



Instituto Colombiano de
Antropología e Historia



La cultura
es de todos

Mincultura

PROTOCOLO SENSORES REMOTOS ICANH

2021

RESUMEN

El presente documento expone el protocolo de sensores remotos aplicados en intervenciones arqueológicas y los insumos metodológicos necesarios para generar, a partir del procesamiento digital de imágenes espaciales y geofísicas, nueva información arqueológica y patrimonial en un proyecto de arqueología a nivel nacional. Este protocolo es resultado de un proceso de revisión de metodologías nacionales e internacionales y de las técnicas utilizadas en las actividades de intervenciones arqueológicas de diagnóstico y prospección para la generación de información sobre sitios con posible potencial arqueológico de interés para el ICANH. También se consideraron una serie de pruebas metodológicas que permiten establecer las opciones técnicas más convenientes para el desarrollo de un sistema de sensores remotos aplicables para la identificación de contextos arqueológicos en Colombia.

Acorde con lo anterior, es posible generar información confiable sobre las técnicas de sensores remotos a nivel nacional, regional y local que se requieren para la utilización de un amplio conjunto de datos de diversos tipos y orígenes, desde estudios de campo hasta el procesamiento y análisis de datos. Generar estos conjuntos de datos es posible a través de una estrategia que utilice las imágenes de sensores remotos disponibles (imágenes de sensores ópticos e imágenes de radar) de una forma coherente, transparente, exhaustiva, completa, precisa y comparable.

De acuerdo con los recientes avances de las tecnologías en materia de sensores remotos aplicados a la arqueología, cada país debe actualizar y construir las capacidades necesarias para determinar y proteger su patrimonio material. Adicionalmente, la implementación de la estrategia para la arqueología preventiva debe contemplar el diseño y la puesta en marcha de un sistema de Diagnóstico,

Monitoreo, Reporte y Verificación, tanto para el sector arqueológico como para los otros que requieran este tipo de información.

Estas metodologías se han incluido para servir de insumo para el levantamiento de información, dependiendo de las necesidades que requiere cada proyecto. Esto ha permitido su validación y ajuste frente a los inconvenientes que se puedan presentar en su aplicación en un contexto nacional. No obstante, debe notarse que este tipo de documentos deben estar en continua revisión y actualización debido a los constantes cambios tecnológicos que se presentan.

Finalmente, el protocolo busca ser una guía para la obtención y entrega de los datos levantados a partir del uso de estas tecnologías no intrusivas en el marco de los proyectos que así lo requieran.

Contenido

PROTOCOLO SENSORES REMOTOS ICANH	1
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN.....	5
MARCO NORMATIVO	7
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	8
1. SENSORES REMOTOS APLICADOS EN ARQUEOLOGÍA	9
1.1. DEFINICIONES	9
1.2. SENSORES REMOTOS O TELEDETECCIÓN	10
1.3. SENSORES REMOTOS GEOFÍSICOS.....	17
• Configuración del georradar	18
• Tipos de antena.....	19
• Metodología	20
• Puntos de control y cuadrículas de la prospección	21
• Procesamiento de datos	21
• Planificación previa al trabajo de campo.....	22
• Configuración del perfilador	23

• Metodología	23
• Puntos de control y cuadrículas de la prospección	24
• Procesamiento de datos	25
1.4. SENSORES GEOFÍSICOS MAGNÉTICOS.....	25
• Planificación previa al trabajo de campo.....	25
• Configuración	26
• Metodología	26
• Puntos de control y cuadrículas de la prospección	27
• Procesamiento de datos	27
1.5. SENSORES GEOFÍSICOS GEOELÉCTRICOS.....	28
• Planificación previa al trabajo de campo.....	28
• Configuración	28
• Metodología	29
• Puntos de control y cuadrículas de la prospección	29
• Procesamiento de datos	29
2. CONTEXTOS ARQUEOLÓGICOS EN LOS QUE SE ESPERA LA UTILIZACIÓN DE SENSORES REMOTOS.....	30
2.1. Contextos con superficies duras.....	30
2.2. Registro de estructuras o de patrimonio inmueble.....	30
2.3. Contextos con sistemas de canales y camellones.....	31
2.4. Contextos generales	31
3. APLICACIÓN DE SENSORES EN EL MARCO DE LOS PROGRAMAS DE ARQUEOLOGÍA PREVENTIVA (PAP).....	32
3.1. APLICACIÓN DE SENSORES EN CONTEXTOS CON SUPERFICIES DURAS, CONTEXTOS CON SISTEMAS DE CANALES Y CAMELONES Y CONTEXTOS GENERALES.....	32
3.2. APLICACIÓN DE SENSORES PARA EL REGISTRO DE ESTRUCTURAS O PATRIMONIO INMUEBLE	35
• Fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico	37
3.3. APLICACIÓN DE SENSORES EN EL MARCO DE UNA AUTORIZACIÓN DE INTERVENCIÓN ARQUEOLÓGICA	37
• Informe de prospección	38

