Otros servicios esenciales, como la asistencia médica, por ejemplo, aquí no están disponibles, por lo que la población debe desplazarse hasta el sector de Tobosi o Tejar del Guarco en Cartago, donde se ubican los EBAIS más cercanos. En relación a la asistencia hospitalaria, los centros de salud más próximos se ubican en la ciudad de Cartago y en el cantón de Pérez Zeledón en San José.

### **2.3.3 Servicios y matrícula de la Escuela Casamata**

La Escuela Casamata se fundó en el año 1973 y es el único centro educativo que existe en la comunidad. Pertenece al Circuito Escolar 03 de la Dirección Regional de Educación de Cartago y registra el Código Presupuestario 1750.

Según un reciente censo de matrícula, la admisión estudiantil no muestra fluctuaciones significativas en el tiempo (Tabla 1). En los últimos años se registraron 38 niños para el año 2018, 53 niños en el año 2019 y 52 estudiantes en el año 2020 (Escuela Casamata, 2020).

La escuela pública funciona con una jornada diurna y un horario regular, cuenta con una oferta de servicios educativos que incluye la enseñanza del idioma inglés, informática, educación musical, educación física y religión, además del servicio de preescolar (Escuela Casamata, 2020).

**Tabla 1.** Censo escolar de los años 2018, 2019 y 2020 en la Escuela Casamata.

Matrícula de la Escuela Casamata (1750)			
Nivel	2018	2019	2020
1°	5	5	7
2°	6	7	6
3°	7	6	5
4°	4	8	5
5°	4	5	6
6°	4	5	4
I Y II Ciclos	30	36	33
Preescolar	8	17	19
<b>Total de estudiantes</b>	<b>38</b>	<b>53</b>	<b>52</b>

**Fuente:** Escuela Casamata, 2020.

## 2.4 El componente educativo

### 2.4.1 El Ministerio de Educación Pública

El Ministerio de Educación Pública tiene su fundamento en la Ley Orgánica del ramo y es el órgano del Poder Ejecutivo encargado de la administración de todos los elementos que lo integran para sus funciones y demás acciones, establecidas en el Título Séptimo de la Constitución Política, así como en la Ley Fundamental de Educación, en leyes conexas y reglamentos. (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1965).

Para su debida estructuración se emitió el Decreto de Organización Administrativa de las Oficinas Centrales, en el cual se establece el marco regulador, coherente y articulado para su organización interna (Decreto N°38170-MEP, 2014).

### **2.4.1.1 Dirección de Infraestructura Educativa (DIE)**

La Dirección de Infraestructura Educativa es el órgano especializado del MEP en materia de infraestructura educativa, establecida para atender la demanda de instalaciones y equipamiento de los centros educativos públicos en todo el país.

Se crea en noviembre del año 2007 por Decreto N°34075-MEP y bajo el nombre de Dirección de Infraestructura y Equipamiento educativo (DIEE). Se organiza y reorganiza mediante los Decretos N°36451-MEP del año 2011 y N°38170-MEP del año 2014, respectivamente. Actualmente, la Reforma de la Organización administrativa de las oficinas centrales del Ministerio de Educación Pública, contenida en el Decreto N°42488-MEP del año 2020, cambia el nombre a Dirección de Infraestructura Educativa (DIE) bajo una nueva estructura organizacional.

El Artículo 135 del Decreto N°42488-MEP le define como “el órgano técnico encargado de ejecutar todo lo relacionado con la infraestructura física educativa. Está llamada a planificar, dirigir y desarrollar proyectos constructivos, dar seguimiento y evaluar en forma permanente los planes, programas y proyectos de mejoramiento (mantenimiento preventivo y correctivo) tendientes a preservar y mantener en buenas condiciones los edificios y espacios educativos. Tiene a su cargo la ampliación y construcción de la infraestructura física educativa, el equipamiento y la dotación del mobiliario educativo.

La Política de Infraestructura Educativa (2012), define lo que se entiende por el término infraestructura educativa:

“...son los muebles e inmuebles destinados a la educación impartida por el Estado y la iniciativa privada, que constituyen el espacio físico de implementación de los planes y programas oficiales de estudios... también se contemplan en este concepto los servicios e instalaciones necesarias para su correcta operación... además de los terrenos donde se alojan las instalaciones, los espacios físicos como aulas, pasillos, oficinas, bibliotecas o centros de recursos para el aprendizaje, baterías sanitarias, canchas, gimnasios, piscinas, auditorios, salones, laboratorios, áreas verdes, y otras, es decir todo aquello que se pueda contemplar dentro de un centro educativo. Así como las instalaciones que albergan el nivel central del Ministerio de Educación Pública, las Direcciones Regionales y los Circuitos Educativos (supervisiones)” (CSE, 2012, p.3).

#### **2.4.1.1.1 Funciones de la Dirección de Infraestructura Educativa**

El Artículo 140 del Decreto N°42488-MEP establece las funciones de la DIE, de la siguiente manera:

- a) Planificar y actualizar la estrategia de atención de las necesidades de infraestructura y mobiliario de los centros educativos públicos de conformidad con los lineamientos dictados por las autoridades superiores.
- b) Establecer los lineamientos para orientar el proceso de mantenimiento, remodelación y construcción de infraestructura educativa pública, así como la dotación de mobiliario.
- c) Ejecutar los planes de atención de necesidades, programas y proyectos de infraestructura educativa pública y mobiliario escolar.
- d) Gestionar y asignar presupuesto a los centros educativos públicos para construir y remodelar su infraestructura, de acuerdo con la planificación estratégica y con la disponibilidad presupuestaria.
- e) Asesorar a las Juntas de Educación y Administrativas para la adquisición y alquiler de bienes inmuebles para uso de centros educativos públicos, de acuerdo con la planificación estratégica y con la disponibilidad presupuestaria.
- f) Brindar asesoría técnica en materia de infraestructura educativa pública y su mobiliario, independientemente de la fuente de financiamiento, de conformidad con el ordenamiento jurídico.
- g) Implementar las disposiciones generales de control interno necesarias para garantizar el uso más eficiente y eficaz de los recursos públicos asignados a esta Dirección.
- h) Coordinar con los entes correspondientes de la Dirección de Planificación Institucional del Despacho del Viceministerio de Planificación Institucional y Coordinación Regional, la gestión de los insumos necesarios para la atención de las necesidades de infraestructura y mobiliario de los centros educativos públicos.
- i) Coordinar con la Proveduría Institucional la gestión de contratación para la atención de las necesidades de infraestructura y mobiliario de los centros educativos públicos.
- j) Gestionar y mantener actualizado un sistema de información de la infraestructura educativa y mobiliario escolar.
- k) Realizar las funciones inherentes a la Jefatura del programa presupuestario 554.
- l) Otras funciones inherentes relacionadas con las competencias y atribuciones propias de la naturaleza de la Dirección y del jefe de programa presupuestario, asignadas por el superior jerárquico (Decreto N°42488-MEP, 2020).

#### **2.4.1.2 Coordinación Bienes Inmuebles (CBI)**

La Coordinación de Bienes Inmuebles es la instancia técnica a cargo de la adquisición, gestión y alquiler de bienes inmuebles para uso de centros educativos públicos en el país. Esta oficina integra una de las coordinaciones en el Departamento de Procesos y Soporte (DS).

La función de adquisición de bienes inmuebles para el desarrollo de infraestructura educativa pública involucra la inspección, el estudio y la evaluación de la utilidad de terrenos a lo largo y ancho del territorio nacional.

### **2.5 Aspectos Técnicos**

#### **2.5.1. Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT)**

Conocidos popularmente como *Drones*, en el idioma inglés se utilizan también los sustantivos RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) para referirse a estos dispositivos.

Los Vehículos Aéreos No Tripulados son aparatos de alta tecnología que están revolucionando la forma de realizar muchas tareas y funciones. Las características de diseño y equipamiento en estos aparatos les permiten efectuar una amplia gama de funciones, reduciendo las inversiones en costos, recursos y tiempo para los usuarios y las organizaciones.

La facilidad para inspeccionar áreas de difícil acceso es una de las grandes bondades que acompaña esta tecnología (LANAMME UCR, 2017). En la última década la utilización de los VANT en aplicaciones técnicas, como en el caso de observación de objetivos, ha experimentado un auge importante. Esta tecnología continúa en desarrollo y tiene aún mucho que ofrecer a los usuarios "...su potencial empleo para la fotografía aérea cobra una mayor importancia al reducirse su costo de operaciones" (Acosta, MacClung, Jiménez y García, 2017).

### 2.5.1.1. Clasificación de los VANT

Costa Rica cuenta con una clasificación nacional de dispositivos VANT para un peso menor a los 150 kilogramos, según la Directiva Operacional DO-001-OPS-RPAS (2020) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Clasificación de VANT según DO-001-OPS-RPAS

<b>Clasificación</b>	<b>Peso</b>
Micro RPAS	≤ 100 Gramos
Pequeños RPAS	≤ 2 Kg Kilogramos
Livianos RPAS	≤ 25 Kilogramos
Grandes RPAS	≤ 150 Kilogramos

**Fuente:** DGAC, 2020.

Otra clasificación de referencia se obtiene a partir de las características de sustentación en las aeronaves, determinadas por la disposición de las hélices (Figura 12). Esta clasificación se establece de la siguiente manera:

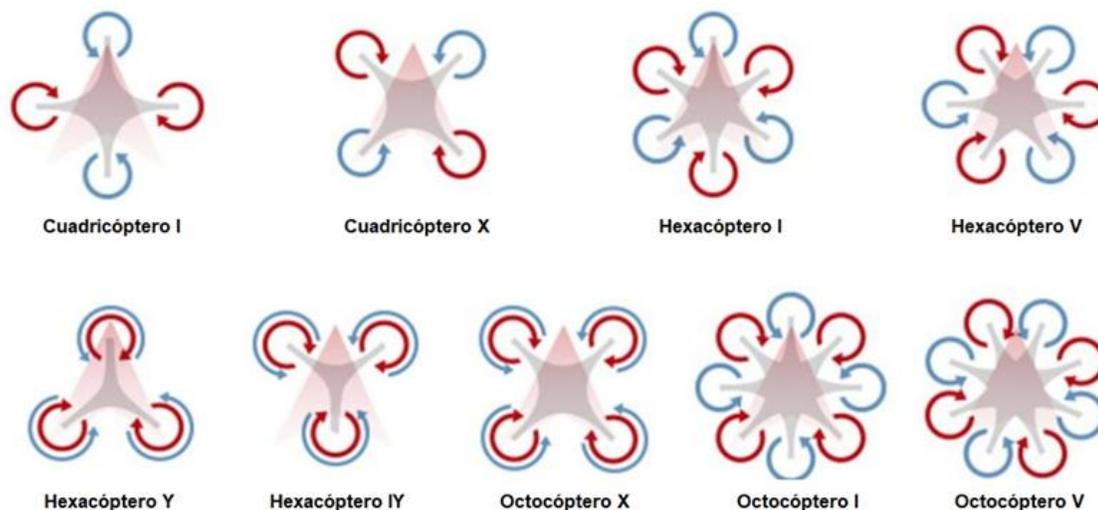
#### 2.5.1.1.1 Ala Fija:

Son los dispositivos con mayor autonomía de vuelo al aprovechar el diseño aerodinámico para mantener la capacidad de sustentación por más tiempo durante el vuelo. Esta funcionalidad maximiza el ahorro de energía y proporciona mayor estabilidad a la aeronave. Debido a su diseño aerodinámico, una de sus principales limitantes es la sustentación estacionaria.

#### 2.5.1.1.2 Ala rotatoria:

Son los modelos de mayor comercialización y se caracterizan por disponer de varias hélices rotatorias que se combinan y alternan para dar funcionalidad al dispositivo. Según la cantidad de motores a bordo se clasifican en cuadricópteros (4 motores), hexacópteros (6 motores) y octocópteros (8 motores) (Figura 12).

Las combinaciones de las hélices también pueden ser de tipo coaxial, es decir sobre la misma montadura puede funcionar más de una hélice, proporcionando una disminución del peso, pero afectando la funcionalidad y autonomía de la aeronave.



**Figura 12.** Clasificación de los VANT por disposición de las hélices rotatorias.

**Fuente:** AERPAS, 2020.

### 2.5.1.1.3 Mixtos o híbridos:

Se trata de dispositivos que combinan los dos métodos de sustentación, reuniendo las ventajas de ambos modelos. Junto con los dispositivos de ala fija constituyen los aparatos de menor producción comercial.

### 2.5.1.2 Aplicaciones de los VANT

En Costa Rica, el uso de los VANT ha sido exitoso en inspecciones de diversa índole, implementado tanto en instituciones del Estado como en organizaciones del sector privado. Un ejemplo práctico en el caso de las inspecciones técnicas es el monitoreo de las fallas geológicas y los trabajos de estabilización de taludes en la Ruta Nacional 27, a cargo del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME UCR, 2017).

Otras aplicaciones que permiten los VANT gracias a su versatilidad son las siguientes:

- Monitoreo para la gestión de los recursos naturales
- Monitoreo y asistencia en casos de emergencias o eventos naturales.
- Monitoreo y fumigación en plantaciones agrícolas y forestales.
- Monitoreo y medición en topografía y catastro.

## 2.5.2 Fotogrametría Aérea Digital

Se define como la disciplina científica cuyo objeto de estudio es establecer la configuración, dimensiones y posición de un objeto cualquiera en el espacio, utilizando las medidas realizadas sobre una o varias fotografías. (Acosta et al., 2017). Estas fotografías pueden ser tomadas desde la tierra o desde el aire, dando lugar a las ramas de la fotogrametría terrestre y la fotogrametría aérea, respectivamente (Santamaría & Sáenz, 2011).

Con la invención de la cámara fotográfica y la producción de las primeras imágenes sin color inició entonces la fotogrametría análoga. Más adelante, el auge de los sistemas computarizados en la década de los 60's impulsaría a la fotogrametría analítica, ampliando la gama y complejidad de los procesamientos y mejorando sustancialmente la utilidad de los productos. A mediados de la década de los 70's e inicios de los 80's, con la introducción de las cámaras digitales, se evoluciona hacia la fotogrametría digital, aprovechando el desarrollo informático para ese momento (Santos, 2014).

La Fotogrametría Aérea Digital, tal y como la conocemos hoy, ha experimentado muchos cambios en cuanto a técnicas y métodos utilizados en la historia de la disciplina. Hasta hace algunos años, la captura de imágenes aéreas se realizaba exclusivamente desde plataformas autónomas como satélites y aviones, sin embargo, en la actualidad es posible valerse de los VANT para realizar vuelos fotogramétricos a una escala espacial menor, simplificando y reduciendo significativamente los costos operativos para capturar la información, en comparación con los métodos convencionales.

La fotogrametría es una disciplina en constante crecimiento, muy importante en el campo de análisis espacial y en el estudio del territorio. Algunos productos fotogramétricos, como el alineamiento automático del set de imágenes digitales, la generación de la nube dispersa y la nube densa de puntos, la producción del Modelo de Elevación Digital (MED) y del Ortomosaico digital, son interoperables con los Sistemas de Información Geográfica, proporcionando un valioso insumo para otras ciencias como la Geografía (Agisoft LLC, 2016).

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

### **3.1 Alcance del proyecto**

La investigación se plantea los siguientes alcances:

- a) El reconocimiento de las condiciones post evento de la emergencia, mediante un sobrevuelo libre para evaluar condiciones actuales en la zona afectada.
- b) Levantamiento de imágenes aéreas, por medio de un sobrevuelo fotogramétrico para el procesamiento de los productos informativos.

### **3.2 Tipo de investigación**

Esta investigación es fundamentalmente analítica respecto a las principales características de las variables en observación.

### **3.3 Participantes**

Participan autoridades de la escuela y la comunidad Casamata, técnicos de la Comisión Nacional de Emergencias, del Ministerio de Educación Pública y propietarios de terrenos en la zona.

### **3.4 Instrumentos y Datos**

#### **3.4.1 El Vehículo Aéreo No Tripulado**

Los sobrevuelos se realizaron con un dispositivo VANT pequeño tipo cuadricóptero, modelo Phantom 4 Standard, desarrollado por el fabricante chino DJI, con las características técnicas de una aeronave liviana (Figura 13).

El equipo es compacto y liviano, operado a distancia por medio del control remoto (Figura 14).

Según la Directiva Operacional DO-001-OPS-RPAS (DGAC, 2020), el equipo del VANT se compone de cuatro elementos fundamentales:

- 1- **Aeronave**
- 2- **Control remoto**
- 3- **Enlace (*Datalink*)**
- 4- **Piloto**

### **3.4.2 Software**

Se utilizaron varios *softwares* especializados para el manejo de datos SIG e imágenes digitales, algunos de tipo *Open Source* y otros con licencia institucional proporcionada por la Maestría en SIG y Teledetección UCR-UNA.

El ambiente SIG para el análisis espacial y el cálculo de pendientes se desarrolló con los programas QGIS Desktop 2.18 y ESRI ArcMap10.5.

La programación y el control de los sobrevuelos se realizó con la aplicación móvil Pix4D, desde donde se manejan los parámetros de las misiones de vuelo, la precisión del posicionamiento satelital, el tipo de levantamiento, la altitud máxima del VANT, las dimensiones del área a sobrevolar, así como la configuración del barrido, etc.

El tratamiento fotogramétrico y modelado 3D se realizó con el *software* Agisoft PhotoScan 1.45, proporcionado por el Laboratorio de la Maestría MPSIGTE UCR-UNA.

Phantom 4	
<b>Aeronave</b>	<b>Cámara</b>
Peso total del equipo	1380 g
Tamaño diagonal	350 mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m/s
Velocidad máxima de descenso	Modo S: 4 m/s
Velocidad máxima	Modo S: 20 m/s
Velocidad angular máxima	Modo S: 200°/s
	Modo A: 150°/s
Alcance máximo sobre el nivel del mar	19685 pies (6.000 m)
Resistencia máxima a la velocidad del viento	10 m/s
Tiempo máximo de vuelo	Aprox. 28 minutos
Rango operativo de temperatura	32° a 104° F (0° a 40° C)
Sistemas de posicionamiento satelital	GPS/GLONASS
Rango de precisión de la suspensión	Vertical:
	+/- 0.1 m (Posicionamiento visual)
	+/- 0.5 m (Posicionamiento GPS)
	Horizontal:
	+/- 0.3 m (Posicionamiento visual)
	+/- 1.5 m (Posicionamiento GPS)
	<b>Sensor</b>
	1/2.3" CMOS
	Píxeles efectivos: 12.4 M
	<b>Lente</b>
	FOV94°20 mm(35 mm formato equivalente) f/2.8 foco al ∞
	<b>Rango ISO</b>
	100-3200 (video)
	100-1600 (foto)
	<b>Velocidad del disparador</b>
	8 - 1/8000 s
	<b>Tamaño de la imagen</b>
	4000x3000
	<b>Modos de fotogrametría</b>
	Single shot
	Burst shooting: 3/5/7 frames
	Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 bracketed frames at 0.7
	EV Blas
	Timelapse
	HDR
	<b>Modos de grabación de video</b>
	UHD:4096x2160(4K) 24/25p
	3840x2160(4K) 24/25/30p
	2704x1520(2.7K)24/25/30p
	FHD:1920x1080 24/25/30/48/50/60/120p
	HD:1280x720 24/25/30/48/50/60p
	<b>Máximo Bitrate para video</b>
	60 Mbps
	<b>Sistemas de archivos admitidos</b>
	FAT32(≤32GB); exFAT(>32GB)
	<b>Formatos de foto</b>
	JPEG, DNG (RAW)
	<b>Formatos de video</b>
	MP4, MOV (MPEG-4-AVC/H.264)
	<b>Tarjetas SD admitidas</b>
	Micro SD
	Capacidad máxima: 64 GB
	Class 10 or UHS-1 rating required

**Figura 13.** Parámetros técnicos de la cámara y la aeronave Phantom 4 Standard. **Fuente:** DJI, 2020.



**Figura 14.** El modelo VANT Phantom 4 Standard utilizado en el sector de Casamata. **Fuente:** AERPAS, 2020.

### 3.4.3 Datos del Modelo de Elevación Digital de ALOS PALSAR

El Modelo de Elevación Digital derivado del Satélite ALOS y el sensor PALSAR conforma la base digital para el estudio de pendientes en el terreno deslizado (Anexo 1). El modelo digital ALOS PALSAR se encuentra georreferenciado y representa el modelado del relieve para esta área de estudio (Figura 15).

El Satélite Avanzado de Observación Terrestre ALOS, también llamado DAICHI, está equipado con el radar de apertura sintética PALSAR, con una resolución espacial de hasta 12,5 metros por píxel para la zona, permite leer claramente la variación en el relieve del terreno (Figura 15).

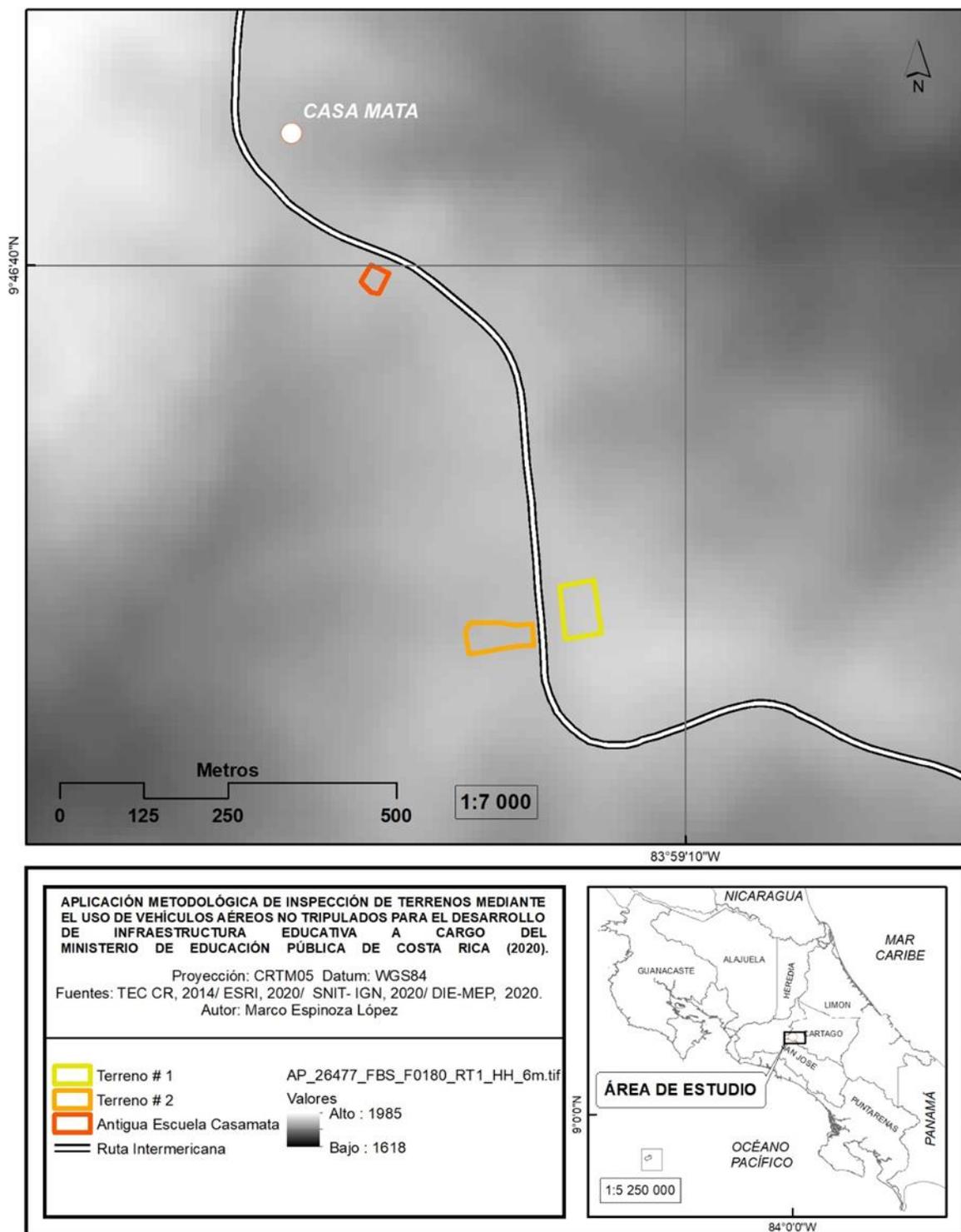
Los datos de ALOS PALSAR son propiedad de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), son de acceso gratuito desde el sitio web de la agencia Alaska Satellite Facility (ASF), disponibles en varios modos de polarización, resolución, profundidad y ángulos de captura (ASF, 2020).

Fue desarrollado para estudiar los cambios de elevación en el territorio, las coberturas y variantes del uso del suelo, etc. De esta manera contribuye a los campos de la cartografía, el reconocimiento del terreno, el monitoreo de desastres y la prospección de recursos naturales (JAXA, 2020).

El equipamiento general del ALOS PALSAR en las misiones de observación planetaria incluyó el uso de tres diferentes sensores para la captura de la información:

“(1) el Instrumento Pancromático de Detección Remota para Mapeo Estéreo (PRISM), que se compone de tres conjuntos de sistemas ópticos para medir la elevación precisa del terreno, (2) el Radiómetro Avanzado Visible e Infrarrojo Cercano tipo 2 (AVNIR-2), que observa lo que cubre la superficie terrestre, y (3) el radar de apertura sintética de banda L tipo *Phased Array* (PALSAR), que permite la observación de la tierra de día y de noche y en cualquier clima” (JAXA, 2020).

La ventaja de disponer de los datos ALOS PALSAR es contar con un archivo ráster de elevación digital de una resolución espacial, muy aceptable para el tratamiento y análisis SIG en cualquier parte del planeta, como requiere la presente metodología.



**Figura 15.** Mapa de Ubicación de Terrenos sobre el Modelo de Elevación Digital ALOS PALSAR. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

### **3.4.4 Boleta de inspección de campo**

La boleta de inspección de campo es un formulario físico de recolección de datos donde se registró la mayoría de la información complementaria de los terrenos en estudio. La boleta identifica principalmente aspectos cualitativos en el campo, para apoyar el reconocimiento visual del terreno.

El formulario distingue en color gris el dato del terreno recogido por el equipo inspector y en color negro si la información se obtuvo a partir del sobrevuelo con VANT.

## **3.5 Área de estudio**

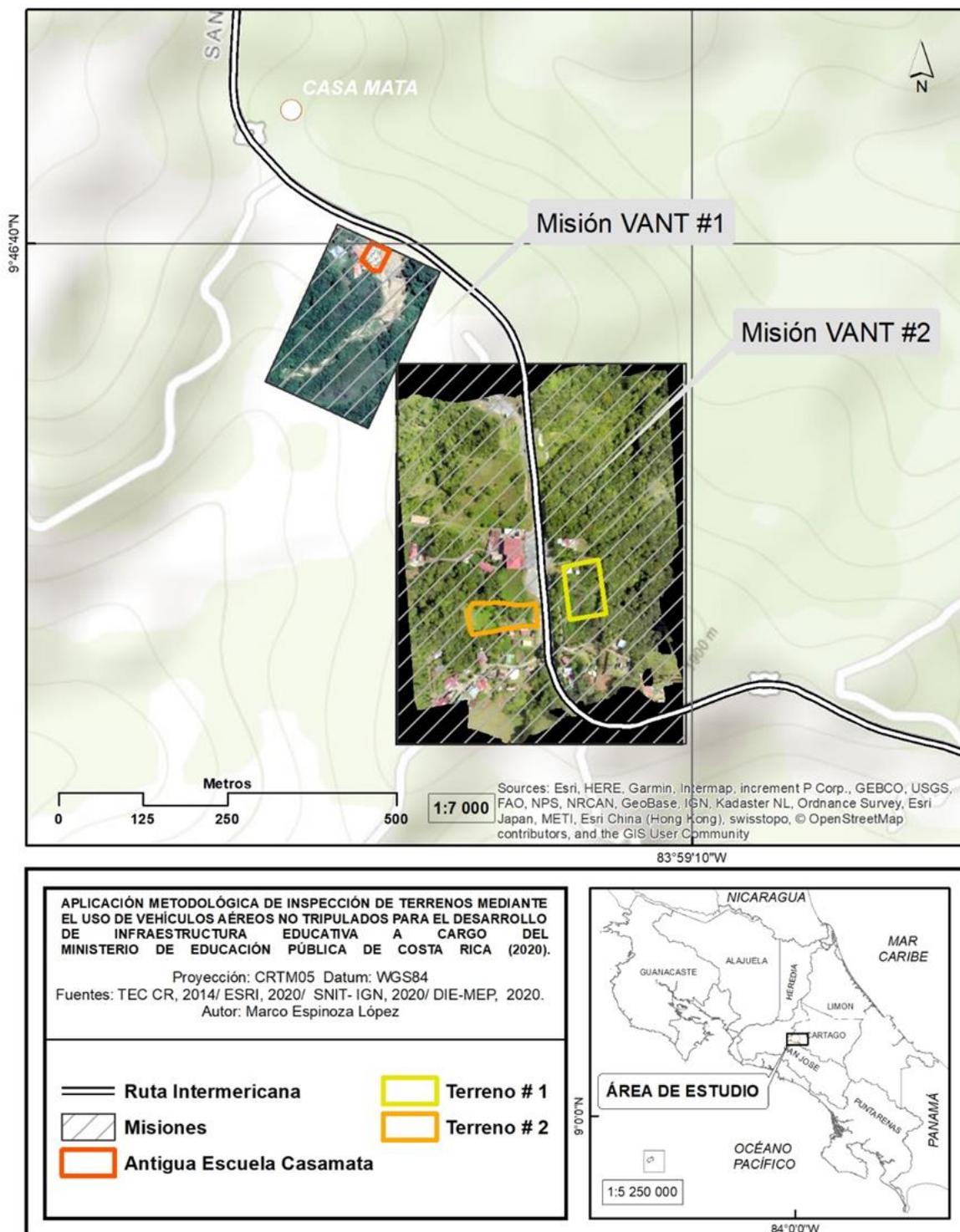
El área de estudio incluyó el despliegue de las misiones VANT 1 y 2, llevadas a cabo la mañana del 08 de setiembre del 2019 a las 08:30 am (Figura 16).

### **3.5.1 Misión 1**

Consistió en un vuelo libre de reconocimiento visual del terreno escolar afectado por el deslizamiento, con el propósito de observar variables como la estabilidad del área, signos de debilidad en los taludes, marcas en el terreno o remanentes de materiales, para reconocer las condiciones post evento que imperan en la zona.

### **3.5.2 Misión 2**

Incluyó un vuelo fotogramétrico del área donde se ubican los dos terrenos propuestos para el traslado del centro educativo. Esta segunda misión incluye un área más amplia para el barrido de los terrenos uno y dos, como se observa en el Mapa de Ubicación de Terrenos en el sector (Figura 16).



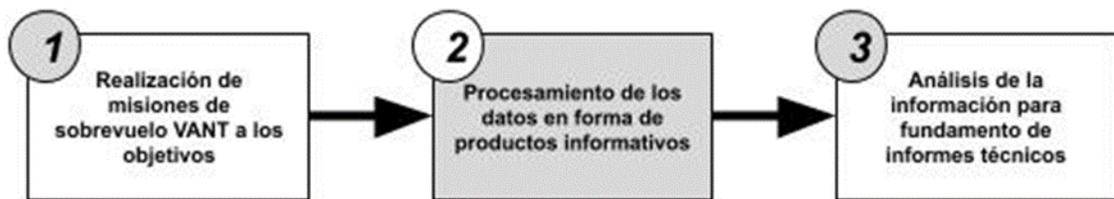
**Figura 16.** Mapa de Ubicación de Terrenos con las áreas de los sobrevuelos en el sector.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

### 3.6 Flujo de trabajo

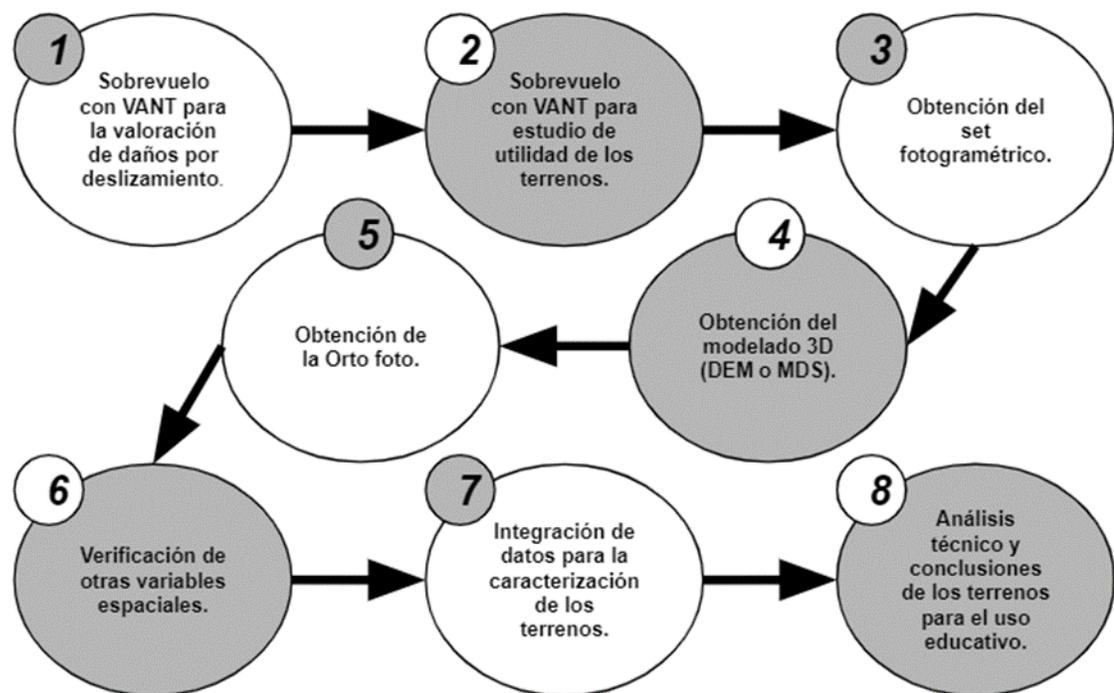
La metodología de inspección de terrenos integra tres procesos principales los cuales se desarrollan pasando ordenadamente por una serie de etapas. Cada proceso está ligado con el siguiente paso dentro del flujo general de trabajo (Figura 17).

En el proceso inicial se realizan las misiones de sobrevuelos VANT a los objetivos propuestos, obteniendo así los datos base de los terrenos de interés. Luego, se lleva a cabo el procesamiento de los datos base en el *software* fotogramétrico y SIG, para derivar resultados en forma de productos informativos. El procedimiento final involucra el análisis de la información espacial para el fundamento de informes técnicos acerca de los terrenos inspeccionados.

El flujo de trabajo general comprende una secuencia de ocho etapas. Las etapas uno y dos conforman el proceso inicial de sobrevuelos con VANT. Desde la tercera y hasta la sexta etapa, en el proceso intermedio se desarrollan los productos informativos. Y finalmente, en las etapas siete y ocho se realiza la integración y el análisis de la información para los informes técnicos de los inmuebles (Figura 18).



**Figura 17.** Esquema de procesos generales que integran la metodología. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura 18.** Esquema de ocho etapas que integran la metodología. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

**Etapa 1:** “Sobrevuelo con VANT para la valoración de daños por deslizamiento”, mediante la visualización de la zona donde se presentó la afectación por el evento.

**Etapa 2:** “Sobrevuelo con VANT para estudio de utilidad de los terrenos”, en dos propiedades de interés para el traslado del centro escolar.

**Etapa 3:** “Obtención del set fotogramétrico”, conforma la base digital de imágenes para la generación de los productos informativos.

**Etapa 4:** “Obtención del modelado 3D (DEM o MDS)”, para representar la topografía, pendientes, usos del suelo, etc.

**Etapa 5:** “Obtención del Ortomosaico”, visualización del set fotogramétrico corregido con la posición GNSS o GPS del modelo espacial.

**Etapa 6:** “Verificación de otras variables espaciales”, se verifican variables de acceso, áreas, retiros, etc.

**Etapa 7:** “Integración de datos para la caracterización de los terrenos”, reúne la información disponible para analizar y caracterizar las propiedades inspeccionadas.

**Etapa 8:** “Análisis técnico y conclusiones de los terrenos para el uso educativo.”, comprende un análisis técnico de afectación sobre el terreno deslizado y un análisis técnico de utilidad de los terrenos propuestos para el uso educativo.

### **3.6.1 Recolección de los datos de campo**

Los datos en campo fueron levantados mediante las misiones VANT 1 y 2 las cuales se ejecutaron completamente en menos de 30 minutos, utilizando menos de una carga de batería del VANT. También se recogieron notas y apuntes en las Boletas de inspección de campo.

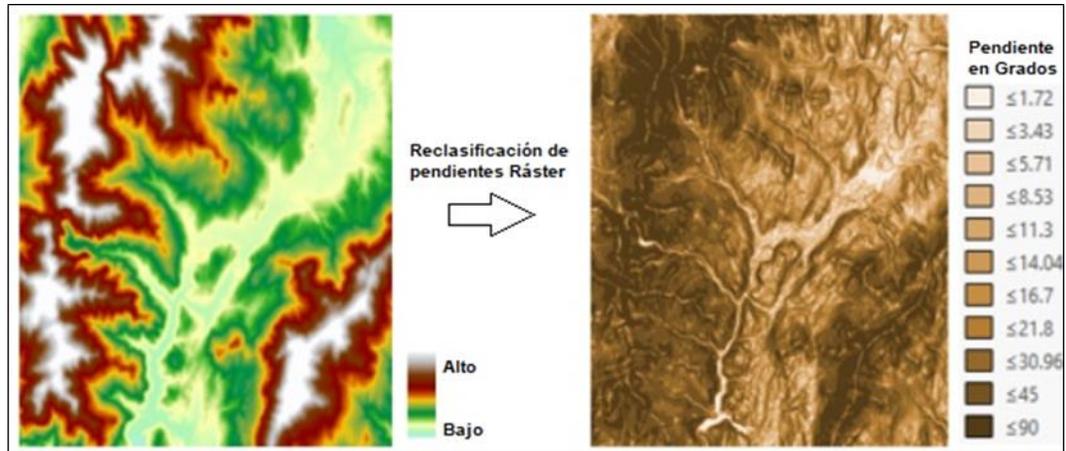
### **3.6.2 Inspección de las condiciones del terreno deslizado**

La Misión VANT 1 observó varios aspectos relacionados con el estado general del deslizamiento, y cómo se comporta el área con el paso del tiempo.

Mediante el uso de SIG se realizó un mapeo de las pendientes para conocer y estudiar la variabilidad del relieve en las cercanías de la zona de estudio. En el mapa de pendientes o *Slope* se muestra la diferencia de altitud y orientación de los flancos en los terrenos.

Normalmente, el mapa ráster de pendientes se despliega usando una clasificación automatizada en grados o porcentaje de la pendiente, según sea el caso. Esta

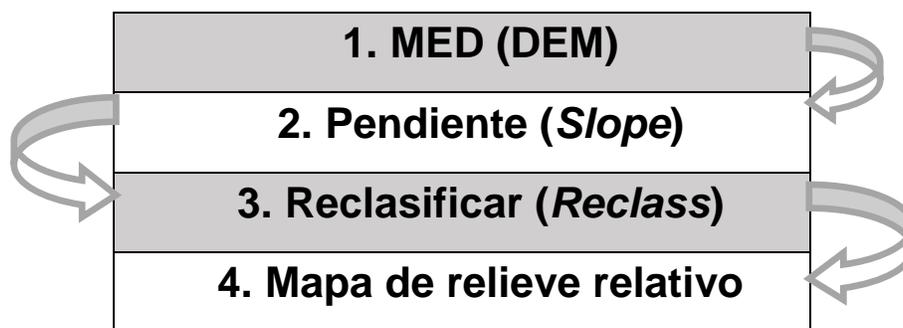
simbología se puede reclasificar en distintas categorías, según la necesidad y preferencia del usuario (Figura 19).



**Figura 19.** Ejemplo del proceso de reclasificación de un DEM, en este caso en grados.

**Fuente:** ESRI, 2020.

Obtener el mapa de pendientes a partir de una base de elevación digital DEM generalmente involucra cuatro fases (ESRI, 2020) (Figura 20):



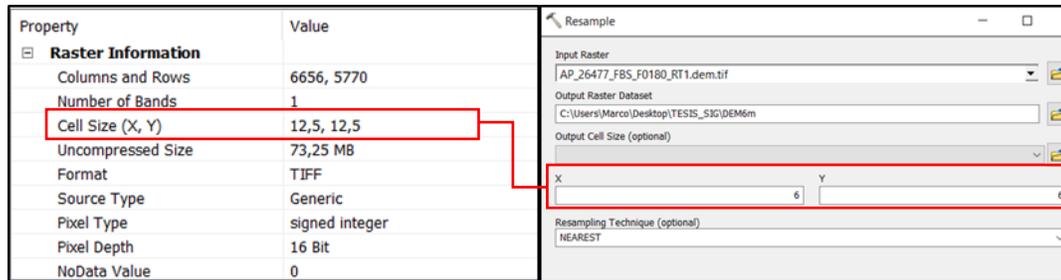
**Figura 20.** Proceso de construcción del mapa de relieve relativo. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

En resumen, el DEM es la base algorítmica con la que se deriva la pendiente en el terreno inspeccionado. La pendiente se reclasifica luego en rangos según la escala de preferencia, obteniéndose finalmente el mapa de relieve relativo.

Se aplicó un procedimiento de reescalado al DEM para disminuir el tamaño del pixel y mejorar la resolución espacial del modelo. Utilizando la herramienta *Resample* del

*Arctoolbox* en ArcMap 10.5 la resolución inicial de píxel pasó de 12,5 metros a 6 metros, mejorando en un 50% aproximadamente la resolución espacial del proyecto (Figura 21).