4. ROCEDIMIENTO PARA LOS CASOS DE HALLAZGOS FORTUITOS.....	40
4.1. Documentación en campo ante el hallazgo cuando se utilizan UAV	41
4.2. Documentación en campo ante el hallazgo cuando se utilizan sensores geofísicos:	42

INTRODUCCIÓN

Desde la aplicación de los sensores remotos en el campo de la geología o de la ingeniería con fines de investigación, especialmente en las últimas cinco décadas, se han venido implementado tecnologías no intrusivas en el estudio de los materiales y contextos de carácter arqueológico. Estas opciones van desde fotografías aéreas de alta resolución hasta imágenes de satélite de baja y moderada resolución (AVHRR, MODIS, Landsat, IRS y Spot, entre otros) y técnicas geofísicas como geoeléctricas, electromagnéticas y magnéticas, que se han constituido en un insumo que juega un importante rol en el diagnóstico, la prospección, la conservación, los hallazgos fortuitos, el monitoreo y la generación de información arqueológica a diferentes niveles.

De igual forma, los avances informáticos han permitido la generación de nuevas herramientas tecnológicas (*software* y *hardware*) que incrementan las capacidades de almacenamiento y velocidad en el cómputo, lo que permite el uso generalizado de las imágenes de sensores remotos. Especialmente a nivel nacional, su uso ha impuesto el reto de diseñar e implementar sistemas de monitoreo operativamente viables.

La planeación de cada uno de los proyectos que actualmente se ejecutan en el país carece de unos lineamientos claros en cuanto al uso de diferentes técnicas y la aplicación de las metodologías que se emplean en el campo de la arqueología a nivel internacional. Campos de aplicación como el análisis de coberturas, los

cambios en el uso de los suelos y los análisis de grandes extensiones de terreno se vuelven cada vez más relevantes en la investigación, gestión y planificación de los proyectos arqueológicos y patrimoniales.

No es frecuente la ubicación de sitios arqueológicos con presencia de estructuras de carácter monumental que puedan ser identificados a través de sensores remotos, debido a que la forma, el tamaño y la densidad de los materiales de los contextos nacionales son principalmente del tipo cerámico, rasgos, artefactos, líticos, huellas de poste, estructuras funerarias y caminos, lo que supone un reto para la aplicación de estos métodos y técnicas en Colombia.

El Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) plantea un mínimo de requerimientos para la aplicación de metodologías remotas, usos y aplicaciones que se ajusten a los proyectos de arqueología a nivel nacional en los cuales se lleve a cabo cualquier tipo de intervención arqueológica, como la fase de diagnóstico y la prospección, los hallazgos fortuitos, el monitoreo o el rescate que requieran la aplicación de sensores remotos. Esto con el fin de contribuir con nuevas alternativas de muestreo arqueológico que permitan la identificación, la medición y el análisis de los vestigios expuestos y depositados en un área determinada.

Es necesario dejar en claro que dichas metodologías no intrusivas no sustituyen los otros tipos de muestreo que permiten identificar claramente sitios arqueológicos, como pozos de sondeo, barrenos, excavaciones, recolección superficial, entre otros. Por el contrario, invita a la incorporación de metodologías de manera complementaria entre diversos tipos de sensores o con otras de carácter intrusivo.

MARCO NORMATIVO

El Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), adscrito al Ministerio de Cultura, es un establecimiento público de orden nacional, máxima autoridad en la protección del Patrimonio Arqueológico de la Nación: *“...es la única entidad facultada por las disposiciones legales para aplicar el régimen de manejo del patrimonio arqueológico tanto en el nivel nacional, como en los diferentes niveles territoriales”* (Ley 397 de 1997, Ley 1185 de 2008, Decreto 763 de 2009 y Decreto 1080 de 2015).

En consonancia con lo establecido en el Artículo 5° de la Ley 397 de 1997, en el Artículo 5° del Decreto 833 de 2002 y en el Artículo 1° de la Ley 1185 de 2008, que define como objetivos de la política nacional, en relación con el patrimonio cultural de la nación, la protección, la conservación, la sostenibilidad y la divulgación de dicho patrimonio como testimonio de la identidad cultural nacional y con importancia histórica, científica, artística y simbólica, en este marco legal el ICANH establece los lineamientos para el manejo de los bienes arqueológicos que permitan asegurar las condiciones adecuadas para la investigación, el análisis, la conservación, el mantenimiento y la difusión del patrimonio arqueológico del país.

Que el artículo Tercero del Decreto 138 de 2019 ha dispuesto que el ICANH debe ajustar sus procedimientos para dar cumplimiento a lo establecido en dicha norma, y expedir los términos de referencia y protocolos que regulen el trámite del Programa de Arqueología Preventiva.

ARTÍCULO TERCERO. *Ajuste de procedimientos, términos de referencia y protocolos. ICANH deberá ajustar sus procedimientos de conformidad con lo establecido en el presente Decreto. También deberá expedir los términos de referencia y protocolos que regulen el trámite del Programa Arqueología Preventiva en un plazo no mayor de (06) meses, contados a partir de la publicación*

del presente Decreto. Mientras los términos referencia son expedidos seguirá presentándose la información y tramitándose conforme a las directrices existentes.