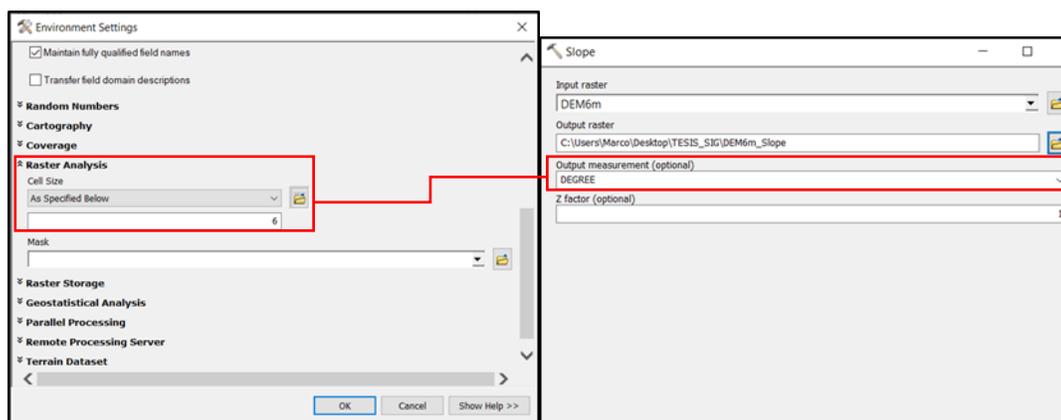
El archivo base se denomina AP\_26477\_FBS\_F0180\_RT1.dem.tif sobre el cual se realiza el reescalado del ráster:



**Figura 21.** Parámetros de reescalado para el DEM. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

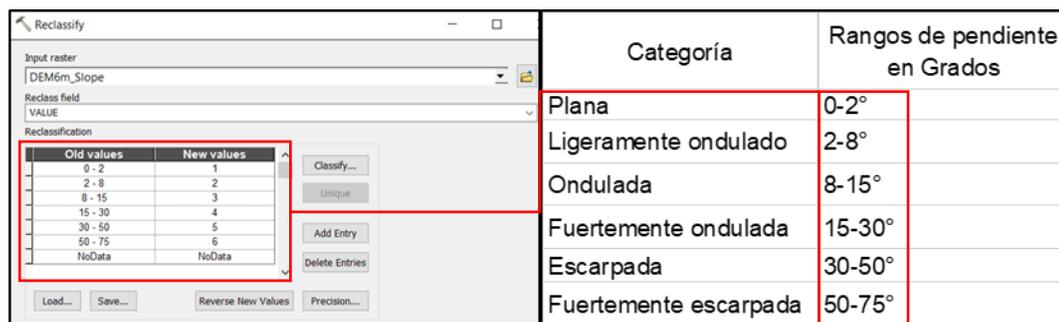
Con la herramienta *Slope* del *Arctoolbox* en ArcMap 10.5, el sistema promedia el cambio de elevación en un vecindario de 3x3 píxeles para establecer los rangos y límites en los que se clasificará la pendiente (ESRI, 2020).

La medida obtenida en este cálculo de pendientes son los grados, sin embargo, también puede obtenerse en valores de porcentajes, según prefiera el usuario (Figura 22).



**Figura 22.** Parámetros del *Slope* para el mapa de pendientes **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

El modelo generó una clasificación automática, que puede ajustarse a la categorización deseada. Utilizando la herramienta *Reclasify* se reclasificó luego la pendiente en seis categorías, procurando una escala de valores similar a la del Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras de Costa Rica (MAG, 1994) (Figura 23).



**Figura 23.** Reclasificación del relieve relativo en seis nuevas categorías **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

### 3.6.3 Reconocimiento de la infraestructura del centro educativo

El cierre del centro educativo y la clausura del lugar han ocasionado un cambio notable en el terreno escolar desde el momento de la emergencia, en el 2017 (Figura 24).

A raíz del evento, una parte de la infraestructura escolar resultó destruida y otra seriamente dañada, mientras que los daños ocasionados al terreno hacen del lugar un sitio inseguro para el acceso de personas (Figura 25).

El análisis de la afectación a la infraestructura del centro educativo consideró tres fuentes de información: la Ficha de Evaluación Post Desastre de la Seguridad de Edificaciones, elaborada por el personal de la DIE, donde se estableció el estado de la planta educativa horas después del evento. Una segunda fuente de datos fue el registro fotográfico obtenido del sitio el día 17 de noviembre del 2017, unos días después de la emergencia. Y la tercera fuente corresponde a las imágenes obtenidas por el vuelo con VANT en la Misión 1, donde dos años después se observan las condiciones del terreno afectado.

La Misión 1 de vuelo libre con VANT resultó todo un éxito. El área se inspeccionó sin inconvenientes haciendo un recorrido sobre el sector de la corona del deslizamiento y parte del área donde se acumula el material movilizado. Durante la misión de vuelo

libre, el equipo inspector se mantuvo pilotando todo el tiempo a una distancia segura del lugar (Figura 26).

A pesar de que, al observar las imágenes de la Misión 1 se tiene la impresión de que con el paso del tiempo el sitio ha logrado estabilizarse, esto no es del todo correcto, fundamentalmente porque en el lugar no se han realizado los trabajos que busquen cumplir con ese objetivo. Todo lo contrario, nuevamente se han arrojado materiales de relleno en las ondulaciones del lote sin un proceso adecuado de compactación, convirtiéndose en materiales inestables que pueden igualmente desprenderse en presencia de condiciones climáticas atípicas.

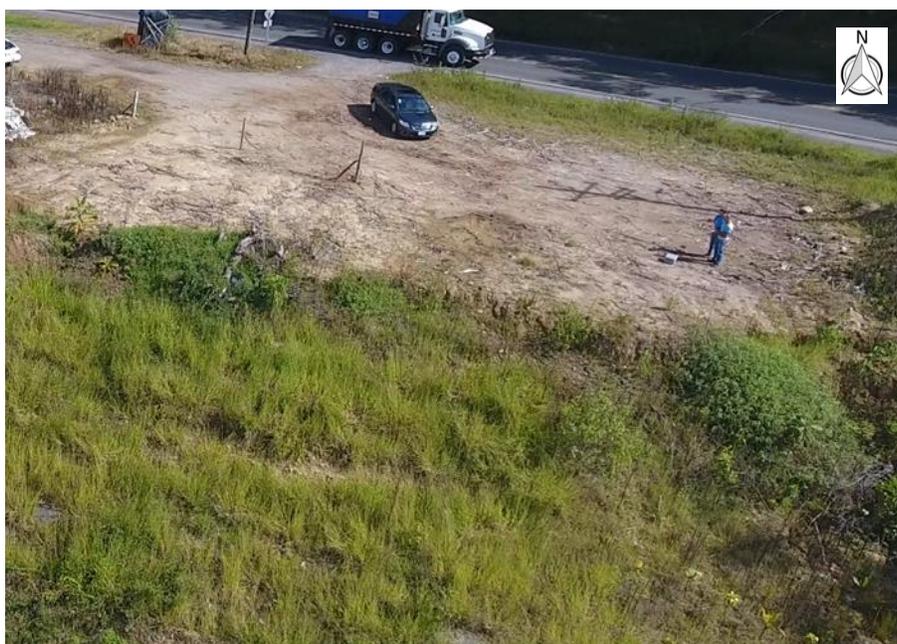


**Figura 24.** El lugar ha cambiado sustancialmente desde el año 2017.

**Fuente:** Fotografía propia, 2019.



**Figura 25.** El terreno resultó muy dañado por el deslizamiento. **Fuente:** Fotografía propia, 2019.



**Figura 26.** Equipo a cargo de la Misión 1 con VANT. **Fuente:** Fotografía propia, 2019.

### 3.6.4 Estudio de las condiciones de los terrenos para reubicación

Las condiciones superficiales de los terrenos para reubicación fueron observadas desde el aire con el vuelo fotogramétrico VANT. Este consistió en un recorrido total de 1.719 metros, con forma rectangular a 120 metros de altura, produciendo un total de 84 imágenes de alta resolución con una superposición del 80%, según las estadísticas del sobrevuelo (Tabla 3).

La Misión 2 tuvo una cobertura del 100% en las áreas propuestas, que corresponden a la zona destacada en azul en el modelo de correspondencia de imágenes de la misión (Figura 27).

Cada imagen, vista como un punto en la región central del modelo, se superpone entre sí con al menos otras nueve fotos vecinas, ofreciendo muy buen control en la alineación de las capturas. Fuera de la zona azul los traslapes de las imágenes disminuyen notablemente.

La cercanía de los terrenos, ubicados uno frente del otro, facilitó el despliegue de un único sobrevuelo para cubrir la ubicación de las dos propiedades en estudio.

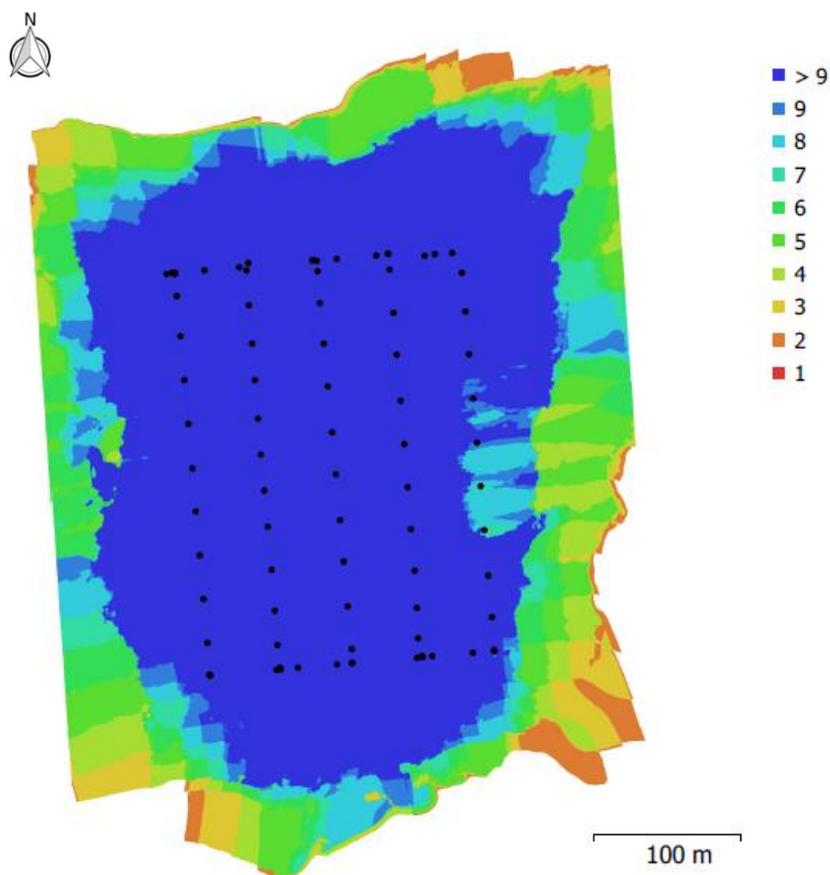
La forma y distancia del recorrido, así como la altura del vuelo fotogramétrico, fueron establecidas con la *App* móvil de Pix4D, la cual permite al piloto el control del dispositivo VANT durante las misiones en campo.

En resumen, el vuelo fotogramétrico incluyó un trazado de 281 metros de largo en el plano Norte-Sur y de 200 metros de ancho en el plano Este-Oeste, con una duración total de cinco minutos y 26 segundos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Estadísticas del vuelo fotogramétrico en la Misión 2

ESTADÍSTICAS DEL SOBREVUELO VANT PARA LOTES DE CASAMATA			
<b>Tipo de VANT:</b> Phantom 4	<b>Fecha de vuelo:</b> 8 de setiembre 2019	<b>Hora:</b> 08:46	<b>Tipo de vuelo:</b> Cuadrícula
<b>Coordenadas:</b> 9,773644°, -83,988152°	<b>Dimensiones:</b> 200 m x 281 m	<b>Traslape de imágenes:</b> 80%	<b>Ángulo de cámara:</b> 90°
<b>Altitud:</b> 120 m	<b>Número de imágenes:</b> 84	<b>Recorrido:</b> 1719 m	<b>Tiempo de vuelo:</b> 5 Min:26Seg

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura 27.** Modelo de correspondencia de imágenes del sobrevuelo.

**Fuente:** Agisoft LLC, 2020.

#### **3.6.4.1 Reconocimiento del terreno 1**

Ubicado al costado Este de la Ruta Nacional 2, es una propiedad ofrecida para segregación con aproximadamente 4.200 m<sup>2</sup> de área y localizada en el distrito El Guarco, en Cartago (Figura 28).

#### **3.6.4.2 Reconocimiento del terreno 2**

Se ubica en el cantón Desamparados de San José, al costado Oeste de la Ruta Nacional 2 y frente al terreno 1, este lote presenta un área de 3.712 m<sup>2</sup>, (Figura 29).



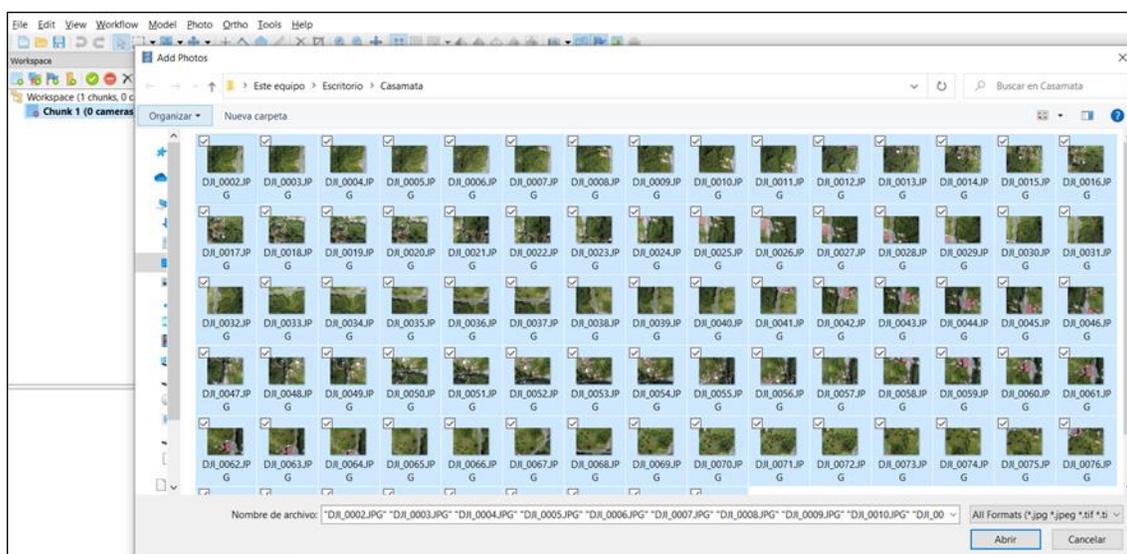
**Figura 28.** Perspectiva del terreno 1. **Fuente:** Fotografía propia, 2019.



**Figura 29.** Perspectiva del terreno 2. **Fuente:** Fotografía propia, 2019.

### 3.6.5 Carga y calibración de imágenes

El set de imágenes del sobrevuelo se transfirió desde el VANT hacia el *software* Agisoft PhotoScan, para el respectivo tratamiento fotogramétrico. La carga de imágenes contiene un total de 84 fotografías digitales (*84 Cameras*) en la carpeta destino denominada *Chunk 1* (Figura 30).

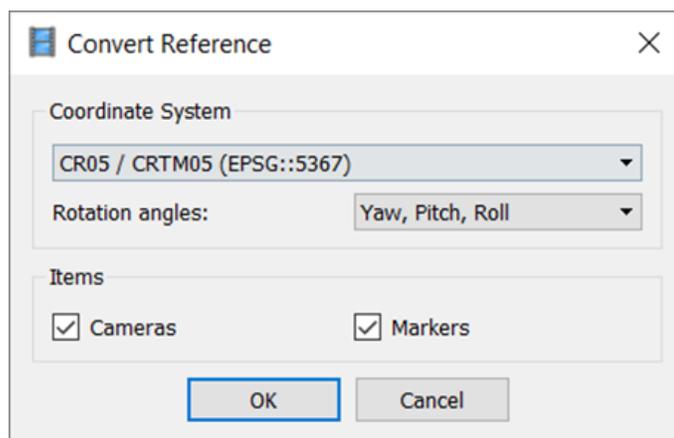


**Figura 30.** Carga de las imágenes digitales en Agisoft PhotoScan. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

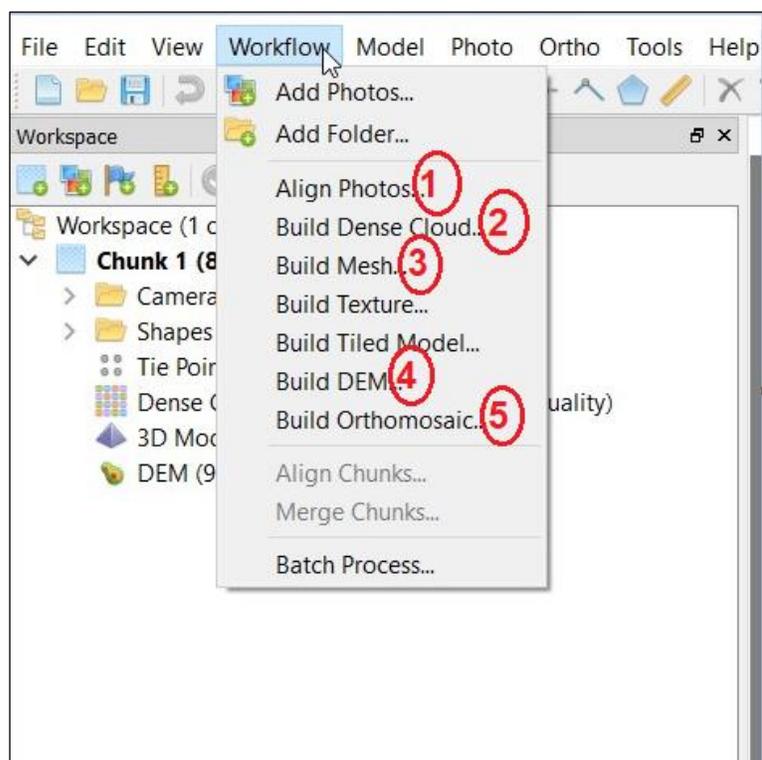
Con la herramienta *Convert Reference* se estableció el sistema de referencia espacial CRTM05-EPSG: 5367 para la proyección cartográfica de Costa Rica (Figura 31).

En este proceso el sistema transformó las coordenadas geográficas tomadas del VANT en coordenadas con formato métrico para posteriormente homologar las unidades en los cálculos de residuales.

En este punto, las 84 imágenes digitales ya están listas para ser visualizadas en el *software* fotogramétrico.



**Figura 31.** Proyección en el sistema CRTM05. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura 32.** Flujo de trabajo para los productos fotogramétricos. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

### **3.6.6 Los productos informativos para el estudio de la utilidad de los terrenos**

Un producto informativo consiste en un grupo de datos transformados en información útil para el estudio de un caso. Son insumos que mejoran la realización del trabajo y permiten avanzar de una manera más rápida y eficiente (Tomlinson, 2008).

Los productos informativos son fundamentales para el estudio de las condiciones que caracterizan los terrenos. Estos se programan desde la caja de comandos de *Workflow* del programa Agisoft Photoscan, desde donde se ejecutan de manera secuencial: la alineación del modelo fotogramétrico, la producción de la nube densa, la producción del *Mesh*, producción del DEM (MDS) y finalmente producción del Ortomosaico (Figura 32) (Anexo 4).

#### **3.6.6.1 Alineación (creación de la nube dispersa)**

La nube dispersa fue el primer producto de la caja *Workflow*, procesada en la más alta calidad disponible. El alineamiento de las imágenes utiliza la georreferenciación que proporcionó el VANT durante el sobrevuelo, así la nube dispersa se proyecta con la posición X, Y y Z de cada una de las fotografías.

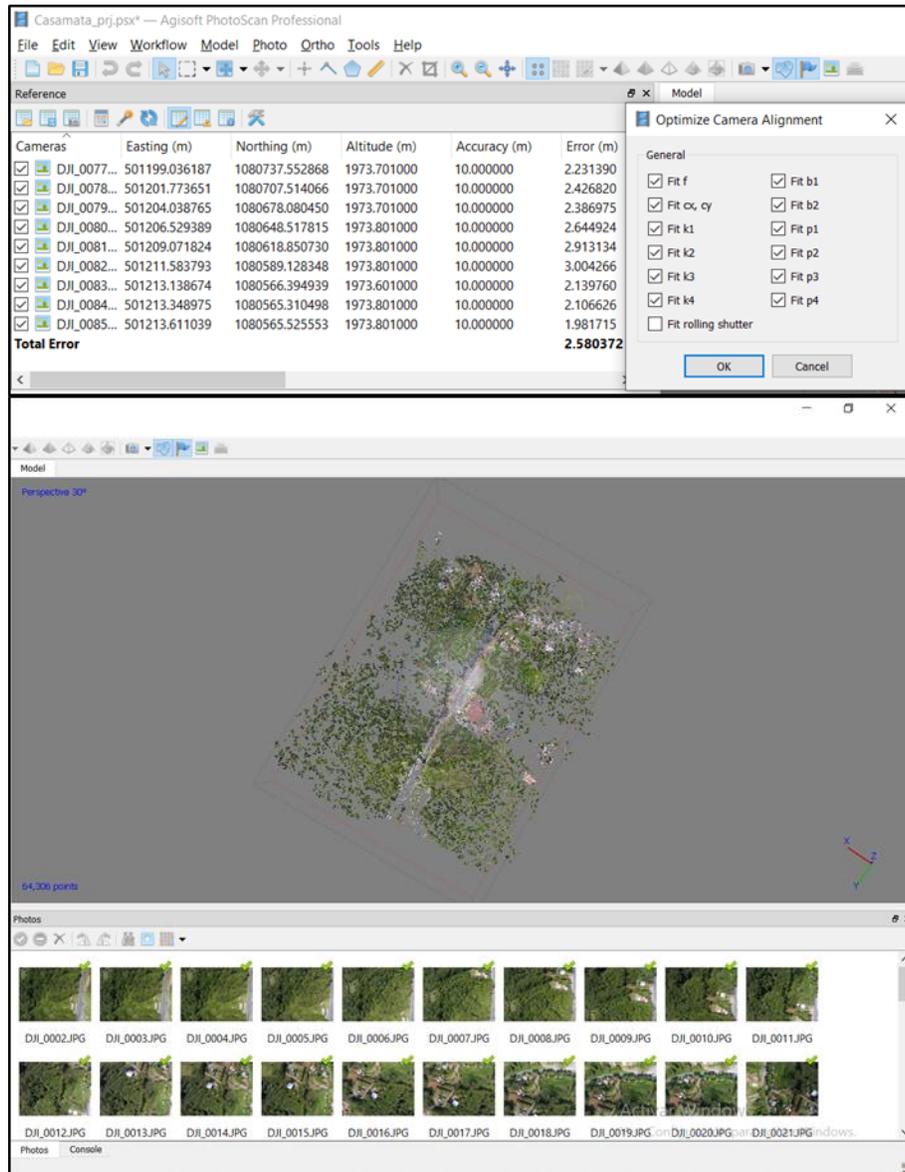
Una vez alineadas las imágenes digitales el *software* realiza un cálculo de los residuales para estimar la precisión obtenida para la nube de puntos (Agisoft LLC, 2016).