Dos de los aspectos de mayor relevancia en intervenciones arqueológicas son la documentación y la adquisición de datos asociados a los contextos arqueológicos. Teniendo en cuenta que cada vez hay un mayor número de tecnologías que se pueden aplicar al estudio de los contextos arqueológicos y patrimoniales para obtener datos de especial relevancia para la investigación, conservación y divulgación, el Instituto ha elaborado los lineamientos para el manejo de sensores remotos, en los que se tuvieron en cuenta los conceptos y las actividades involucradas en los procedimientos arqueológicos en Colombia.

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

GPR - Radar de Penetración Terrestre

ERT - Tomografía de Resistividad Eléctrica

SEV - Sondeo Eléctrico Vertical

EMP - Perfilador Electromagnético

EMF - Campo Electromagnético

UAV - Vehículo Aéreo no Tripulado

UAS - Sistema Aéreo no Tripulado

TLS - Láser escáner terrestre

LIDAR - Detección y Rango de Imágenes Láser

SIG - Sistema de Información Geográfico

DEM - Modelo de Elevación Digital

DTM - Modelo Digital de Terreno

GCP - Punto de Control de Terreno

GPS - Sistema de Posicionamiento Global

GNSS - Sistema Global de Navegación Satelital

TIFF - Formato de imagen etiquetado

1. SENSORES REMOTOS APLICADOS EN ARQUEOLOGÍA

1.1. DEFINICIONES

- **Sensores remotos o teledetección:** Es una técnica de obtención de información de un determinado objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos mediante equipos especializados, los cuales no se encuentran en contacto directo con el objetivo que se está investigando.
- **Métodos geofísicos:** Son un conjunto de técnicas y herramientas de adquisición de medidas realizadas en superficie o en profundidad que permiten caracterizar las propiedades físicas de los suelos (eléctricas, magnéticas, gravimétricas, radioactivas). En arqueología se utilizan para la lectura de los campos naturales e inducido, que permiten conocer la composición y ubicación de evidencia material en el subsuelo.

1.2.SENSORES REMOTOS O TELEDETECCIÓN

Consisten en un conjunto de metodologías y técnicas para la observación y adquisición de información espacial y temporal por medio de diferentes sensores que no están en contacto directo con los objetivos analizados (Lillesand y Cols, 2008). Con esto, se puede afirmar que los sensores remotos involucran el registro de la relación entre la superficie terrestre y los campos electromagnéticos visibles y no visibles. Implica desarrollar el procesamiento de dicha interacción para obtener características propias de los objetos o fenómenos del área.

1.2.1. TELEDETECCIÓN POR SATÉLITE

La teledetección por satélite es una técnica que permite obtener datos de la superficie terrestre y de los objetos naturales y antrópicos localizados sobre ella, por medio de uno o varios sensores transportados en una plataforma satelital (artificial), los cuales se encuentran en órbita y tienen la capacidad de capturar datos de todo el planeta de forma periódica.

No existe contacto material entre el sensor y el objeto, sin embargo, hay una interacción entre estos por medio de la radiación electromagnética, que se manifiesta en la radiación solar que es reflejada por los objetos y la radiación emitida por los objetos, las cuales son captadas por los sensores. Cuando este proceso ocurre se habla de teledetección pasiva. Otro proceso de adquisición es cuando el sensor emite energía hacia los objetos y esta es reflejada (devuelta); esto se realiza por teledetección activa y se conoce como radar.

El flujograma de trabajo utilizado por estos tipos de sensores se basa, primero, en la configuración del sensor y la plataforma de los centros especializados; segundo, la adquisición de datos por parte del sensor; tercero, el envío de estos datos a los centros especializados; cuarto, los procesamientos iniciales, en los cuales los datos crudos son convertidos a formatos manejables; quinto, la divulgación o el envío de

las imágenes a los usuarios, que, en la mayoría de casos, se deben preprocesar, y en otros ya se encuentran listas para el procesamiento; sexto, el preprocesamiento y procesamiento de las imágenes, y séptimo, el análisis de los datos por parte del usuario.

En este sentido, el usuario tiene injerencia en las dos últimas fases. Para garantizar la calidad de la información se deben seguir los siguientes lineamientos.

- **Adquisición de los datos**

En el mercado existen diversos datos satelitales; para este caso, de dos tipos: imágenes ópticas e imágenes radar. Las primeras son imágenes digitales obtenidas en diversas longitudes de onda que captan características de los objetos a nivel morfométrico, de composición, coberturas, entre otros. Estas imágenes, al estar captadas en diferentes longitudes de onda, tienen la capacidad de dar color, y al estar en el espectro visible, en algunas de sus salidas gráficas son similares a los colores con que el humano reconoce los objetos. Al emitir energía, el radar puede adquirir datos sin importar las condiciones de nubes, neblina y humo; para hacerlo, utilizan una frecuencia de longitud de onda mayor que la óptica y sus usos se dirigen principalmente a captar relieves (diferencias en la altitud) y rugosidad del terreno, aunque existen otros. Los colores de esta imagen son en blanco y negro, ya que se captan en una sola longitud de onda.