#### **3.6.6.2 Optimización de la alineación**

La calibración de los parámetros de la cámara ayuda a mejorar los residuales de la alineación inicial, lo cual es deseable considerando que posteriormente de ésta se derivan productos más complejos, como el *Mesh* y el DEM, por ejemplo.

El comando *Optimize Camera Alignment* despliega varios parámetros para controlar los ajustes del alineamiento (Figura 33). La lista de parámetros incluye el uso de los coeficientes de distorsión tangencial y radial ( $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  y  $p_4$  y  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  y  $k_4$ ), coeficientes de transformación (*Skew*), coordenadas de los puntos principales del lente óptico ( $x_c$  y  $y_c$ ) y distancia focal de X y Y, con dimensiones medidas en píxeles ( $f_x$  y  $f_y$ ) (Agisoft LLC, 2016) (Anexo 4).

El proceso de optimización de los parámetros de la cámara mejoró notablemente la precisión y redujo los residuales desde los 3 metros hasta 2,5 metros para todo el proyecto.



**Figura 33.** Control para la calibración de la cámara arriba y la nube dispersa abajo. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

El residual de 2,5 metros es un parámetro de referencia del sistema y no necesariamente una medida de distorsión a nivel del terreno. Este valor puede considerarse “normal” para un ejercicio fotogramétrico donde no se utilizaron puntos de control fijados al terreno. No obstante, lo anterior en nada limita el análisis espacial que emplea esta metodología de inspección.

### **3.6.6.3 Obtención de la nube densa**

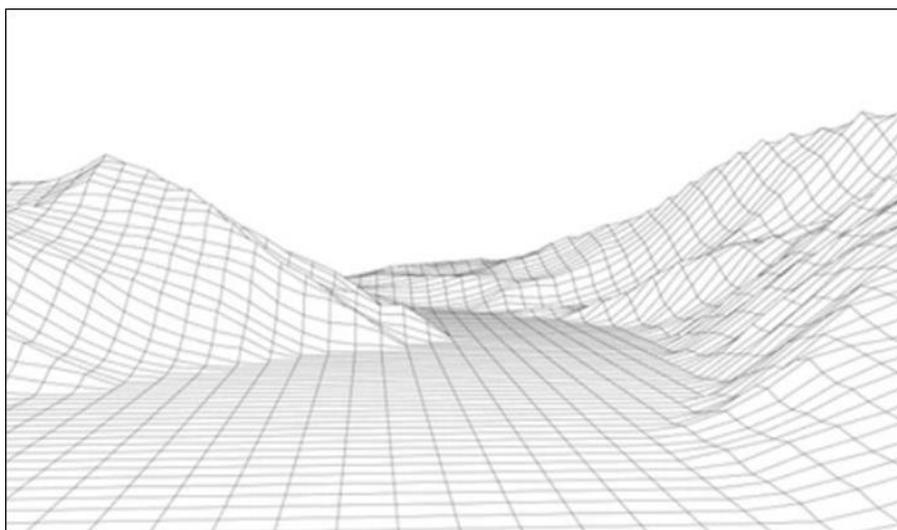
La generación de la nube densa es el siguiente paso en el procesamiento. En este punto, se obtiene un modelo 3D, cuya precisión depende directamente de una correcta alineación previa del set fotogramétrico, como se indicó antes.

Desde la caja *Workflow* se configuran todos los parámetros del procedimiento, similar a la producción de la nube dispersa, pero esta vez con un mayor requerimiento computacional. El *software* calcula la profundidad en cada punto de captura de imagen para luego ser representada en el modelo 3D (Agisoft LLC, 2016) (Figura 34).

El procedimiento clasifica los puntos de la nube densa que serán usados más adelante en la producción de la malla de datos espaciales. En la nube densa se pueden seleccionar, por ejemplo, los puntos del terreno o *Ground Points* para obtener un DEM sin cobertura de árboles o edificaciones, lo opuesto al Modelo Digital de Superficie, como se verá más adelante (Agisoft LLC, 2016).



**Figura 34.** Nube densa con la representación de la escena en 3D. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura 35.** Concepto de malla de datos o *Mesh* para un relieve irregular. **Fuente:** Shutterstock, 2020.

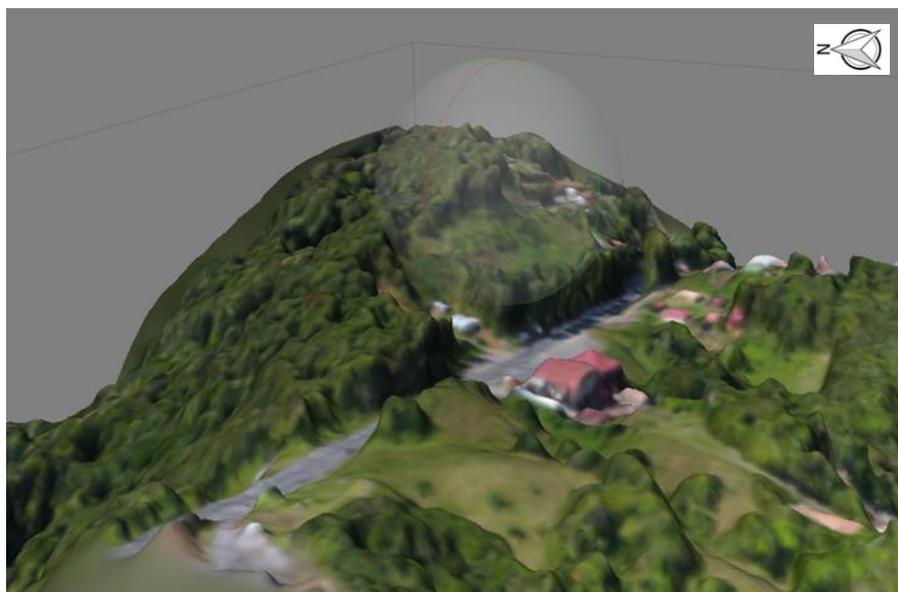
### 3.6.5.5 Obtención del *Mesh* o malla de datos

El *Mesh* es un modelo 3D con aspecto de malla continua de datos que representa la superficie del terreno mediante la lectura de valores X, Y y Z (Figura 35).

Similar al DEM en su composición 3D, el *Mesh* puede editarse para mejorar el aspecto y la precisión general del modelo. Puede optimizarse, por ejemplo, con la remoción de elementos no deseados, el cierre de huecos en la malla espacial o el suavizado del contorno para la representación del proyecto.

Previa clasificación en la nube densa de puntos, el *Mesh* puede generar varios tipos de DEM, según el interés del usuario. A su vez, el *software* permite exportar el modelo 3D para la edición de elementos e importarlo nuevamente y reconocer la malla mejorada (Agisoft LLC, 2016).

Con el *Mesh* ya se reconocen algunos aspectos generales en el modelo tridimensional, por ejemplo, la distribución de los usos del suelo, como la topografía que domina el área del sobrevuelo (Figura 36).



**Figura 36.** Modelo 3D *Mesh* para la escena de la Misión VANT 2. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

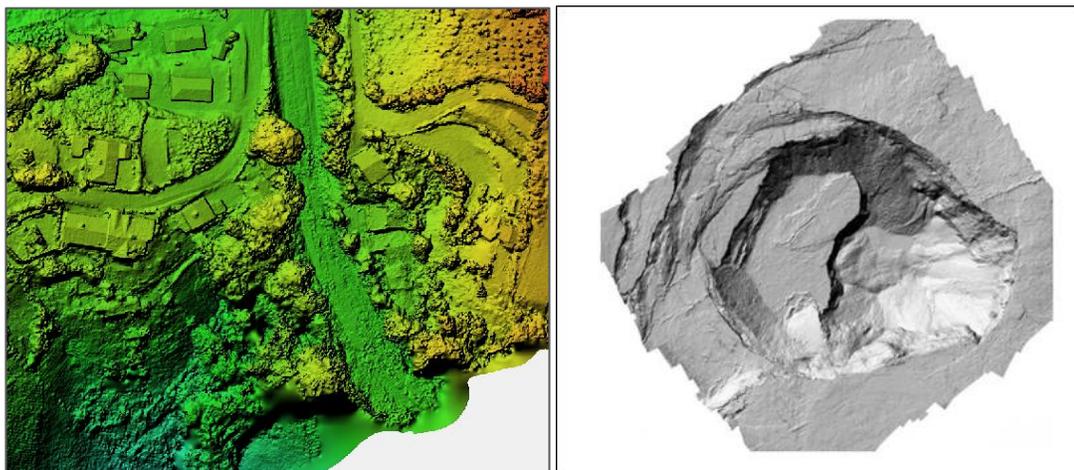
### 3.6.5.6 Obtención Modelo Digital de Superficie (MDS)

El Modelo de Elevación es un producto informativo 3D en formato ráster generado a partir de la información espacial de una nube dispersa, una nube densa o un modelo *Mesh* importado (Agisoft LLC, 2016) (Anexo 2).

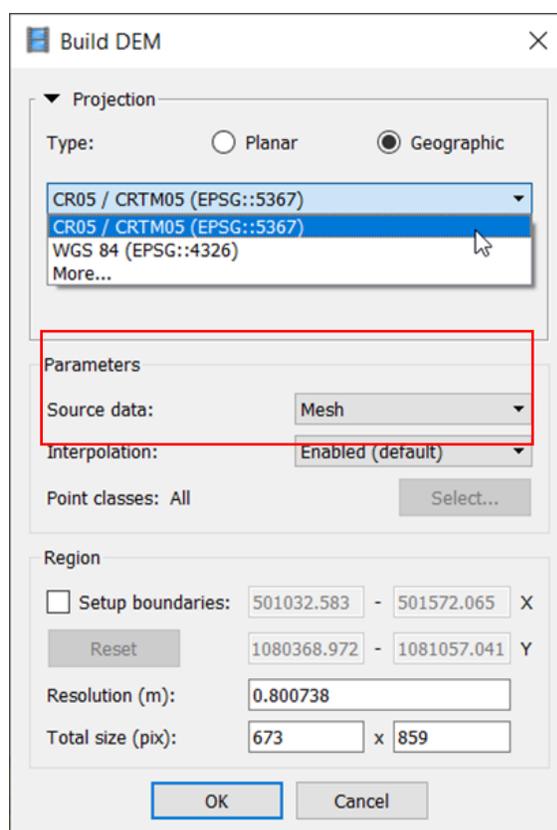
El Modelo Digital de Superficie (MDS) incluye información de la mayoría de los elementos presentes en el terreno, como la cobertura de árboles o las edificaciones. Por el contrario, el Modelo Digital del Terreno o modelo MDT utiliza solamente la información de la elevación del suelo (*Ground Points*) para representar la superficie sencillamente sin coberturas (Figura 37).

Los modelos de elevación digital almacenan el valor Z en la posición X y Y de cada píxel del proyecto, lo que les genera utilidad para muchas aplicaciones, entre ellas, el cálculo de pendientes, la definición del aspecto u orientación de los flancos de laderas, simulación de flujos de escorrentía y materiales, modelado de deslizamientos, entre otras más.

En la caja de *Workflow* del procedimiento se establece la proyección geográfica del MDS en CRTM05-EPSSG: 5367 y el *Mesh* como la fuente de entrada de datos para la interpolación de datos (Figura 38).



**Figura 37.** Modelo Digital de Superficie a la izquierda y el Modelo Digital del Terreno a la derecha. **Fuente:** ESRI, 2020.



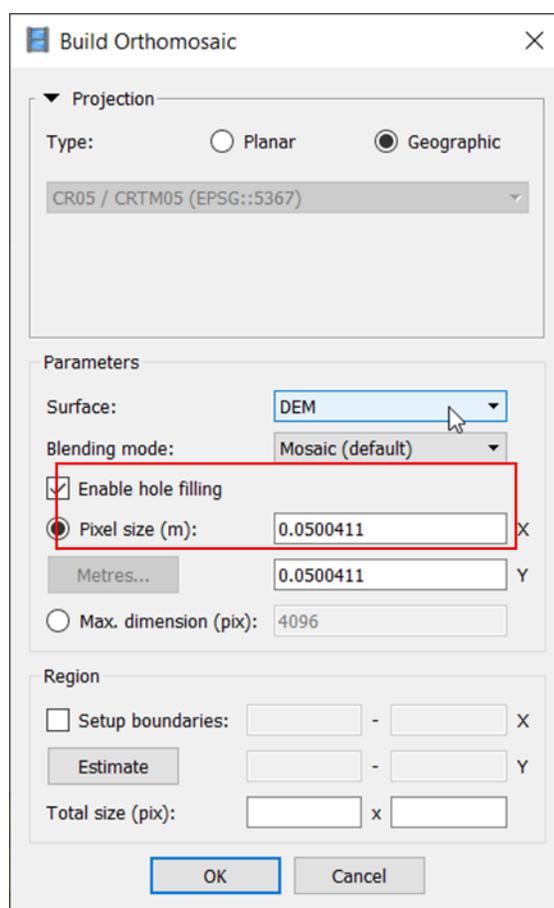
**Figura 38.** Control para la proyección del MDS. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

### 3.6.5.7 Obtención del Ortomosaico

El Ortomosaico es un producto ráster de alta resolución espacial obtenido mediante la fusión de las imágenes digitales, que han sido espacialmente corregidas con la georreferenciación aportada por el modelo de elevación (Anexo 3).

Es un producto informativo de mucha utilidad en la fotogrametría aérea, el análisis espacial multivariable y otras aplicaciones, dada la excelente resolución espacial de 0,05 metros por píxel, ideal para los tratamientos digitales (Agisoft LLC, 2016) (Figura 39).

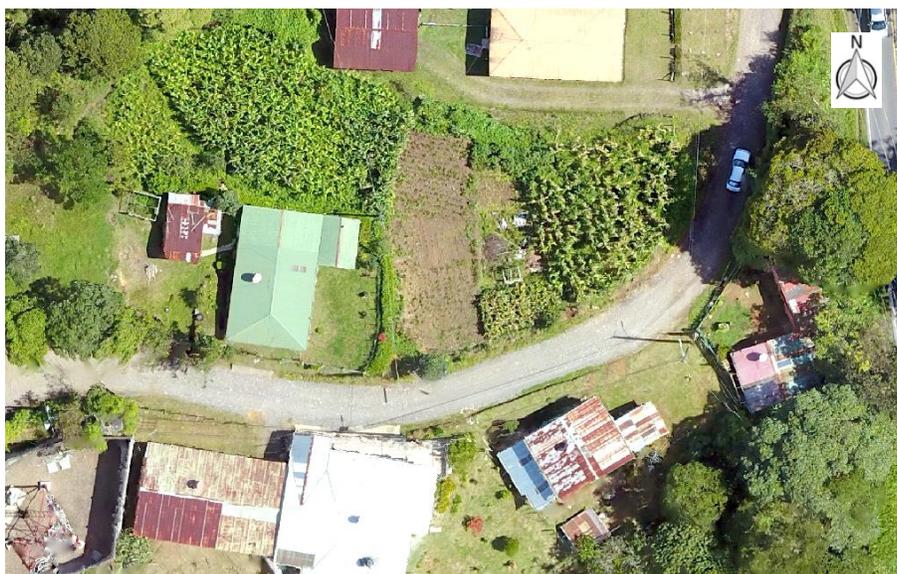
En la caja de *Workflow* se fijaron los parámetros para el procesamiento, entre ellos la proyección espacial en CRTM05, la definición del DEM como la fuente de entrada de datos y la ruta de salida para el Ortomosaico (Figura 39).



**Figura 39.** Control para generación del Ortomosaico. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.

Es un producto digital muy útil en el reconocimiento de las condiciones de los terrenos, para visualizar claramente los detalles de las variables geoespaciales, por ejemplo, la cobertura vegetal, la disponibilidad de servicios públicos, usos del suelo, etc. (Figura 40).

El Ortomosaico puede integrarse dentro de los SIG con otras capas de información geográfica, sumando más elementos al análisis multivariable.



**Figura 40.** El Ortomosaico es un elemento ráster de alta resolución espacial.

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

### **3.7 Limitaciones**

La capacidad operativa de los equipos informáticos utilizados en el manejo de los datos en la metodología aplicada fue una limitante de trabajo. Ello debido al alto requerimiento computacional de algunos procesamientos, como en el caso de la alineación del set fotogramétrico o la obtención del DEM, por ejemplo. Estos procedimientos muestran una relación directa entre el rendimiento computacional y la calidad de los productos conseguidos.

En relación al grado de precisión que se espera de un proyecto fotogramétrico, este depende directamente de la aplicación o utilidad que se busque con la herramienta (DroneDeploy, 2019). Esta aplicación metodológica, al tratarse de un ejercicio sencillo con un enfoque cualitativo más fuerte respecto las condiciones visuales en los terrenos, puede prescindir de los puntos de control que se colocan en el campo.

No obstante, la mejor practica al trabajar con vuelos fotogramétrico será disponer de puntos de control para zona de estudio, de tantos como sea posible, con el propósito de generar una mayor precisión al modelado y al proyecto fotogramétrico en general.

## **CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 Análisis técnico de la afectación por deslizamiento en el terreno de la anterior Escuela Casamata**

El deslizamiento ocurrido en el terreno de la anterior Escuela Casamata tuvo graves consecuencias para el centro educativo y las propiedades colindantes, pero un vistazo al Mapa de las Amenazas Naturales, refleja que no se trata de un hecho aislado en la zona, sino todo lo contrario. Además del evento que destruyó el centro educativo, la Comisión Nacional de Emergencias registra varios deslizamientos y zonas potenciales en los alrededores de la comunidad, como evidencia de la vulnerabilidad del territorio frente a estos procesos erosivos.

El mapa muestra un patrón de alta incidencia relacionado con el trazo de la Ruta Nacional 2 sobre este sector, donde existe una importante alteración de la topografía original debido al paso de esta importante vía de comunicación. El registro de los deslizamientos se localiza en ambos márgenes de la vía pública (Figura 41).

En el terreno de la anterior Escuela Casamata, a pesar del tiempo transcurrido desde el día de la emergencia, aún es posible observar rasgos del evento, por ejemplo, la fuerte pendiente en los cortes del suelo, los materiales remanentes y la corona del deslizamiento (Figura 42, 43 y 44).

El análisis técnico de la afectación en la zona donde se presentó la emergencia, incluye una revisión del terreno post evento y también del estado de la infraestructura educativa.

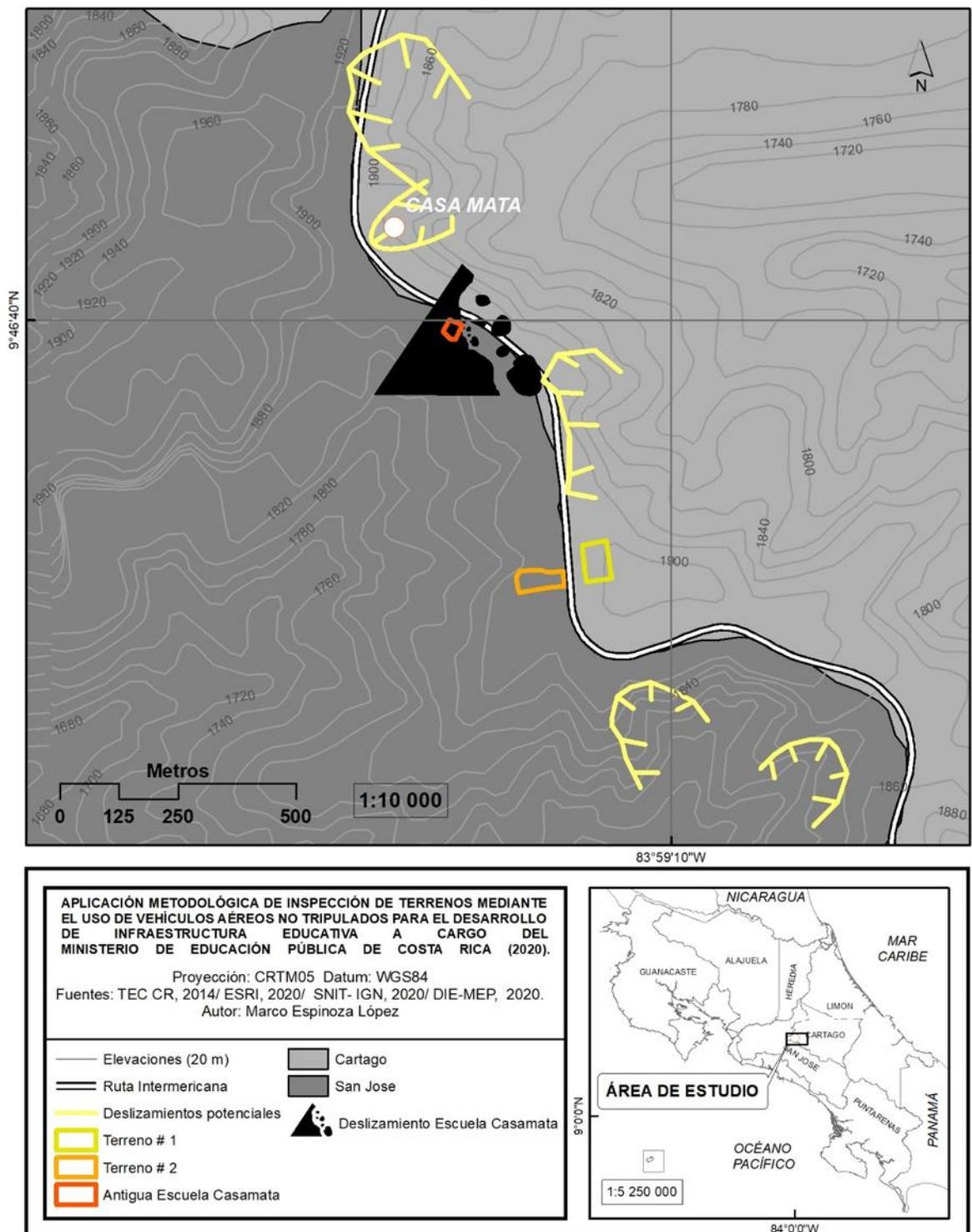


Figura 41. Mapa de las Amenazas Naturales para el sector. Fuente: Elaboración propia, 2020.

### **4.1.1 El estado del terreno post evento**

El terreno sufrió una afectación severa consecuencia del deslizamiento, lo que generó además la inestabilidad del suelo en los terrenos vecinos. El lote escolar se vio afectado principalmente en la sección que recorre el lindero SE, en donde se perdió el 100% terreno a partir del corte de la corona.

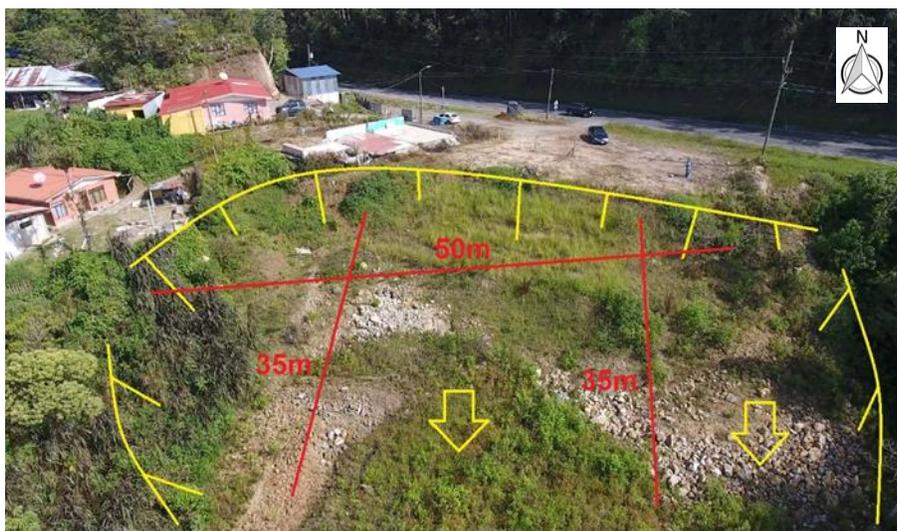
La masa de materiales se movilizó en su momento rumbo Sur arrastrando todo a su paso. Las imágenes del sobrevuelo con VANT muestran tanto la afectación en el terreno escolar como en las propiedades colindantes, donde se ubican algunas viviendas (Figura 42).

Utilizando el Sistema de Información Geográfica, las marcas visibles en el terreno y las casas vecinas como referencia, se estima que la corona del deslizamiento midió unos 50 metros de ancho, desde la cobertura forestal en el límite Este hasta el punto donde se alcanzan las viviendas al Suroeste. Así mismo, se estima que los materiales precipitados en el deslizamiento recorrieron unos 35 metros a favor de la pendiente. (Figura 43).

Dentro del lote escolar, la huella aún visible de la corona del deslizamiento revela el sitio donde ocurrió la ruptura del suelo (Figura 44). A pesar del tiempo transcurrido, el área se considera aún inestable a presentar nuevos deslizamientos, dado que en el sitio no se han realizado obras para la estabilización de los taludes y los materiales, por lo que el tránsito de personas en este lugar no es recomendable.



**Figura 42.** Vista del material movilizado y las viviendas en las cercanías.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura 43.** Dimensiones aproximadas del deslizamiento en el lote escolar.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura 44.** Corona del deslizamiento a nivel del terreno. **Fuente:** Fotografía propia, 2019.

#### 4.1.2 El estado de la infraestructura educativa post evento

La Boleta de Evaluación Post Desastre de la Seguridad de Edificaciones describe un colapso total de las edificaciones y un uso no habitable de los espacios que se mantuvieron en pie después de la emergencia (Figura 45).

El deslizamiento del terreno provocó el derrumbe de los espacios escolares justo debajo de la corona o del sitio de ruptura del suelo. En este punto la pérdida de infraestructura fue significativa, principalmente en la sección posterior del terreno (Figura 46). Si bien algunos materiales resistieron al colapso del suelo, esa infraestructura ha quedado en la actualidad reducida a escombros. El vuelo libre con VANT evidencia los únicos remanentes del edificio escolar, el cual después del evento ha sido completamente desmantelado y solo se observan los remanentes del piso, principalmente (Figura 47). Solamente el piso y algunas baldosas persisten al desarme que le sucedió a la infraestructura educativa (Figura 48). Atendiendo las recomendaciones de las autoridades de CNE, el Ministerio de Educación Pública

realizó el traslado temporal del centro educativo a una localización más segura, mientras se establece el sitio definitivo para el traslado de la institución.

**1. Inspección General**

Instrucciones: a) Realizar una inspección visual en busca de daños severos evidentes, preferiblemente desde el exterior.  
 b) Señalar en la tabla los peligros encontrados.  
 c) Según los resultados, catalogar el edificio en condición "restringida" o "no habitable" de ser necesario.

La Inspección del edificio se hizo:  Sólo en el exterior  Exterior e Interior (indicar pisos): \_\_\_\_\_

PELIGROS	SI	NO
1. Colapso total	X	
2. Colapso parcial		X
3. Edificación separada de su cimentación	X	
4. Falla de cimentación y/o en suelo de fundación	X	
5. Inclinación notoria del edificio (>2°)	X	
6. Inclinación notoria de algún entrepiso (>2°)	X	
7. Daño severo general en elementos estructurales	X	
8. Agrietamiento importante del terreno	X	
9. Falla de talud cercano o agrietamiento en corona	X	
10. Peligro evidente de objetos que puedan caer	X	
11. Otro peligro evidente: <u>DESPLAZAMIENTO</u> (ej. derrame tóxico, rotura de tubería de gas, línea eléctrica caída)		

CONDICIÓN SEGÚN INSPECCIÓN GENERAL	
<b>RESTRINGIDA:</b> (amarillo) -Se dan peligros 10 u 11 en áreas reducidas a las cuales es posible restringir el acceso o remover fácilmente los elementos peligrosos.	<b>NO HABITABLE:</b> (rojo) -Se da cualquier peligro de 1 a la 9. -Se dan peligros 10 u 11 generalizados y dispersos por toda la edificación.
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

00000003

Indique el nivel de piso con el mayor daño: UN SOLO NIVEL

Indique la dirección con el mayor daño:  Longitudinal  Transversal

DAÑO ESTRUCTURAL POR ELEMENTO	Ningún Daño (I)	Daño Leve (II)	Daño Moderado (III)	Daño Fuerte (IV)	Daño Severo (V)	Total revisado
1. Muros estructurales o arriostres					X	
2. Columnas					X	

**Nivel de daño en columnas**

Porcentaje de daño fuerte o severo (IV o V)  < 1%  1% - 10%  >10%

Porcentaje de daño moderado (III)  <12.5%  12.5% - 25%  >25%

**Nivel de daño en muros estructurales**

Porcentaje de daño fuerte o severo (IV o V)  < 1%  1% - 10%  >10%

Porcentaje de daño moderado (III)  <12.5%  12.5% - 25%  >25%

CONDICIÓN SEGÚN INSPECCIÓN DETALLADA: DAÑO ESTRUCTURAL		
<b>HABITABLE:</b> (verde) -Se obtienen sólo A	<b>RESTRINGIDA:</b> (amarillo) -Se obtiene B=1 y C=0 -Daños fuertes o severos muy aislados que no comprometen el resto de la estructura. Es posible restringir acceso a zona afectada	<b>NO HABITABLE:</b> (rojo) -Se obtiene B ≥ 2 ó C ≥ 1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

00000003  
14/11/17

**Figura 45.** Boleta de Evaluación post evento para la Escuela Casamata.  
**Fuente:** MEP, 2017.



**Figura 46.** Pérdida de infraestructura escolar sobre la ruptura del terreno.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura 47.** Vista de los remanentes del edificio escolar. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.



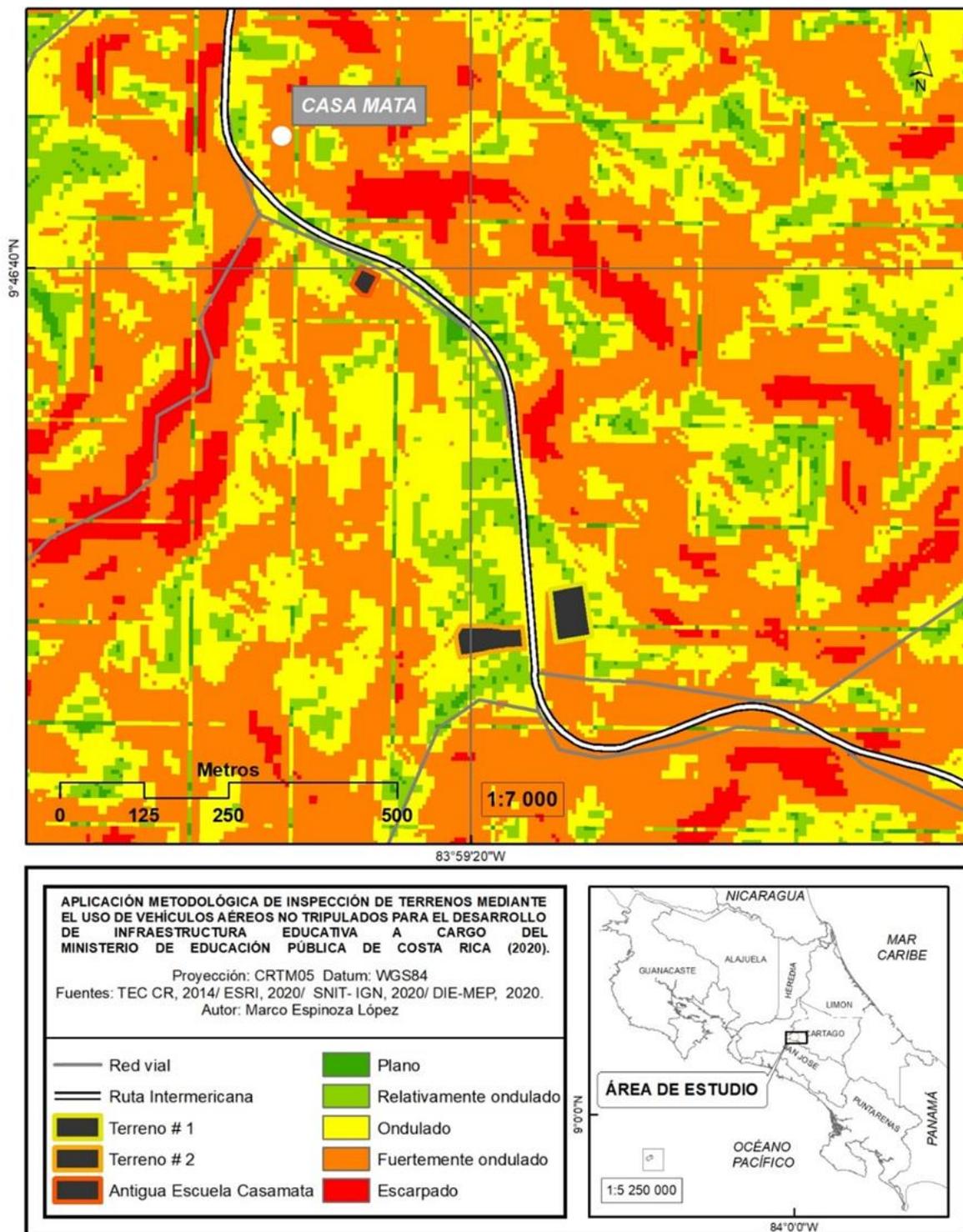
**Figura 48.** Vista de los escombros en el lote escolar. **Fuente:** Fotografía propia, 2019.

### 4.1.3 El relieve relativo en el área de estudio

La variabilidad del relieve se observa muy bien en el Mapa del Relieve Relativo del área de estudio (Figura 49). La cartografía muestra la distribución general de las pendientes, desde los relieves planos con 2° grados hasta los escarpados con 50° de inclinación, encontrándose para el sector una mayoría de pendientes en los rangos medio y alto con 2° y 30° de inclinación, representadas en color amarillo y naranja, respectivamente (Figura 49).

Destaca un corredor de pendientes bajas y relativamente onduladas que recorre en forma más o menos transversal el área de estudio, concordante con el trazo de la Ruta Nacional 2, donde también se posiciona una buena parte del uso residencial de la comunidad. En este sector se ubica también la Iglesia Católica, el Comisariato y el entronque vial que lleva hacia San Cristóbal Norte, y corresponde a la sección con el relieve más regular del lugar.

Nótese que el terreno de la anterior Escuela Casamata se ubica en las cercanías de este corredor de pendientes bajas y onduladas, pero se distingue un cambio abrupto hacia pendientes fuertemente onduladas, en la sección posterior del lote, donde tuvo lugar el origen del deslizamiento (Figura 49).



La presencia de altas pendientes en la zona facilita sin duda la generación de estos eventos erosivos. Esta condición se refleja muy bien en los numerosos escarpes presentes en las serranías circundantes, como se aprecia en la fotografía del relieve local, en las inmediaciones de Casamata (Figura 50).

Estos rasgos del relieve actúan como un indicador de la fragilidad del territorio ante los procesos erosivos del suelo donde se presentan afectaciones múltiples a los terrenos, las propiedades, la Ruta Nacional 2 y las vías locales.



**Figura 50.** Marcas de deslizamientos en el relieve local. **Fuente:** Fotografía propia, 2020.

#### **4.1.4 La afectación y el riesgo en la zona de emergencia**

Una de las ventajas de utilizar los VANT en misiones de reconocimiento de campo es la capacidad para observar las condiciones geográficas de los terrenos pero también de las inmediaciones y detectar, por ejemplo, el riesgo potencial que guardan ciertos escenarios geográficos.

En este sentido, la Misión VANT 1 muestra la proximidad del uso residencial con respecto a la corona del deslizamiento, en una zona vulnerable a la ocurrencia de nuevos desprendimientos de materiales. Aquí se observa la presencia de al menos dos viviendas próximas al lindero Suroeste del lote escolar.

Producto de la emergencia, una tercera vivienda se vio seriamente afectada por la inestabilidad del suelo y tuvo que ser demolida. Esta vivienda ocupaba el espacio donde hoy se observa una losa abandonada, justo en el borde de la corona del deslizamiento (Figura 51).

Las otras dos viviendas vecinas aparentemente no sufrieron daños mayores y se mantienen habitadas. No obstante, la localización de éstas, a escasos metros del sitio de la emergencia, provoca una condición de alta vulnerabilidad para las personas y las mismas infraestructuras (Figura 52).

En este contexto, es recomendable llevar a cabo una evaluación más puntual de las condiciones de riesgo asociado a estas propiedades y a los residentes. Así también, mantener una vigilancia activa de las condiciones generales de los terrenos próximos a la zona de la emergencia, en caso de que se presenten nuevos agrietamientos o movimientos de materiales, especialmente en presencia de condiciones lluviosas atípicas.



**Figura 51.** La corona del deslizamiento alcanzó a las propiedades vecinas.  
**Fuente:** Fotografía propia, 2019.



**Figura 52.** Viviendas habitadas a pocos metros del deslizamiento. **Fuente:** Fotografía propia, 2020.

## **4.2 Análisis técnico de la utilidad de los terrenos para el uso educativo**

### **4.2.1 Características y condiciones del terreno 1**

Las características generales del terreno 1 se resumen en la Boleta de Inspección de campo (Tabla 4). Esta boleta contiene la información general de las propiedades inspeccionadas en la Misión VANT 2, así como también el registro manual de datos por parte del personal inspector.

#### **4.2.1.1 Ubicación, área y configuración:**

La propiedad se ubica en la Hoja Topográfica Tapantí, escala 1:50.000. Según la coordenada geográfica se localiza en 09°46'24.66" Latitud Norte y 83°59'16.00" Longitud Oeste, a una altitud aproximada de 1890 m.s.n.m.

Es un terreno de configuración rectangular según el croquis de segregación, con dimensiones de 80 metros de frente por 52.6 metros de fondo y un área aproximada de 4.214 m<sup>2</sup>. Está localizado al costado Este de la Ruta Nacional 2, colindante con la propiedad donde ahora funciona provisionalmente la Escuela Casamata (Figura 53).

#### **4.2.1.2 Topografía, nivel y accesos:**

Presenta un relieve de tipo cóncavo fuertemente ondulado, con un marcado ascenso en la pendiente desde la vía pública hasta alcanzar una loma de baja altura que domina la propiedad. En la mayor parte del área las pendientes alcanzan los 50° de inclinación, especialmente cerca del lindero Sureste, donde se presenta la mayor elevación del terreno (Figura 49 y 54).

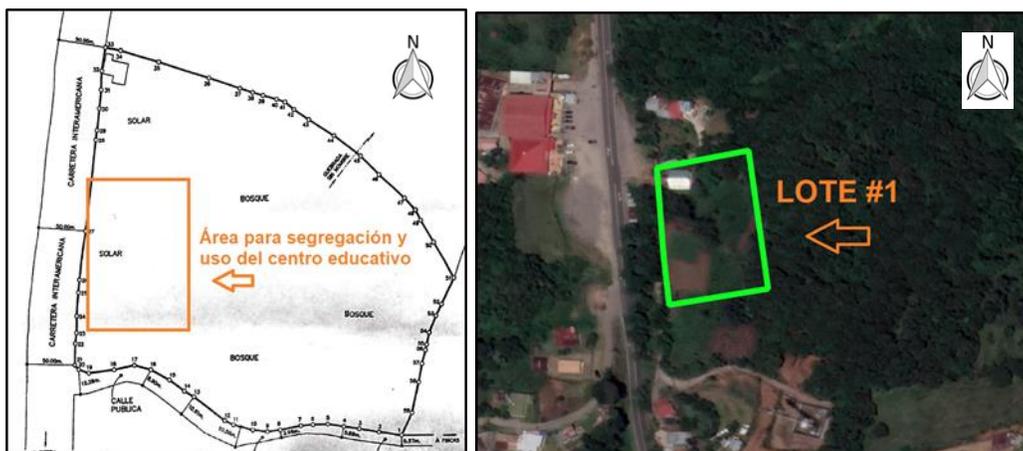
Cerca del lindero Noroeste se observa una diferencia de nivel de aproximadamente cuatro metros en apenas 25 metros de distancia. El nivel del lote permite el desfogue de aguas pluviales sobre el frente a calle pública al Oeste, siguiendo la pendiente natural del terreno (Figura 55).

El acceso al terreno se realiza por una vía marginal que conecta con la Ruta Nacional 2, este acceso presenta base asfáltica y se encuentra en regular estado de mantenimiento.

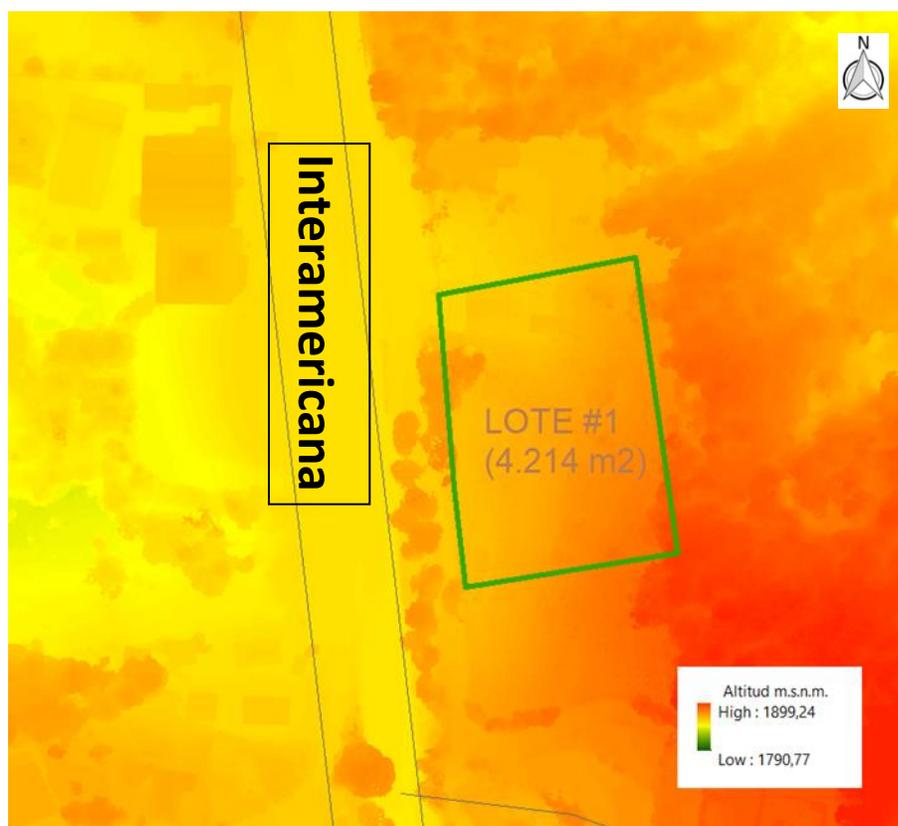
Tabla 4. Boleta de Inspección de campo con las características del terreno 1.