En los dos casos, ópticas y radar, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Resolución espacial: Se refiere al nivel de detalle de la imagen; entre mayor sea la resolución mayor detalle tendrá la imagen. Entre menor sea el área de la tierra representada en un pixel de la imagen, la resolución será mayor.
- Resolución temporal: Se define como la periodicidad con la que el sensor capta datos de una misma área de la superficie de la tierra.

- Resolución radiométrica: Es la capacidad del sensor para captar variaciones entre la radiación que capta.
- Resolución espectral: Se define por la cantidad de canales, cada uno en una longitud de onda, con la que el sensor captura los datos.

El usuario escoge el tipo de sensor que va a emplear, pero debe garantizar que responda al uso que le dará, por ejemplo, si va a realizar un análisis para establecer la cobertura actual, debe emplear un sensor óptico con una resolución que permita distinguir el tipo de coberturas que va a identificar.

- **Preprocesamiento**

Una vez obtenidas las imágenes, para garantizar su calidad deben ser sometidas al menos a dos correcciones:

- Corrección geométrica: Por efectos de la inclinación del sensor, de movimientos de la plataforma y de la influencia de las diferencias de relieves, entre otros, se producen distorsiones en la imagen. Este proceso se debe realizar para eliminarlas y localizar la imagen en la ubicación terrestre correcta.
- Corrección radiométrica: Debido a los efectos de partículas de la atmósfera que generan absorción o dispersión de la energía y a los diferentes ángulos de la energía absorbida y reflejada por los objetos, se crean diferencias en los valores captados. Este proceso permite transformar los valores de los píxeles de la imagen digital, que se conocen como Niveles Digitales, a Niveles de Reflectancia, lo cual es necesario para disminuir los efectos de la radiación y comparar entre imágenes.

- **Procesamiento**

Una vez la imagen cuenta con las correcciones necesarias pasa a la etapa de procesamiento, en la cual se utiliza para crear información temática. En este punto, la información temática dependerá del objetivo de uso de esta imagen. Los procedimientos pueden ser manuales, automatizados o semiautomatizados.

1.2.2. FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE

La fotogrametría, como parte de los sensores remotos utilizados en arqueología para la integración de datos, permite producir modelos tridimensionales a partir de fotografías bidimensionales de múltiples objetivos de interés. Es una técnica de medición indirecta en donde los cotejos no se efectúan sobre el objeto sino sobre imágenes de este y en condiciones óptimas con solapes mayores a 80 % entre ellas. Estos insumos sirven para generar modelos digitales a escala real, y de esta se pueden adquirir coordenadas de cualquier punto de los objetivos. Estos modelos son funcionales para hacer mediciones complementarias a la visual y requieren los siguientes pasos para ser exitosos:

- **Configuración de la cámara**

La importancia de las fotografías para generar modelos 3D es fundamental. Por ello, aunque se pueden realizar modelos 3D con las imágenes digitales de la mayoría de dispositivos actuales, para un proyecto fotogramétrico de calidad se recomienda el uso de una cámara réflex digital. Si bien los criterios de configuraciones en arqueología pueden ser bastante amplios por la diversidad de objetivos y contextos que se puedan presentar, siempre se deben tener en cuenta algunos aspectos fundamentales: la calidad y la configuración del objetivo son de mucha importancia. En fotogrametría lo mejor son los objetivos luminosos, para tener una amplia apertura de diafragma, estabilizador y distancia focal fija; la cantidad de megapíxeles de la cámara debe ser congruente con el equipo informático o el *software* en el que se van a procesar las imágenes y, sobre todo,

con las necesidades de precisión reales de nuestros proyectos. Más que la cantidad de megapíxeles importa el tamaño del píxel, que depende del sensor de la cámara. Un buen sensor captará píxeles mayores y, por tanto, que muestren más detalle en las zonas de la foto de iluminación difícil. En la medida de lo posible, se debe utilizar el modo manual de la cámara, así como el enfoque manual. Se deben evitar las fotos con zonas desenfocadas o movidas, ya que producirán error al modelarlas.

- **Planificación de toma de muestras en terreno**

En este paso es importante conocer la dimensión y la extensión total de los elementos que se deben documentar. Para ello debemos planificar la configuración y la posición adecuada de la cámara digital, de acuerdo con la distancia y el ángulo de los objetivos. Es muy importante que el campo visual de los mismos tenga correspondencia (superposición) utilizando marcadores naturales o digitalizados, para que, en la etapa de posprocesamiento, el usuario obtenga el resultado deseado de nubes de puntos y texturas unificadas.

- **Metodología de ubicación de objetivos**

Como se mencionó anteriormente, los marcadores u objetivos serán la parte más importante del proceso, por lo cual será fundamental establecer un sistema de puntos de control riguroso y estratégico que nos permita relacionar superficies documentadas tanto en extensión como en profundidad. Si se cuenta con una estación total, láser escáner, lidiar, RTK o GPS de alta precisión (diferenciales), se pueden generar puntos de amarre mucho más precisos en escala, ubicación espacial y cotas de nivel para los modelos. Se recomienda utilizar un mismo sistema de coordenadas local para Colombia, en este caso, los elipsoides Magna Sirgas.

- **Toma de fotografías**

Una vez se tengan puntos de control fijos y los marcadores estén en las posiciones correctas para el usuario, lo más recomendable es que estos puntos cuenten con una nomenclatura o numeración secuencial que brinde un orden y permita una verificación de los elementos o superficies que se deben fotografiar. Si bien la fotogrametría no busca desestimar el trabajo del dibujo técnico arqueológico, sí pretende brindar mejores alternativas de visualización de los objetivos durante el proceso de excavación, que, en muchos casos, pasan desapercibidas por el ojo humano o por los tiempos que demanda el dibujo arqueológico. La fotogrametría permite integrar de forma real los datos tal y como se presentan en el momento de la excavación y de una forma mucho más rápida, además de aumentar la precisión de los datos y la perspectiva visual de todos los elementos.

- **Procesamiento**

Existe diversidad de *software* en el mercado para el análisis y procesamiento de proyectos fotogramétricos. En este punto, hay que realizar un modelo de uniones de fotografías insertando la escala y las coordenadas, ya sean locales, GPS o topográficas de los puntos de control del proyecto, teniendo en cuenta los ajustes y las correcciones a las deformaciones fotográficas que se puedan presentar, para realizar una correcta visualización de las muestras. De esta manera, los resultados de los modelos 2D (ortofotos) y 3D (nubes de puntos, texturas y DEM) tendrán los datos suficientes que se desean representar gráficamente y podrán visualizarse en diferentes formatos exportables (LAS, E57, TXT, XYZ, LAZ, FWS, FLS, XYB, PLY, PTS, PTX), para que cualquier otro usuario pueda hacer análisis, mediciones e interpretaciones.

1.2.3. FOTOGRAMETRÍA AÉREA O UAV

En la aplicación de sensores remotos en arqueología se establece y promueve el uso de fotogrametría con UAV (Unmanned Aerial Vehicle) como una alternativa nueva y confiable para la adquisición de imágenes aéreas y ortofotogramétricas. Esta técnica utiliza fotografías aéreas obtenidas desde una cámara de toma de vistas ubicada en una plataforma especial (vehículo aéreo).

Los resultados están encaminados a generar documentación de productos cartográficos, entre los cuales se encuentran modelos de elevación (DEM), modelos texturizados 3D, nubes de puntos y ortofotomosaicos (modelo integrado georreferenciado). Para desarrollar este tipo de productos se utiliza una cámara digital acoplada a un vehículo no tripulado acompañado de un sistema de navegación, el cual permite realizar muestreos sobrevolando con precisión un área determinada. El usuario monitorea la actividad del plan de vuelo extrayendo la información de interés con intervalos de fotografías de acuerdo con las necesidades de escala y resolución del proyecto.

- **Planificación de toma de muestras en terreno**

El objetivo principal será conocer la dimensión y la extensión total de los elementos que se van a documentar. Para ello, se debe realizar la programación del plan de vuelo y la configuración de la cámara, y determinar condiciones ambientales y de luminosidad adecuadas para la captura de datos. La cartografía producida con imágenes de UAV puede tener una escala de 1:100, 250, 500, 1000 como mínimo, dependiendo del propósito arqueológico, el tipo de aeronave y la extensión del sitio. El objetivo principal del uso de esta metodología con vehículos no tripulados es generar información cartográfica arqueológica de todos los elementos que sean reconocibles por la óptica fotográfica, haciendo énfasis en la escala y la resolución.

- **Metodología de ubicación de objetivos**

El diseño del plan de vuelo se basa en el reconocimiento del área y la recolección de muestras a través de puntos de control cuidadosamente distribuidos en tierra; estos pueden ser dianas, puntos topográficos, GPS o estación total. Existen diversos tipos de *software* incorporados en los UAV que pueden realizar estos planes de vuelo, integrando los puntos control necesarios dentro de los recorridos para obtener el número ideal de imágenes del área que permitan realizar una buena superposición de fotografías. No existe un plan de vuelo único que defina la forma correcta de muestrear sitios arqueológicos, ya que el objetivo principal es generar modelos en los que los datos representados sean visibles y reconocibles en su forma y extensión.