<b>TERRENO: 01</b>			
COORDENADAS DEL TERRENO:	<b>X: -83°59'16"</b>	<b>Y: 09°46'24.26"</b>	<b>Z: 1890 m.s.n.m.</b>
<b>VARIABLES A EVALUAR</b>			
TIPO DE ZONA:	RURAL	URBANA	INDIGENA
	COSTERA	FRONTERIZA	OTRO
COBERTURA ACTUAL:	BALDÍO/CHARRAL	PASTO	AGRICULTURA (_____)
	EDIFICACIONES	BOSQUE	MIXTO
CONFIGURACIÓN O FORMA:	CUADRADO	RECTÁNGULO	ROMBOIDE
	PENTÁGONO	TRIÁNGULO	POLIGONO IRREGULAR
TOPOGRAFÍA:	PLANO	ONDULADO	ONDULADO/ESCARPADO
	ESCARPADO	INTERVENIDO	MIXTO
NIVEL DEL ACCESO:	A NIVEL CON CALLE	SOBRE NIVEL (2-3 m)	SUBNIVEL (_____ m)
INCLINACIÓN DESDE EL FRENTE:	INCLINADO HACIA EL FONDO	INCLINADO HACIA EL FRENTE	INCLINADO AL LADO
PENDIENTE DESDE SU FRENTE:	ASCENDENTE	DESCENDENTE	SIN PENDIENTE (PLANO)
PENDIENTE PROMEDIO:	BAJA/PLANO (0-5%)	PLANO/MEDIA (5-15%)	MEDIA/ACCIDENTADA (15-30%)
	ALTA/MUY ACCIDENTADA (30-45%)	QUEBRADA (45-60%)	MUY QUEBRADA (+60%)
TIPO DE SUELO SUPERFICIAL:	LIMO/ARCILLA	ARENAS	GRAVAS
	ROCAMADRE	SUELO ORGÁNICO	RELLENO
FRENTE A CALLE PÚBLICA:	CALLE PÚBLICA (+/- 75 m)	SERVIDUMBRE: (_____ m)	AMBAS: (_____ m)
ACCESO PRINCIPAL:	POR SENDERO	POR SERVIDUMBRE	CALLE PÚBLICA DE LASTRE
	CALLE PÚBLICA DE ASFALTO	CALLE PRIVADA	FLUVIAL
TIPO DE CALLE:	TIERRA	PIEDRA DE RÍO	LASTRE
	ASFALTO	CONCRETO	ADOQUIN
TIPO DE VÍA:	PRIMARIA	SECUNDARIA	TERCIARIA
	CUNETAS	CORDON DE CAÑO	ALCANTARILLA
ELEMENTOS DE CALZADA:	ESPALDON	ACERA	SIN ELEMENTOS PRESENTES
ELEMENTOS VIALES:	SEÑALES VERTICAL/HORIZONTAL	SEÑALES LUMINOSAS	SIN ELEMENTOS PRESENTES
POSICIÓN:	ESQUINERO	MEDIAVERO	CUADRA COMPLETA
	EN LINEA SOBRE CALLE PÚBLICA	EN LINEA SOBRE SERVIDUMBRE	POR DEFINIR
SERVICIOS BÁSICOS DISPONIBLES:	AGUA POTABLE:	SI (ASADA CASAMATA)	NO (MÉTODO DE ABASTECIMIENTO: _____)
	RED DE AGUAS PLUVIALES:	SI	NO
	RED DE AGUAS NEGRAS:	SI	NO
	ELECTRICIDAD:	SI	NO
	TELÉFONO:	INTERNET	CABLE
	TRANSPORTE PÚBLICO:	SI	NO
	RECOLECCIÓN DE BASURA:	SI	NO (_____)
FOCOS DE CONTAMINACIÓN:	RELLENOS SANITARIOS	HOSPITALES	CEMENTERIOS
	TAJOS	FÁBRICAS	AEROPUERTOS
	GRANJAS/LECHERIAS	AGRICULTURA EXTENSIVA	TERMINALES MAQUINARIA PESADA
	PUERTOS	MALOS OLORES	PENITENCIARIAS
	CONTAMINACIÓN VISUAL	CONTAMINACIÓN SÓNICA	CONTAMINACIÓN DEL AIRE
	DESAGÜES	OTROS: (_____)	SIN CONTAMINANTES PRESENTES
SITUACIONES DE RIESGO:	SOLIFLUXIÓN	CÁRCAVAS	DESPLAZAMIENTOS
	DESPRENDIMIENTOS	VUELCOS	FLUJOS DE LODO
	PIÉ DE VACA	TALUDES	DECLIVES
	AMENAZA INUNDACIÓN/RÍO	AMENAZA INUNDACIÓN/LLUVIA	AMENAZA VOLCÁNICA
	LLUVIA ÁCIDA	CENIZAS	FALLAS
	POLIDUCTOS/GASOLINERAS	LÍNEAS DE ALTO VOLTAJE	ANTENAS DE TRANSMISIÓN
	AUTOPISTAS	CURVAS PELIGROSAS	LÍNEAS DE TREN
DELINCUENCIA	CANTINAS/BARES	SIN SITUACIONES DE RIESGO	
RESTRICCIONES POSIBLES:	RÍO, QUEBRADA, EN ZONA RURAL (15m)	RÍO, QUEBRADA, EN ZONA URBANA (10m)	RÍO, QUEBRADA, EN ZONA DE PENDIENTE (50m)
	ACEQUIAS (5m)	CAUSES INTERMITENTES (5m)	LAGOS/EMBALSES (50m)
	NACIENTES CAPTADAS (200m)	NACIENTES NO CAPTADAS (100m)	POZOS (2 a 15m)
	SERVIDUMBRE/OLEDUCTOS (10m)	SERVIDUMBRE/ELÉCTRICA (6m)	SERVIDUMBRE AGUA (6m)
	RETIRO DE CALLE PÚBLICA	ZONA FRONTERIZA (2Km)	ZONA MARÍTIMO TERRESTRE (200m)
	HUMEDALES O MANGLARES	CABLES DE ALTA TENSIÓN	HIDRANTES
	LÍNEA DE TREN	CARRETERA NACIONAL	PLAN REGULADOR
	GEOFISICOS: (_____)	BIOCLIMATICOS: (_____)	SIN RETROS POSIBLES
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN:	RADIOCÉNTRICA	CUADRÍCULA	DESORDENADA
	LINEAL	DISPERSA	OTROS: (_____)
NIVEL SOCIOECONÓMICO DE LA ZONA:	BAJA	BAJA-MEDIA	MEDIA
	MEDIA-ALTA	ALTA	MIXTA
USO PREDOMINANTE EN LA ZONA:	RESIDENCIAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL
	INSTITUCIONAL	VALIDAD	AGRÍCOLA
	GANADERA	BOSQUE	MIXTA
DATO RECOLECTADO A PARTIR DEL SOBREVUELO VANT		ADAPTACION PROPIA, FUENTE: DIE-MEP.	
DATO NO DISPONIBLE CON SOBREVUELO VANT			

Fuente: Elaboración propia, 2020.



**Figura 53.** Propuesta de área del terreno 1. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura 54.** Modelo MDS para el terreno 1. **Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura 55.** Ortomosaico con el análisis espacial para el terreno 1 delineado en verde. **Fuente:** Elaboración Propia, 2020.



**Figura 56.** Uso del suelo sobre el Ortomosaico para el terreno 1 delineado en verde. **Fuente:** Elaboración Propia, 2020.

#### **4.2.1.3 Frente a calle, cobertura de servicios y uso del suelo:**

El lindero Oeste conforma el frente a calle pública del terreno, con aproximadamente 80 metros de ancho y una marcada pendiente que caracteriza la mayor parte del acceso.

El sector dispone de los servicios públicos básicos de electricidad, agua y telefonía fija. El transporte público, así como el camión recolector de basura prestan el servicio regularmente en la comunidad (Tabla 4).

El Ortomosaico, con la sobreposición de linderos del croquis de segregación, permite observar el uso agrícola en la ladera Oeste del terreno (Figura 56). Dentro de la propiedad se ubica una estructura tipo vivienda, de dimensiones pequeñas y construcción reciente, que comparte el uso agrícola de plantas ornamentales y hortalizas existente en el lote.

#### **4.2.1.4 Condiciones de Sanidad y Vulnerabilidad a los Desastres:**

En relación a la posible afectación de la propiedad por eventos naturales, según el Mapa de Amenazas Naturales Potenciales elaborado por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, el terreno no está asociado con ninguna variable de riesgo en el sector.

No obstante, considerando los antecedentes de deslizamientos en la zona y la fuerte pendiente que presenta la ladera Oeste en el terreno, lo recomendable es evitar un cambio en el uso del suelo ante la posibilidad de inestabilidad en las laderas.

#### **4.2.1.5 Limitaciones de uso del suelo:**

Existen condicionantes en el uso de suelo conforme para centro educativo público. El terreno se sitúa dentro de los límites de la Zona Protectora río Navarro-río Sobrero por lo que cualquier uso distinto a una Área Silvestre Protegida está condicionado por parte del Ministerio de Ambiente y Energía.

La pendiente relativa en el sitio dificulta la ubicación de infraestructura educativa, estos terrenos tienen una capacidad de uso muy limitada (IV, VI y VII) siendo lo recomendable dedicar estos sectores a la protección forestal.

El relieve en general hace del terreno un sitio con serias limitaciones para la construcción, por lo tanto, la propuesta de terreno no presenta utilidad para el uso educativo.

## **4.2.2 Características y condiciones del terreno 2**

Las características generales del terreno 2 se resumen en la Boleta de Inspección de campo (Tabla 5).

### **4.2.2.1 Ubicación, área y configuración:**

Se ubica en la Hoja Topográfica Tapantí, escala 1:50.000. Según la coordenada geográfica se localiza en 09°46'21.90" Latitud Norte y 83°59'17.74" Longitud Oeste, a una altitud aproximada de 1.884 m.s.n.m.

Es un terreno de configuración irregular, con un área de 3.712 m<sup>2</sup> según el plano catastrado y la certificación literal de la propiedad, localizado al costado Oeste de la Ruta Nacional 2 (Figura 57).

### **4.2.2.2 Topografía, nivel y accesos:**

Presenta un relieve irregular de tipo convexo, donde la mayoría de pendientes son onduladas y alcanzan los 30° de inclinación, sobre todo en la sección de acceso al terreno (Figura 49 y 58).

Sobre el frente a calle pública se observa un relleno de materiales de granulometría variada que conforma el espaldón de la vía pública. A partir de este punto se marca un descenso abrupto con rumbo Oeste hacia el contrafrente del lote.

La diferencia de altitud entre el frente y el punto medio de la propiedad es de aproximadamente cuatro metros en apenas 33 metros de distancia. Esto evidencia la diferencia de nivel que caracteriza el interior del terreno (Figura 59).

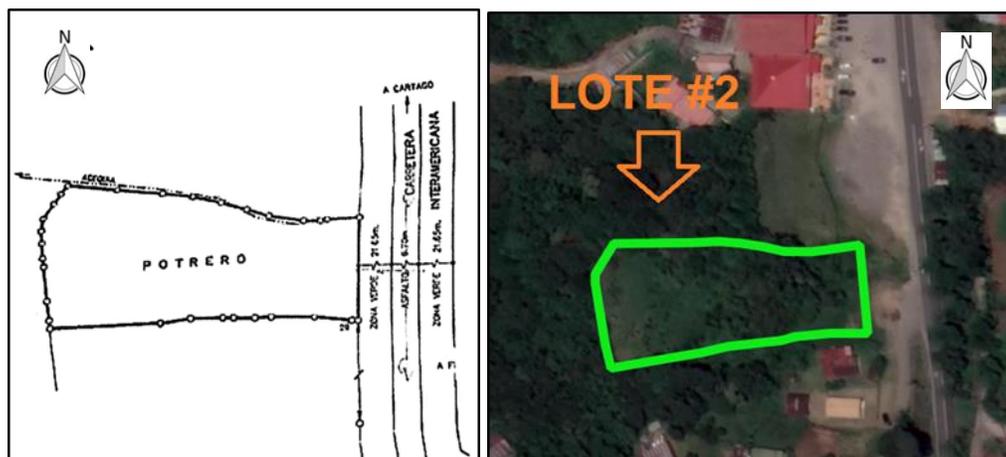
Dado el bajo nivel de la mayor parte del área respecto al frente de vía pública, el terreno es propenso a captar aguas pluviales provenientes de la vía pública, las cuales ingresan y se canalizan por una acequia intermitente que fluye cerca del lindero Noreste (Figura 59). Esta condición de bajo nivel imposibilita el escurrimiento natural del terreno hacia el frente de la propiedad.

El acceso se realiza directamente desde la Ruta Nacional 2, donde la calle pública se encuentra provista de servicios urbanísticos como cordón de caño y alcantarillado. La calle pública dispone de base asfáltica y se mantiene en buen estado de mantenimiento.

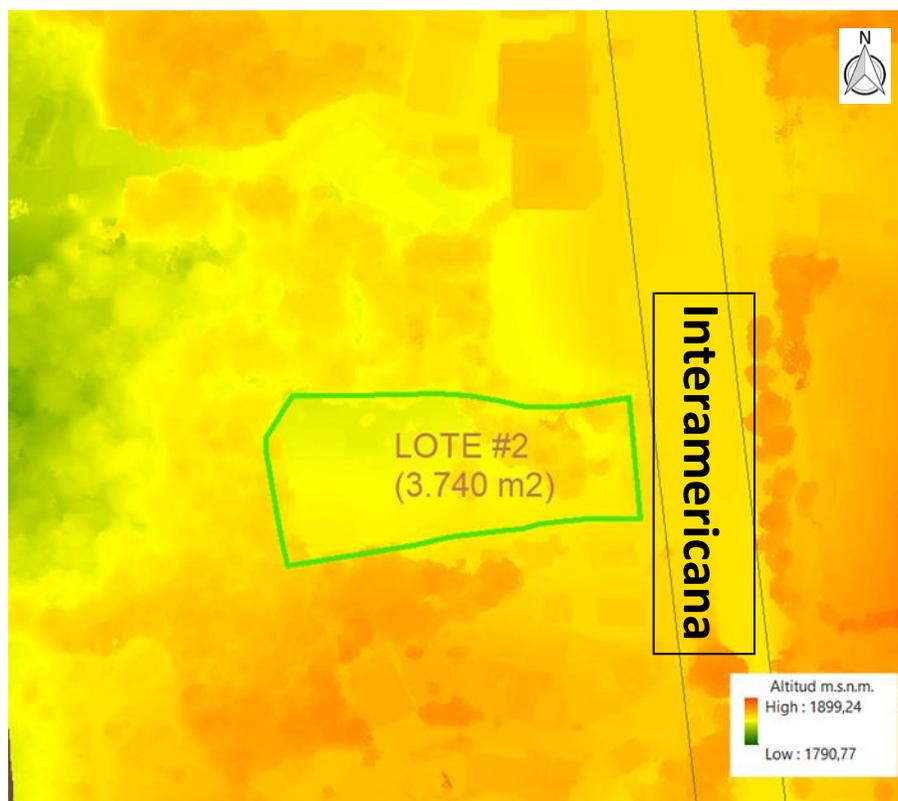
Tabla 5. Boleta de Inspección de campo con las características del terreno 2.

<b>TERRENO: 02</b>			
COORDENADAS DEL TERRENO:	X: -83°59'17.74"	Y: 09°46'21.90"	Z: 1884 m.s.n.m.
<b>VARIABLES A EVALUAR</b>			
TIPO DE ZONA:	RURAL	URBANA	INDIGENA
	COSTERA	FRONTERIZA	OTRO
COBERTURA ACTUAL:	BALDÍO/CHARRAL	PASTO	AGRICULTURA (_____)
	EDIFICACIONES	BOSQUE	MIXTO
CONFIGURACIÓN O FORMA:	CUADRADO	RECTÁNGULO	ROMBOIDE
	PENTÁGONO	TRIÁNGULO	POLIGONO IRREGULAR
TOPOGRAFÍA:	PLANO	ONDULADO	ONDULADO/ESCARPADO
	ESCARPADO	INTERVENIDO	MIXTO
NIVEL DEL ACCESO:	A NIVEL CON CALLE	SOBRE NIVEL (_____m)	SUBNIVEL (2-6m)
INCLINACIÓN DESDE EL FRENTE:	INCLINADO HACIA EL FONDO	INCLINADO HACIA EL FRENTE	INCLINADO AL LADO
PENDIENTE DESDE SU FRENTE:	ASCENDENTE	DESCENDENTE	SIN PENDIENTE (PLANO)
PENDIENTE PROMEDIO:	BAJA/PLANO (0-5%)	PLANO/MEDIA (5-15%)	MEDIA/ACCIDENTADA (15-30%)
	ALTA/MUY ACCIDENTADA (30-45%)	QUEBRADA (45-60%)	MUY QUEBRADA (+60%)
TIPO DE SUELO SUPERFICIAL:	LIMO/ARCILLA	ARENAS	GRAVAS
	ROCAMADRE	SUELO ORGÁNICO	RELLENO
FRENTE A CALLE PÚBLICA:	CALLE PÚBLICA (32 m)	SERVIDUMBRE: (_____m)	AMBAS: (_____m)
ACCESO PRINCIPAL:	POR SENDERO	POR SERVIDUMBRE	CALLE PÚBLICA DE LASTRE
	CALLE PÚBLICA DE ASFALTO	CALLE PRIVADA	FLUVIAL
TIPO DE CALLE:	TIERRA	PIEDRA DE RÍO	LASTRE
	ASFALTO	CONCRETO	ADOQUIN
TIPO DE VÍA:	PRIMARIA	SECUNDARIA	TERCIARIA
ELEMENTOS DE CALZADA:	CUNETAS	CORDON DE CAÑO	ALCANTARILLA
	ESPALDON	ACERA	SIN ELEMENTOS PRESENTES
ELEMENTOS VIALES:	SEÑALES VERTICAL/HORIZONTAL	SEÑALES LUMINOSAS	SIN ELEMENTOS PRESENTES
POSICIÓN:	ESQUINERO	MEDIAVERO	CUADRA COMPLETA
	EN LINEA SOBRE CALLE PÚBLICA	EN LINEA SOBRE SERVIDUMBRE	POR DEFINIR
SERVICIOS BÁSICOS DISPONIBLES:	AGUA POTABLE	SI (ASADA CASAMATA)	NO (MÉTODO DE ABASTECIMIENTO: _____)
	RED DE AGUAS PLUVIALES	SI	NO
	RED DE AGUAS NEGRAS	SI	NO
	ELECTRICIDAD:	SI	NO
	TELÉFONO	INTERNET	CABLE
	TRANSPORTE PÚBLICO	SI	NO
	RECOLECCIÓN DE BASURA	SI	NO (_____)
FOCOS DE CONTAMINACIÓN:	RELLENOS SANITARIOS	HOSPITALES	CEMENTERIOS
	TAJOS	FÁBRICAS	AEROPUERTOS
	GRANJAS/LECHERIAS	AGRICULTURA EXTENSIVA	TERMINALES MAQUINARIA PESADA
	PUERTOS	MALOS OLORES	PENITENCIARIAS
	CONTAMINACIÓN VISUAL	CONTAMINACIÓN SÓNICA	CONTAMINACIÓN DEL AIRE
	DESAGÜES	OTROS: (_____)	SIN CONTAMINANTES PRESENTES
SITUACIONES DE RIESGO:	SOLIFLUXIÓN	CÁRCAVAS	DESPLAZAMIENTOS
	DESPRENDIMIENTOS	VUELCOS	FLUJOS DE LODO
	PIÉ DE VACA	TALUDES	DECLIVES
	AMENAZA INUNDACIÓN RÍO	AMENAZA INUNDACIÓN LLUVIA	AMENAZA VOLCÁNICA
	LLUVIA ÁCIDA	CENIZAS	FALLAS
	POLIDUCTOS/ GASOLINERAS	LÍNEAS DE ALTO VOLTAJE	ANTENAS DE TRANSMISIÓN
	AUTOPISTAS	CURVAS PELIGROSAS	LÍNEAS DE TREN
	DELINCUENCIA	CANTINAS/BARES	SIN SITUACIONES DE RIESGO
RESTRICCIONES POSIBLES:	RÍO, QUEBRADA, EN ZONA RURAL (15m)	RÍO, QUEBRADA, EN ZONA URBANA (10m)	RÍO, QUEBRADA, EN ZONA DE PENDIENTE (50m)
	ACEQUIAS (5m)	CAUSES INTERMITENTES (5m)	LAGOS/EMBALSES (50m)
	NACIENTES CAPTADAS (200m)	NACIENTES NO CAPTADAS (100m)	POZOS (2 a 15m)
	SERVIDUMBRE O DUCTOS (10m)	SERVIDUMBRE ELÉCTRICA (6m)	SERVIDUMBRE AGUA (6m)
	RETIRO DE CALLE PÚBLICA	ZONA FRONTERIZA (2Km)	ZONA MARÍTIMO TERRESTRE (200m)
	HUMEDALES O MANGLARES	CABLES DE ALTA TENSIÓN	HIDRANTES
	LÍNEA DE TREN	CARRETERA NACIONAL	PLAN REGULADOR
	GEOFÍSICOS: (_____)	BIOCLIMÁTICOS: (_____)	SIN RETROS POSIBLES
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN:	RADIOCÉNTRICA	CUADRÍCULA	DESORDENADA
	LINEAL	DISPERSA	OTROS: (_____)
NIVEL SOCIOECONÓMICO DE LA ZONA:	BAJA	BAJA-MEDIA	MEDIA
	MEDIA-ALTA	ALTA	MIXTA
USO PREDOMINANTE EN LA ZONA:	RESIDENCIAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL
	INSTITUCIONAL	VALIDAD	AGRÍCOLA
	GANADERA	BOSQUE	MIXTA
DATO RECOLECTADO A PARTIR DEL SOBREVUELO VANT		ADAPTACION PROPIA, FUENTE: DIE-MEP.	
DATO NO DISPONIBLE CON SOBREVUELO VANT			

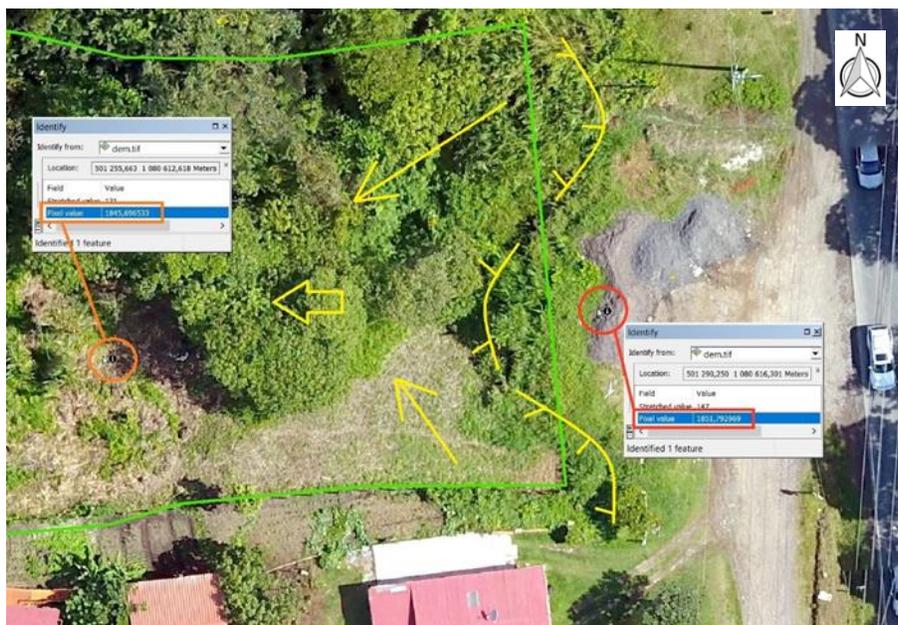
Fuente: Elaboración propia, 2020.