- **Procesamiento**

Existe diversidad de *software* en el mercado para el análisis y procesamiento de proyectos fotogramétricos UAV. En este punto, hay que realizar un modelo de uniones de fotografías insertando la escala y las coordenadas, ya sean locales, GPS o topográficas, de los puntos de control del proyecto. De esta manera los resultados de los modelos 2D (ortofotos) y 3D (nubes de puntos, texturas y DEM) tendrán los datos suficientes que se desean representar gráficamente, y podrán visualizarse en diferentes formatos exportables (LAS, E57, TXT, XYZ, LAZ, FWS, FLS, XYB, PLY, PTS, PTX y TIFF, 3D y DEM, que, en arqueología, son los entregables más amigables), para que cualquier otro usuario pueda realizar análisis, mediciones e interpretaciones en cualquier *software* libre.

1.3. SENSORES REMOTOS GEOFÍSICOS

1.3.1. GEORRADARES

El radar de penetración terrestre (GPR) es un instrumento de teledetección utilizado en arqueología que analiza el subsuelo a través de la emisión de ondas electromagnéticas en diferentes rangos de frecuencia, oscilando en tipos de antenas entre los 10 MHz y los 2.5GHz, con lo cual se calcula la penetrabilidad y resolución adecuada para los objetivos de búsqueda. Su principal función es realizar mediciones transversales por medio de líneas imaginarias controladas por quien realiza la toma de datos (planos con líneas y puntos de inicio y final) para la inspección de superficies en terreno. Para el abordaje exitoso de un sitio arqueológico empleando georradars se deben realizar como mínimo los siguientes pasos:

- **Planificación previa al trabajo de campo**

Es necesario asegurarse de contar con la adecuada logística de remoción y despeje de elementos metálicos, basuras y obstáculos que puedan impedir una correcta planificación de la toma de muestras, ya que es indispensable que la totalidad de las líneas no contengan ruidos externos que puedan obstruir la aplicación del método en el (las) área(s) de trabajo. Las condiciones logísticas y del terreno son claves para la óptima captura de los datos. El paso del georradar debe ser lo más recto posible en sus transectos, la antena debe tocar la superficie del terreno sin tropiezos, golpes ni movimientos bruscos; esto evitará que resulten ruidos inesperados que posteriormente se puedan traducir en lecturas erróneas.

- **Configuración del georradar**

Es fundamental conocer previamente el tipo de suelo, pues las ondas electromagnéticas dependen de la conductividad y la permitividad de los materiales para identificar con mayor precisión los objetivos depositados. Las lecturas efectuadas tendrán entonces variaciones en la penetrabilidad de la onda si los suelos son muy conductivos (altas saturaciones de agua o suelos muy arcillosos), mientras que en suelos resistentes (secos) o con poca saturación, la penetrabilidad será exitosa y logrará el alcance deseado. La configuración general del equipo deberá estar basada

en relación con el tipo de antena, la velocidad de propagación de la onda (ventana de tiempo de viaje de la onda), el número de muestras o trazas de escaneo y los tipos de ganancias utilizadas; estas últimas pueden ser calibradas en automático o manual por usuarios más experimentados.

- **Tipos de antena**

En arqueología se utilizan diversos tipos de antenas para múltiples propósitos; estos están determinados por la profundidad y la resolución que los usuarios necesitan visualizar. Las antenas adecuadas para la exploración arqueológica en diferentes profundidades operan según el siguiente criterio: a mayor frecuencia, la penetrabilidad disminuye y la resolución aumenta; a menor frecuencia, la penetrabilidad aumenta y la resolución disminuye. Esto dependerá del tipo de objetivos arqueológicos que se pretenda identificar o visualizar con mayor precisión, como lo muestra la siguiente tabla:

Frecuencia central (MHz)	Profundidad aprox. de penetración (m)
1000-800	1 a 1,5
600-700	2,5 a 3,5
400-500	4 a 6
200-100	10 a 14
50	25
25	40
10	50

Las frecuencias de rango intermedio que van desde los 600 a los 200 Mhz son las más aplicadas en contextos arqueológicos y abarcan desde sitios urbanos hasta precerámicos con depósitos arqueológicos muy profundos.

- **Metodología**

Las muestras obtenidas en campo en una prospección geofísica con georradar deben estar encaminadas a obtener resultados bidimensionales y tridimensionales de los posibles vestigios arqueológicos a lo largo y ancho de un área determinada. La planimetría de líneas imaginarias separadas cada 50 centímetros a máximo 1 metro, elaborada en campo (malla o cuadrícula), será la guía en todo el proceso, con especial atención en no perder los puntos de inicio y final, que deben estar claramente georreferenciados. Los sensores geofísicos y los georradares tienen muchas aplicaciones en diversas áreas del conocimiento de las ciencias de la tierra y en la ingeniería, pero es indispensable aclarar que todas estas parten de un principio en común: los elementos que se quiere identificar con cualquiera de estas herramientas deben cumplir con ciertas condiciones para tener un resultado idóneo en un mapa geofísico. Todo objetivo que sea susceptible de visualización que se encuentre depositado en el subsuelo debe ser atravesado por la señal electromagnética al menos dos veces, si se quiere conocer su dimensión.