**Figura 57.** Propuesta de área para el terreno 2. **Fuente:** Elaboración Propia, 2020.



**Figura 58.** Modelo MDS para el terreno 2. **Fuente:** Elaboración Propia, 2020.



**Figura 59.** Ortomosaico con el análisis espacial para el terreno 2 delineado en verde. **Fuente:** Elaboración Propia, 2020.



**Figura 60.** Uso del suelo sobre el Ortomosaico para el terreno 2 delineado en verde. **Fuente:** Elaboración Propia, 2020.

#### **4.2.2.3 Frente a calle, cobertura de servicios y uso del suelo:**

El lindero Este conforma el frente a calle pública del terreno con 33 metros de ancho y es la única sección del lote que se encuentra a nivel de la calle pública.

El sector dispone de los servicios públicos básicos de electricidad, agua y telefonía fija. El transporte público, así como el camión recolector de basura prestan el servicio regularmente en la comunidad (Tabla 5).

El Ortomosaico muestra, con la sobreposición de linderos del plano catastrado, una cobertura forestal escasa y dispersa en la propiedad, la cual disminuye hasta conformar un claro en la vegetación, cerca del contrafrente del lote (Figura 60).

#### **4.2.2.4 Condiciones de Sanidad y Vulnerabilidad a los Desastres:**

En relación a la posible afectación de la propiedad por eventos naturales, según el Mapa de Amenazas Naturales Potenciales elaborado por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, el terreno no está asociado con ninguna variable de riesgo en el sector.

#### **4.2.2.5 Limitaciones de uso del suelo:**

En el frente Este del terreno se ubica un relleno de granulometría variable y sin contención, que se extiende por el espaldón de la Ruta Nacional 2. La presencia de rellenos no consolidados es una condición poco recomendable en los terrenos para el uso educativo.

Las pendientes internas son plano onduladas, no obstante, la topografía general limita el aprovechamiento de la propiedad para el desarrollo de infraestructura educativa.

Así mismo, parte del área en el lindero Noreste se ve restringida para uso debido a un posible retiro asociado al cauce intermitente que desfoga las aguas internas y que recorre ese sector. Por todo lo anterior, el segundo terreno propuesto no presenta utilidad para el uso educativo.

## **CAPÍTULO 5:**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

1. La metodología aplicada demuestra la utilidad y las ventajas de incorporar los VANT en tareas de inspección de terrenos para el desarrollo de infraestructura educativa pública, cumpliendo así con el objetivo general de la investigación.
2. Las condiciones geográficas, tanto en el lote escolar deslizado como en los terrenos propuestos para la reubicación del centro educativo, fueron estudiadas gracias a los insumos digitales que genera la propia metodología, en los tres procesos y ocho etapas que componen el flujo de trabajo.
3. Algunos elementos básicos a considerar en el desarrollo de centros educativos, como el riesgo y la vulnerabilidad de los terrenos, son objetivos claros en el reconocimiento de las misiones VANT. En el lote escolar deslizado, las inspecciones aéreas, las aplicaciones SIG y la bibliografía consultada permiten concluir la vulnerabilidad potencial del terreno escolar ante nuevos eventos de deslizamientos, incluso en las proximidades, donde se encuentran algunas viviendas habitadas. Esta vulnerabilidad aumenta en presencia de los factores disparadores del medio natural, por ejemplo, las intensas precipitaciones presentadas en el año 2017.
4. Por otra parte, los productos fotogramétricos, como la nube dispersa, la nube densa, el modelo *Mesh*, el Modelo de Elevación Digital y el Ortomosaico, destacan para complementar los análisis y criterios técnicos sobre la utilidad de los dos terrenos propuestos al MEP para el traslado del centro educativo. La valoración de estos inmuebles evidencia que las altas pendientes presentes, los rellenos no consolidados y el bajo nivel respecto a la vía pública son condiciones importantes para el desarrollo de infraestructura educativa, de manera que ambos terrenos no son conformes para el propósito que pretende la Administración y por lo tanto se recomienda descartarlos como opciones viables en el proceso.

5. Es notable el valor agregado que el uso de VANT aporta en las inspecciones técnicas de campo, maximizando el tiempo y los recursos administrativos, mientras favorece la producción de información digital en los sitios inspeccionados.

6. La metodología aplicada reconoce las siguientes ventajas de utilizar sobrevuelos con VANT en las inspecciones de terrenos:

- a) Reduce la exposición del personal en lugares de difícil acceso, áreas inestables, etc. aportando seguridad en el trabajo de campo.
- b) Genera productos informativos útiles para el análisis espacial de los terrenos, apoyando y fundamentando los procesos de toma de decisiones.
- c) En el plano económico, se perciben las ventajas solventando la necesidad de emplear aeronaves más grandes como aviones o satélites, para la realización de los vuelos fotogramétricos de baja altitud.

## 5.2 Recomendaciones

1. Valorar la implementación de esta metodología de inspección de terrenos, como una herramienta técnica disponible para fortalecer el desarrollo de proyectos de infraestructura educativa. Con el fortalecimiento de dicha herramienta incluso se pueden ampliar los alcances de las inspecciones VANT a otros objetivos y necesidades de la Administración en las diferentes etapas de las obras constructivas, como en el monitoreo de la infraestructura ya existente, por ejemplo.
2. Tramitar ante la DGAC el certificado de operaciones no comerciales con VANT para uso de la DIE y el MEP, las pólizas de seguros y el licenciamiento de los pilotos designados, todo ello en cumplimiento de la normativa vigente de aviación civil.
3. Realizar los estudios técnicos básicos o preliminares necesarios en los terrenos propuestos para el uso educativo durante la etapa de prefactibilidad, y antes de gestionar la compra de propiedades para el uso educativo. En ese sentido, los estudios básicos de ingeniería, geología, antropología, hidrología e hidrogeología son necesarios en los terrenos para sustentar técnicamente y de la mejor manera, la utilidad en los inmuebles propuestos para localizar nuevas obras de infraestructura educativa.
4. A los vecinos del terreno escolar deslizado en Casamata y al Comité Local de Emergencias, mantener una vigilancia activa y el monitoreo constante en las cercanías del sitio donde se suscitó la emergencia, evitando el ingreso de personas y vehículos, sobretodo en presencia de factores disparadores del medio natural, como las lluvias atípicas.
5. A los estudiantes, investigadores, profesionales y usuarios de VANT que deseen replicar esta aplicación metodológica, se les recomienda el levantamiento previo de puntos de control en el área del sobrevuelo, para obtener una mejor precisión en el procesamiento de los datos y el modelamiento del sitio inspeccionado.

## CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

Acosta, G., MacClung E., Jiménez G. y García V. (2017). *El empleo de fotogrametría mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT/drone) como herramienta de evaluación del patrimonio en riesgo: chinampas arqueológicas de Xochimilco*. Revista Española de Antropología Americana. (Volumen 47), pp. 185-197. Recuperado de: <https://revistas.ucm.es/index.php/REAA/article/view/61978>

Agisoft LLC. (2016). *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1. 2*. Recuperado de: [https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_2\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf)

Agisoft LLC. [Software] (2019). *Reporte de Laboratorio del vuelo fotogramétrico en Casamata*. [Archivo PDF].

Alaska Satellite Facility - ASF. (2019). *Modelo de Elevación Digital del Satélite ALOS PALSAR para región de Casamata*. Recuperado de: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>

Alaska Satellite Facility - ASF. (2020). *ALOS PALSAR*. <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/alos-palsar-about/>

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (1965). *Ley N° 3481. Ley Orgánica del Ministerio de Educación Pública*, del 13 de enero de 1965. Recuperado de:

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=6176&nValor3=6565&strTipM=TC#ddown](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=6176&nValor3=6565&strTipM=TC#ddown)

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (1996). *Ley N° 7575. Ley Forestal*, del 05 de febrero de 1996. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC)

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (1998). *Ley N° 7779. Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelo*, del 30 de mayo de 1998. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=26421&nValor3=93194&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=26421&nValor3=93194&strTipM=TC)

Asociación Española de RPAS – AERPAS. (2020). Ilustración de los tipos de drones clasificados por ala rotatoria. [Imagen]. Recuperado de: <https://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/>

Asociación Española de RPAS – AERPAS. (2020). Ilustración del Phantom 4 Std. [Imagen]. Recuperado de: <https://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/>

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos – CFIA. (2016). *GUÍA DE NORMATIVA Y CONSIDERACIONES APLICABLES A LA CONSTRUCCION*. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/electronicaindustrial94/guia-normativa2016>

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias - CNE. (s.f.). *AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL CANTON DE EL GUARCO*. Recuperado de: [https://cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/mapas\\_amenazas/mapas\\_de\\_amaneza/cartago/EI%20Guarco%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf](https://cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/mapas_de_amaneza/cartago/EI%20Guarco%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf)

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias - CNE. (s.f.). *Deslizamientos, Inundaciones, Sismos*. Imprenta Universal S.A. San José, Costa Rica. Recuperado de: [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/informacion\\_educativa/recomentaciones\\_consejos/documentos/Folleto\\_Deslizamientos.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomentaciones_consejos/documentos/Folleto_Deslizamientos.pdf)

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias - CNE (2020). *¿Qué es un derrumbe o deslizamiento?* Recuperado de: [https://cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/informacion\\_educativa/recomentaciones\\_consejos/derrumbe.aspx](https://cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomentaciones_consejos/derrumbe.aspx)

Consejo Superior de Educación - CSE (2012). *Política de infraestructura educativa*. Recuperado de: [http://cse.go.cr/sites/default/files/acuerdos/circular\\_dm-013-05-2012\\_politica\\_infraestructura.pdf](http://cse.go.cr/sites/default/files/acuerdos/circular_dm-013-05-2012_politica_infraestructura.pdf)

Decreto Ejecutivo N° 23214-MAG-MIRENEM. *Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras en Costa Rica*. 13 de abril de 1994. Recuperado de:

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=17871&nValor3=69087&nValor5=208543&strTipM=FA](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=17871&nValor3=69087&nValor5=208543&strTipM=FA)

Decreto Ejecutivo N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC. *Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)*, del 24 de mayo del 2004. Recuperado de:

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=56274](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=56274)

Decreto Ejecutivo N°32712-MINAE. *Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA)-Parte II*, del 19 de julio del 2005. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=56274](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=56274)

Decreto Ejecutivo N°32967-MINAE. *Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA)-Parte III*, del 20 de febrero del 2006. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=57062&nValor3=72443&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=57062&nValor3=72443&strTipM=TC)

Decreto Ejecutivo N°38170-MEP. *Decreto Ejecutivo N° 38170-MEP, Organización Administrativa de las Oficinas Centrales del Ministerio de Educación Pública*, del 13 de febrero del 2014. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=76554](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=76554)

Decreto Ejecutivo N°40677-MP. *Declara estado de emergencia nacional la situación provocada por la Tormenta Tropical Nate*, del 5 de octubre del 2017. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84937&nValor3=109726&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84937&nValor3=109726&strTipM=TC)

Decreto Ejecutivo N°41103-MEP. *Reglamento de requerimientos de diseño arquitectónico sobre edificios para la educación pública y privada en Costa Rica*, del 31 de mayo del 2018. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86618&nValor3=112469&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86618&nValor3=112469&strTipM=TC)

Decreto Ejecutivo N° 42488-MEP. *Reforma a Organización administrativa de las oficinas centrales del Ministerio de Educación Pública*, del 05 de agosto del 2020. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=92092&nValor3=121820&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=92092&nValor3=121820&strTipM=TC)

Dirección General de Aviación Civil - DGAC. (2020). “*DIRECTIVA OPERACIONAL DO-001-OPS-RPAS: OPERACIONES CON SISTEMAS DE AERONAVE PILOTEADA A DISTANCIA (RPAS)*”. San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2020/12/Modificacion-DO-001-OPS-RPAS-26-de-nov-2020-PRA.pdf>

DJI (2020). *Phantom 4 Specs*. Recuperado de: <https://www.dji.com/phantom-4/info>

DroneDeploy (2020). *Measurement Accuracy of the DJI Phantom 4 RTK & Photogrammetry*. Recuperado de: [https://dronedeploy-www.cdn.prismic.io/dronedeploy-www%2Fb9c899fc-e093-4c3b-ae31-8dcbbd4a08ac\\_dji\\_phantom\\_4\\_rtk\\_book\\_f4.pdf](https://dronedeploy-www.cdn.prismic.io/dronedeploy-www%2Fb9c899fc-e093-4c3b-ae31-8dcbbd4a08ac_dji_phantom_4_rtk_book_f4.pdf)

Escuela Casamata (2020). Censo de matrícula de los años 2018, 2019 y 2020. Oficina de la Dirección de la Escuela Casamata, Cartago, Costa Rica. [Archivo PDF].

Environmental Systems Research Institute - ESRI (2020). *ArcGIS Desktop 10.5 Help: Geostatistical Analyst*. Recuperado de: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/geostatistical-analyst-toolbox/an-overview-of-the-geostatistical-analyst-toolbox.htm>

Environmental Systems Research Institute - ESRI (2020). *ArcGIS Pro 2.8 Help: Cómo funciona Pendiente*. [Imagen]. Recuperado de: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-slope-works.htm>

Environmental Systems Research Institute - ESRI (2020). *ArcGIS ArcMap 10.8 Help: Representación cartográfica de ortofotos con datasets de mosaico*. [Imagen]. Recuperado de: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/ortho-mapping-overview.htm>

Environmental Systems Research Institute - ESRI (2020). *ArcGIS Pro 2.8 Help: Explorar modelos digitales de elevación*. [Imagen]. Recuperado de: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/exploring-digital-elevation-models.htm>

Instituto Costarricense de Turismo - ICT. (s.f.) *Plan de desarrollo turístico zona de Los Santos 2012-2016: Cantones de Tarrazú, Dota, León Cortés. Provincia de San José*. Recuperado de: <https://www.ict.go.cr/es/documentos-institucionales/plan-nacional-y-planes-generales/planes-generales-por-unidad-de-planeamiento/valle->

central/sector-zona-de-los-santos/documentos-2/128-pgut-sector-zona-de-los-santos/file.html

Instituto Costarricense de Turismo ICT. (s.f.) *Plan de desarrollo turístico de Unidad Valle Central – Sector Cartago*. Recuperado de: <https://www.ict.go.cr/es/documentos-institucionales/plan-nacional-y-planos-generales/planes-generales-por-unidad-de-planeamiento/valle-central/sector-cartago/115-pgut-sector-cartago/file.html>

Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo - INVU. (1982) *Reglamento de Construcciones*. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=53161&nValor3=57866&nValor5=12&strTipM=FA](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=53161&nValor3=57866&nValor5=12&strTipM=FA)

Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo - INVU. (2018) *Reglamento de Construcciones*. Recuperado de: <https://www.invu.go.cr/documents/20181/33489/Reglamento+de+Construcciones>

Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA. (2020). *Advanced Land Observing Satellite "DAICHI" (ALOS)*. Recuperado de: <https://global.jaxa.jp/projects/sat/alos/>

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LANAMME - UCR. (2004). *Evaluación de la Susceptibilidad a Deslizamientos de la Ruta Nacional 2 Carretera Interamericana Sur Tramo San Isidro de Cartago – San isidro de Pérez Zeledón. (Informe Final)*. Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1658/Informe%20final%20Evaluaci%3%b3n%20de%20la%20susceptibilidad%20de%20Deslizamientos%20de%20la%20Ruta%20Nacional%20No.2%20carretera%20Interamericana%20Sur%20tramo%20San%20Isidro%20de%20Cartago%20-%20San%20Isidro%20P%3%a9rez%20Zeled%3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LANAMME - UCR. (2017). *Vehículos Aéreos No Tripulados del LANAMME UCR: Una herramienta multidisciplinaria adaptada para todo tipo de condiciones al servicio del país*. (Boletín técnico 8, N° 4. PITRA – LANAMME UCR). Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/911/Boletin%204-%20Vehiculos%20aereos%20no%20tripulados.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. (1997). Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras. [Mapa]. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/MC09.pdf>

Ministerio de Ambiente y Energía MINAE-IMN. (2017). *Climatología general del cantón El Guarco: Provincia de Cartago*. Recuperado de: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/DescripciondelClimaSERIE/DescripcionClimaCantonElGuarco/offline/download.pdf>

Ministerio de Educación Pública – MEP. (2012). *Compendio de Normas y Recomendaciones para la construcción de edificios para la educación (DIEE-MEP)*. Recuperado de: [http://die.mep.go.cr/sites/all/files/diee\\_mep\\_go\\_cr/preguntas-frecuentes/compendio\\_normas\\_edificios\\_para\\_educacion.pdf](http://die.mep.go.cr/sites/all/files/diee_mep_go_cr/preguntas-frecuentes/compendio_normas_edificios_para_educacion.pdf)

Ministerio de Educación Pública – MEP. (2016). *MEP culmina la primera fase del proyecto de inventario nacional de infraestructura educativa*. Recuperado de: <https://www.mep.go.cr/noticias/mep-culmina-primera-fase-proyecto-inventario-nacional-infraestructura-educativa>.

Ministerio de Educación Pública – MEP. (2017). FICHA DE EVALUACIÓN POST DESASTRE DE LA SEGURIDAD DE EDIFICACIONES. Programa de Atención de Emergencias de la Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo - DIEE. [Imagen]. San José, Costa Rica.

Ministerio de Hacienda – MH. (2015). “Factores de Afectación usados por el VALORA”. San José, Costa Rica. Recuperado de: [https://www.hacienda.go.cr/docs/559ab74e6bd0e\\_METODO%20VALORACION%200NT.pdf](https://www.hacienda.go.cr/docs/559ab74e6bd0e_METODO%20VALORACION%200NT.pdf)

Montero, W., Linkimer, L. y Rojas, W. (2016). *El sistema de Falla Navarro: Desplazamientos izquierdos a lo largo del Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica*. Revista Geológica de América Central, 55: 71-100, 2016. DOI: 10.15517/rgac.v55i0.27062

Mora, A. R. (2017). *Informe ejecutivo. Evaluación de deslizamientos para la Comisión Nacional de Emergencias (Tormenta NATE)*. Escuela Centroamericana de Geología. San José, Costa Rica.

Municipalidad de El Guarco. (2014). *Plan Regulador Parcial del cantón de El Guarco*. Cartago, Costa Rica. Recuperado de: <http://muniguarco.go.cr/index.php/descargas/79-gestion-de-desarrollo-urbano>

Real Academia Española RAE. (2018). *Diccionario de la lengua española*. Recuperado de: <https://www.rae.es/>

Red Sismológica Nacional RSN. (03 de julio de 2014). *Falla Aguacaliente*. San José, Costa Rica. RSN UCR-ICE. Recuperado de: <https://rsn.ucr.ac.cr/component/content/article/57-sismologia/fallas-activas2/2147-falla-aguacaliente?Itemid=225>

Red Sismológica Nacional RSN. (02 de octubre de 2014). *Falla Navarro*. San José, Costa Rica. RSN UCR-ICE. Recuperado de: <https://rsn.ucr.ac.cr/component/content/article/99-actividad-sismica/fallas-activas-ii/2616-falla-navarro?Itemid=225>

Red Sismológica Nacional RSN. (06 de octubre de 2015). *Falla Cangreja*. San José, Costa Rica. RSN UCR-ICE. Recuperado de: <https://rsn.ucr.ac.cr/component/content/article/57-sismologia/fallas-activas2/4991-falla-cangreja?Itemid=225>

Red Sismológica Nacional RSN. (20 de octubre de 2015). *Falla Frailes-Pirris-Pangolín*. San José, Costa Rica. RSN UCR-ICE. Recuperado de: <https://rsn.ucr.ac.cr/component/content/article/57-sismologia/fallas-activas2/5039-falla-frailes-pirris-pangolin?Itemid=225>

Santamaría, J. & Sáenz T. (2011). *Fundamentos de Fotogrametría*. Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones. España.

Santos, D. (2014) *Fotogrametría usando plataforma aérea UAV (Unnamed Aerial Vehicle)*. Proyecto de fin de carrera en Ingeniería Técnica en Topografía. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/41806759.pdf>

Shutterstock. (2020). Ilustración del modelo 3D Mesh. [Imagen]. Recuperado de: <https://www.shutterstock.com/es/image-vector/abstract-digital-landscape-wireframe-3d-background-1302210715>

Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). (2020). *Infraestructura Nacional de Datos Espaciales de Costa Rica*. Recuperado de: [www.snitcr.go.cr](http://www.snitcr.go.cr)

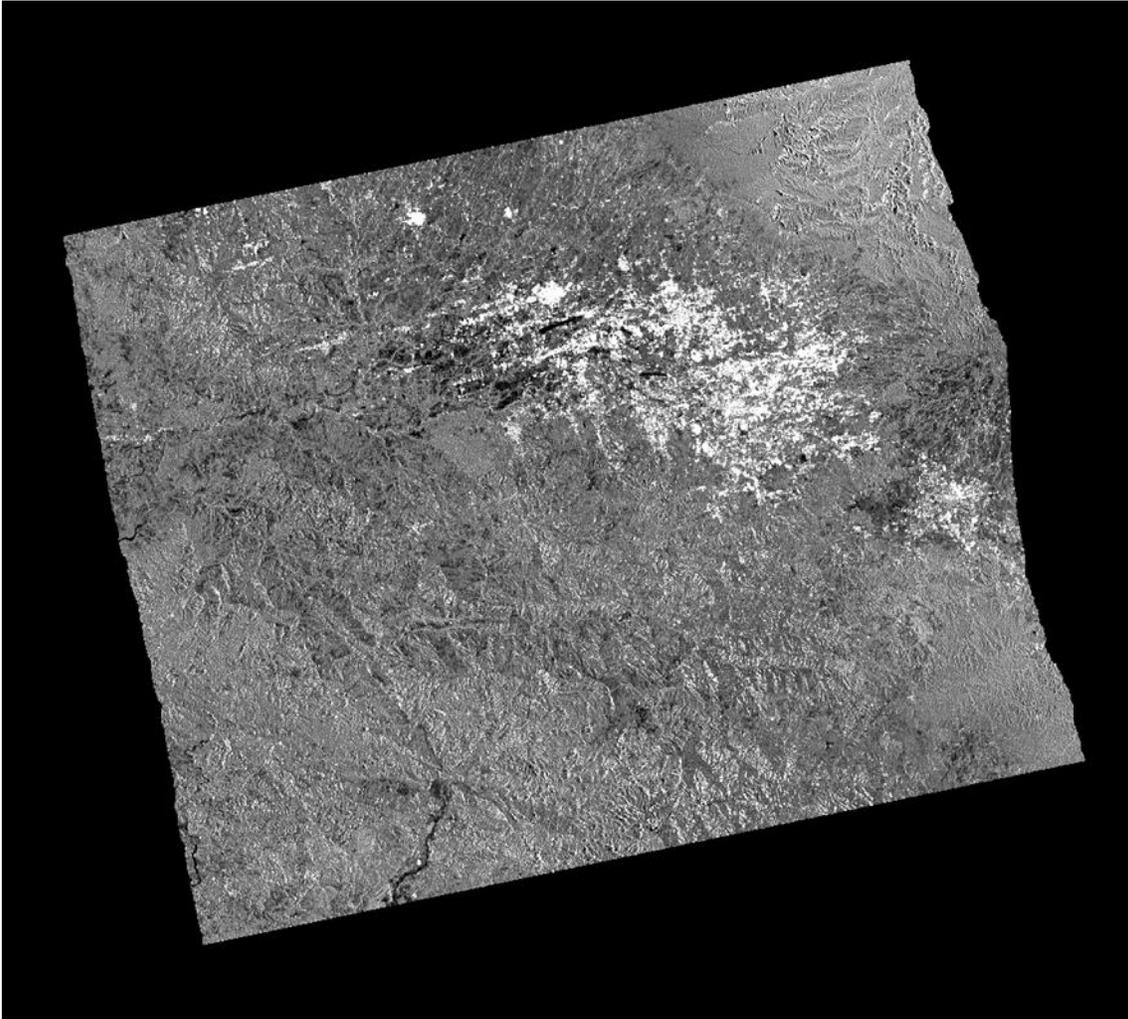
Sojo, D., Denyer, P., Gazel, E. y Alvarado, G. E. (2017). Geología del cuadrante Tapantí (1:50 000), Costa Rica [Mapa]. *Revista Geológica de América Central* 56: 83-116, DOI: 10.15517/RGAC.V0I56.29238

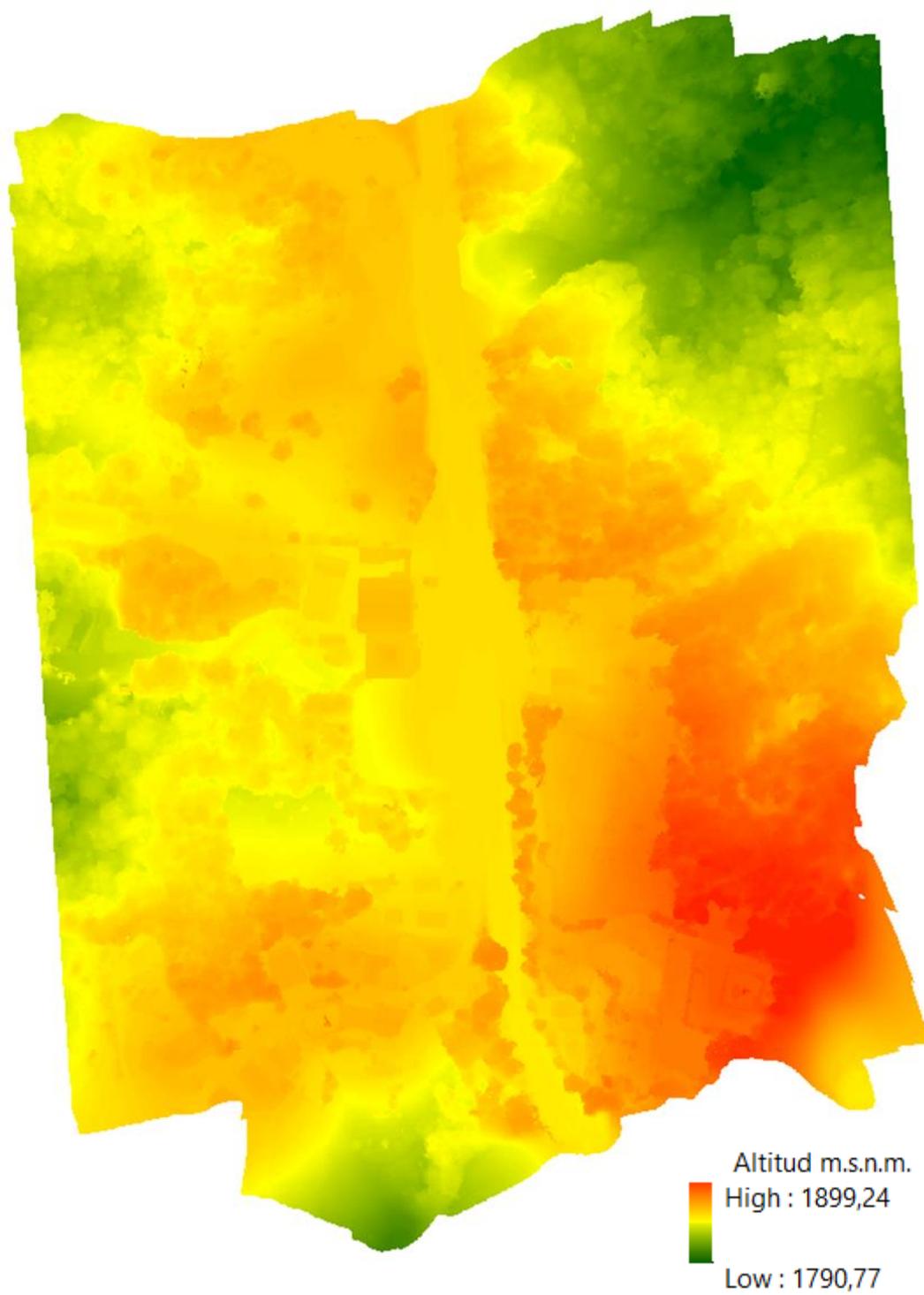
Tecnológico de Costa Rica TEC. (2014) *Atlas de Costa Rica 2014*. Repositorio TEC. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6749?show=full>

Tomlinson, R. (2008). *Pensando en el SIG: Planificación del Sistema de Información Geográfica Dirigida a Gerentes*. Tercera Edición: ESRI Press.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Modelo Elevación Digital del Satélite ALOS PALSAR para la región de Casamata. AP\_26477\_FBS\_F0180\_RT1



**Anexo 2.** Modelo Digital de Superficie (MDS) para el vuelo fotogramétrico en Casamata

**Anexo 3.** Ortomosaico del vuelo fotogramétrico en Casamata



**Anexo 4.** Reporte de Laboratorio del vuelo fotogramétrico en Casamata

# **Reporte de Laboratorio**

**Casamata**  
**14 October 2019**



## Survey Data

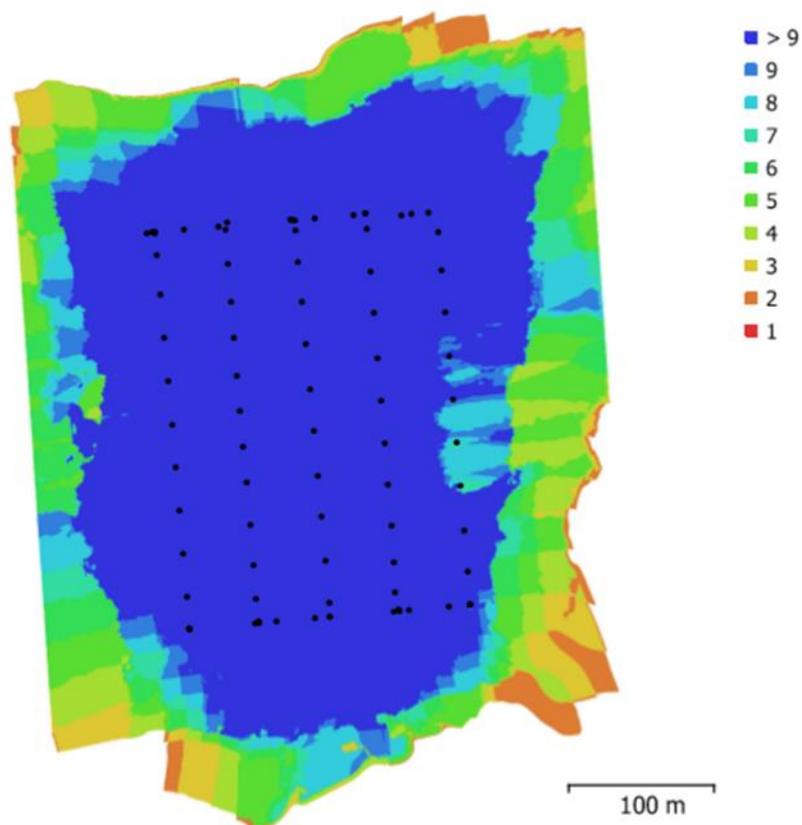


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	84	Camera stations:	84
Flying altitude:	134 m	Tie points:	64,358
Ground resolution:	4.81 cm/pix	Projections:	244,833
Coverage area:	0.187 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	0.671 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC330 (3.61 mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 $\mu\text{m}$	No

Table 1. Cameras.

## Camera Calibration

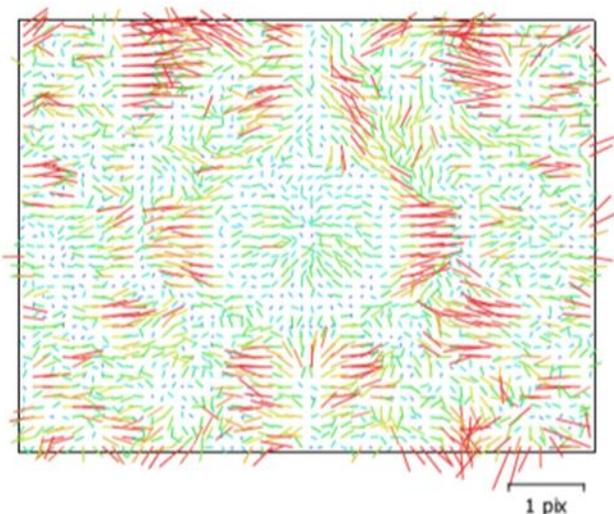


Fig. 2. Image residuals for FC330 (3.61 mm).

### FC330 (3.61 mm)

84 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
<b>Frame</b>	<b>4000 x 3000</b>	<b>3.61 mm</b>	<b>1.56 x 1.56 <math>\mu\text{m}</math></b>

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
<b>F</b>	<b>2444.85</b>	3.8	1.00	-0.71	0.60	-0.31	-0.01	0.05	-0.22	0.36	-0.47	-0.05	-0.15	-0.06	0.08
<b>Cx</b>	<b>-22.4219</b>	0.066		1.00	-0.46	0.13	0.08	-0.08	0.19	-0.27	0.35	0.44	0.12	0.06	-0.06
<b>Cy</b>	<b>5.80417</b>	0.055			1.00	-0.25	-0.10	0.03	-0.13	0.21	-0.28	-0.03	0.29	0.02	0.01
<b>B1</b>	<b>-2.64078</b>	0.0094				1.00	0.01	0.02	0.05	-0.09	0.13	0.00	0.08	0.04	-0.05
<b>B2</b>	<b>-0.0130968</b>	0.0084					1.00	-0.02	0.01	-0.01	0.01	0.02	-0.01	-0.00	0.00
<b>K1</b>	<b>-0.00265854</b>	0.00018						1.00	-0.68	0.62	-0.57	-0.19	0.03	-0.03	0.04
<b>K2</b>	<b>-0.016239</b>	0.00046							1.00	-0.98	0.93	0.06	0.04	0.00	-0.00
<b>K3</b>	<b>0.0263128</b>	0.00069								1.00	-0.98	-0.05	-0.06	-0.01	0.01
<b>K4</b>	<b>-0.0136233</b>	0.00036									1.00	0.05	0.08	0.02	-0.02
<b>P1</b>	<b>-0.000287787</b>	7.3e-06										1.00	0.30	0.37	-0.32
<b>P2</b>	<b>-0.000808925</b>	1e-05											1.00	0.71	-0.61
<b>P3</b>	<b>-0.666147</b>	0.023												1.00	-0.96
<b>P4</b>	<b>0.381713</b>	0.021													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Locations

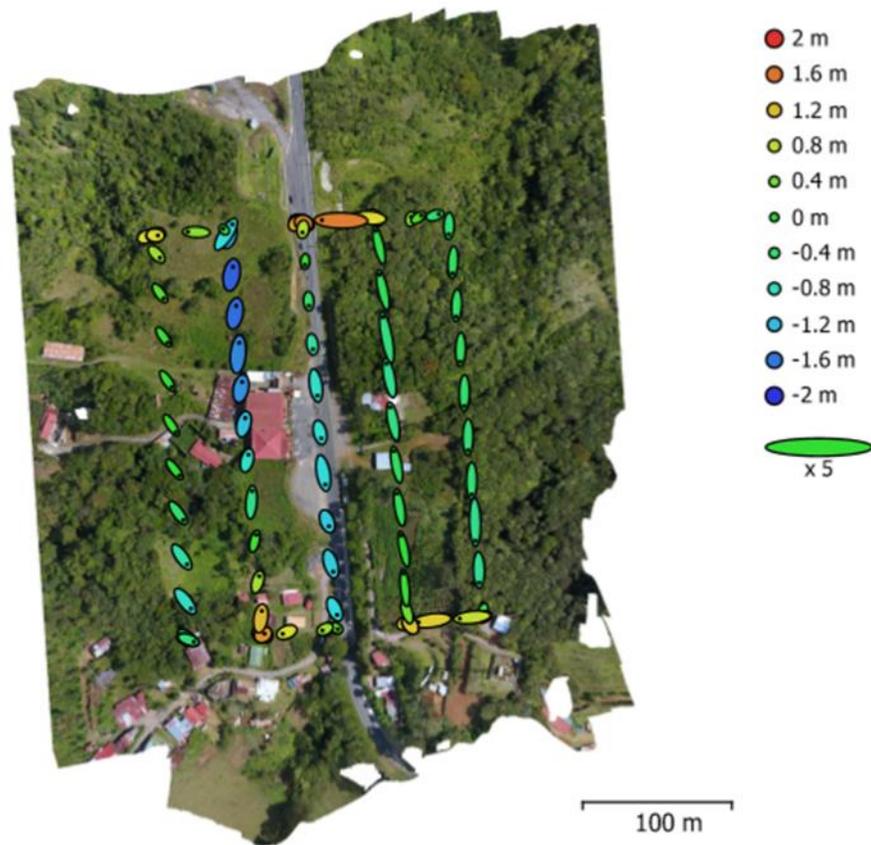


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.  
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.09994	2.11599	0.830452	2.3848	2.52526

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

## Digital Elevation Model

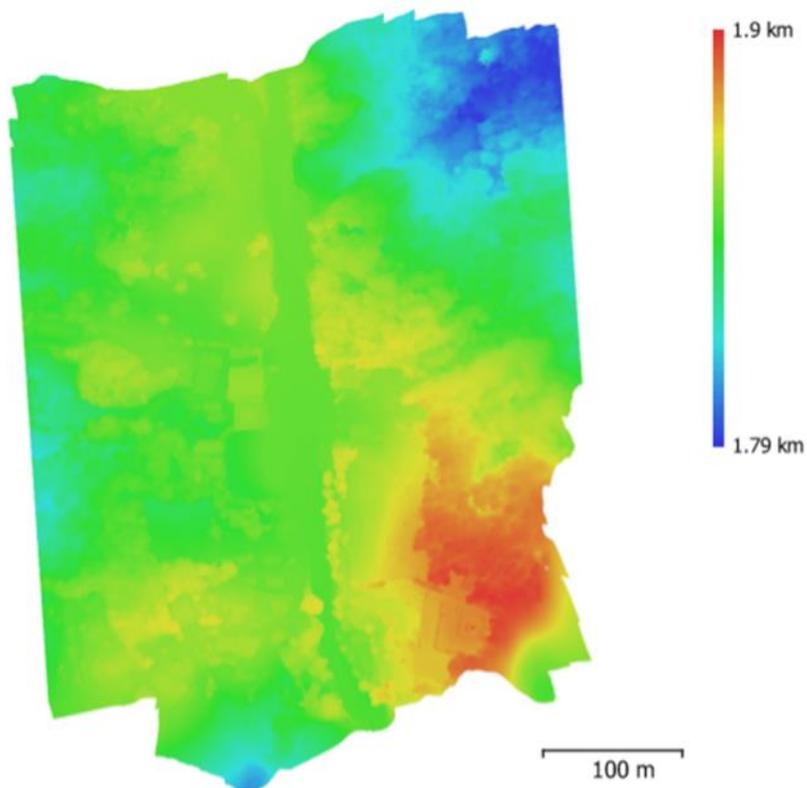


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 4.81 cm/pix  
Point density: 433 points/m<sup>2</sup>

# Processing Parameters

## General

Cameras	84
Aligned cameras	84
Coordinate system	CR05 / CRTM05 (EPSG::5367)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

## Point Cloud

Points	64,358 of 75,074
RMS reprojection error	0.339161 (0.671196 pix)
Max reprojection error	2.24292 (23.0459 pix)
Mean key point size	2.10744 pix
Effective overlap	4.16348

## Alignment parameters

Accuracy	Highest
Generic preselection	No
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Matching time	6 minutes 17 seconds

## Optimization parameters

Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Fit rolling shutter	No
Optimization time	8 seconds

## Dense Point Cloud

Points	104,888,075
--------	-------------

## Reconstruction parameters

Quality	Ultra High
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	48 minutes 13 seconds
Dense cloud generation time	2 hours 49 minutes

## DEM

Size	9,092 x 12,435
Coordinate system	CR05 / CRTM05 (EPSG::5367)

## Reconstruction parameters

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	3 minutes 34 seconds

## Orthomosaic

Size	8,721 x 11,734
Coordinate system	CR05 / CRTM05 (EPSG::5367)
Channels	3, uint8

## Reconstruction parameters

Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Processing time	2 minutes 26 seconds

## Software

Version	1.4.0 build 5076
Platform	Windows 64