Por ejemplo, en líneas separadas cada 50 cm, los posibles rasgos arqueológicos visibles serán las huellas de postes, basureros, fogones, canales, caminos, estructuras funerarias, empedrados y muros. En cambio, con una resolución mayor (1 metro de distancia), el grado de incertidumbre en la detección aumenta, lo que dificulta el diagnóstico y la detección, y solo objetivos con el suficiente diámetro estarán en el espectro visible del georradar, entre ellos, ciertos tipos de estructuras funerarias, caminos empedrados, muros de gran extensión, estatuaria, canales o acueductos, entre otros materiales (contextos monumentales) cuyo diámetro es superior a un metro. Por lo tanto, la metodología de prospección no debe superar estas medidas.

- **Puntos de control y cuadrículas de la prospección**

Los puntos de control en la cuadrícula de prospección hacen parte fundamental de la metodología. La cuadrícula debe cumplir ciertas características para obtener una medición satisfactoria. La primera es que debe cruzar los elementos que buscamos con al menos tres perfiles, dado que así se distingue entre un elemento lineal o puntual, y generalmente existen múltiples orígenes dependiendo del tipo de sitio que vamos a abordar. La geometría en campo suele ser diversa y los usuarios GPR deberán ayudarse con otras herramientas independientes del dibujo en campo, como la orientación en el plano cartesiano (X, Y, XY) para los planos locales con mojones, los puntos GPS precisos para los sistemas de navegación satelital, los puntos topográficos, los puntos de estación total o los puntos de fotografías aéreas georreferenciadas (ortofotos). Elegir cualquiera de estos sistemas de posicionamiento garantizará que los radargramas y las uniones horizontales resultantes estén debidamente posicionadas para la excavación o preservación de los vestigios arqueológicos interpretados.

- **Procesamiento de datos**

El usuario deberá agrupar los perfiles con los datos referenciados entre sí, para posteriormente unirlos y formar una imagen tridimensional en el *software*. Los programas que realizan estos procesos generalmente vienen con el equipo GPR adquirido y algunos otros comerciales que soportan cualquier tipo de extensión.

Los productos finales 2D o 3D deberán contar con un tratamiento adecuado de limpieza de ruidos internos y externos denominados filtros. Existe una gran variedad de ellos que cumplen una función matemática distinta para mejorar la calidad del dato adquirido. En arqueología se deben utilizar, en todos los casos, como mínimo, los siguientes: *Filtro de Tiempo Cero*, que sirve para calcular el punto inicial de toma de datos verticales y la profundidad aproximada; *Filtro Pasabanda* (alta y baja), que contribuye con la eliminación de ruidos producidos por alteraciones de las frecuencias

bajas y altas existentes durante la toma de datos, y *Filtro Eliminación de Fondo*, que sirve para remover trazas de ruidos originados por el doble tiempo de retorno de las ondas cuando estas se entrecruzan en un mismo objetivo.

Existen algunas otras operaciones matemáticas que se han trabajado sobre datos arqueológicos, como *Migración*, *Deconvolución*, *transformada de Hilbert* o *de Kirchhoff*, pero cada una de estas realiza diversos cambios sobre los datos originales si no se hace un tratamiento adecuado, lo que puede representar, en muchos casos si se desconoce su función, pérdida de información arqueológica relevante. Por ello solo son recomendables para usuarios que conocen las problemáticas puntuales de sus muestras y reconocen que alguno de estos procedimientos realzará los objetivos de búsqueda.

1.3.2. PERFILADORES ELECTROMAGNÉTICOS

El principio de operación de este equipo está basado en los campos electromagnéticos inducidos que su antena produce. Este consta de dos bobinas, una transmisora y otra receptora: la primera cumple la función de emitir una energía no invasiva en determinada frecuencia (1000 a 16000 Hertz), generando un campo electromagnético primario que se propaga libremente tanto por la superficie como por el interior del terreno; la segunda recibe la información del campo estimulado, el cual está formado por una componente magnética y otra eléctrica ortogonales entre sí, y a su vez perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

En presencia de un cuerpo conductor o resistente, las componentes del campo primario y secundario generan anomalías que son identificadas e interpretadas por un experto en una imagen geofísica.

- **Planificación previa al trabajo de campo**

Es necesario asegurarse de hacer previamente una remoción de obstáculos y planificar el número aproximado de transectos de acuerdo con la(s) área(s) trabajo. Las condiciones logísticas y del terreno son claves para la óptima captura de los datos. El paso del perfilador debe ser lo más recto posible, sostenido en modo vertical a la altura de la extensión del brazo; la distancia sostenida en referencia a la superficie del suelo debe ser calibrada para un correcto cálculo de la superficie real, la cual va a determinar la profundidad real. Hay que realizar los recorridos a un paso continuo y sin tropiezos, golpes o movimientos bruscos; esto evitará que posteriormente resulten ruidos inesperados que se puedan traducir en lecturas erróneas.

- **Configuración del perfilador**

Es fundamental conocer previamente el tipo de suelo, pues las ondas electromagnéticas dependen de la conductividad y la permitividad de los materiales para identificar con mayor precisión los objetivos depositados. Las lecturas efectuadas tendrán variaciones en la penetrabilidad de la onda si los suelos son muy conductivos (altas saturaciones de agua o suelos muy arcillosos), mientras que en suelos resistentes (secos) o con poca saturación la penetrabilidad será exitosa y logrará el alcance deseado. La configuración general del equipo deberá estar basada en relación con las frecuencias; se pueden tomar tres simultáneamente, desde la más profunda hasta la más superficial, contando con un total de 16 (1000 hasta 16000 Hertz) en modo GPS o estacionario y estableciendo los parámetros de medida de las áreas y su respectiva separación y cantidad de muestras por segundo.

- **Metodología**

Las muestras obtenidas en campo en una prospección geofísica con perfilador deben estar encaminadas a obtener resultados bidimensionales (capas horizontales) de los posibles vestigios arqueológicos a lo largo y ancho de un área determinada. La planimetría de líneas imaginarias separadas cada 50 centímetros a máximo 1 metro,

elaborada en campo (malla o recorrido GPS), será la guía en todo el proceso, con especial atención en no perder los puntos de inicio y final cuando se configura en modo estacionario y en que deben estar claramente georreferenciados. Las mencionadas separaciones entre líneas estarán enfocadas al tipo de evidencia que se quiere buscar. Por ejemplo, para líneas separadas cada 50 cm, los posibles rasgos arqueológicos visibles serán las huellas de postes, basureros, fogones, canales, caminos, estructuras funerarias, empedrados y muros. En cambio, con una resolución mayor (1 metro de distancia), el grado de incertidumbre en la detección aumenta, lo que dificulta el diagnóstico y la detección, y solo objetivos con el suficiente diámetro estarán en el espectro visible del perfilador, entre ellos, ciertos tipos de estructuras funerarias, caminos empedrados, muros de gran extensión, estatuaria, canales o acueductos, entre otros materiales (contextos monumentales) cuyo diámetro es superior a un metro. Por lo tanto, la metodología de prospección no debe superar estas medidas.

- **Puntos de control y cuadrículas de la prospección**

Los puntos de control en la cuadrícula o recorridos GPS de prospección hacen parte fundamental de la metodología; estos deben estar claramente anclados en el terreno para obtener una medición satisfactoria y precisa. El perfilador debe estimular los posibles materiales arqueológicos como mínimo dos veces para que pueda ser representado en una imagen horizontal. La geometría en campo suele ser diversa y los usuarios del perfilador deberán ayudarse con otras herramientas independientes del dibujo en campo, como la orientación en el plano cartesiano (X, Y, XY) para los planos locales con mojones y un punto de amarre muy preciso por cada área nueva dentro del proyecto; el sistema GPS incorporado no siempre es muy preciso y pueden existir desfases, por lo que asegurar los puntos de control es clave. Así mismo, es altamente recomendable que haya acceso a otras herramientas dentro del proyecto, como puntos topográficos, puntos de estación total o puntos de fotografías aéreas georreferenciadas (ortofotos). Elegir cualquiera de estos sistemas de posicionamiento garantizará que los mapas de anomalías resultantes estén debidamente posicionados para la excavación o preservación de los vestigios arqueológicos interpretados.

- **Procesamiento de datos**

El usuario puede seleccionar tres tipos de formas de análisis de datos conforme a la configuración de lectura del equipo, teniendo como atributos analizables la conductividad, la resistividad y la susceptibilidad magnética. Los programas que realizan estos procesos generalmente vienen con el equipo y algunos otros comerciales ofrecen alternativas ergonómicas para el tratamiento de este tipo de datos.

Los productos finales 2D (capas horizontales) por cada una de las tres frecuencias simultáneas utilizadas son realmente sencillos de procesar, debido a que las lecturas realizadas por el perfilador se basan en las diferencias equipotenciales de las tres variables, por lo que el trabajo de interpretación y ubicación (vertical y horizontal) es el gran reto dentro de esta gama de equipos.

1.4.SENSORES GEOFÍSICOS MAGNÉTICOS

En arqueología, la magnetometría consiste en la lectura de las variaciones locales del campo magnético terrestre y las susceptibilidades presentes en los materiales magnetizados. Su aplicación se encamina a lecturas de minerales magnéticos, como la magnetita, ferromagnéticos por procesos de reducción u oxidación, materiales magnéticos hechos por el hombre (orfebrería) y materiales que tuvieron transformaciones en su estructura magnética natural por altas temperaturas, como la alfarería y los trabajos sobre la piedra.

- **Planificación previa al trabajo de campo**

La magnetometría cuenta con la mejor versatilidad ergonómica, a diferencia de otros métodos geofísicos, debido a que tiene la capacidad de utilizar sensores de fácil transporte manual por cualquier tipo de terreno o superficie boscosa. Lamentablemente tiene una desventaja, y es su alta sensibilidad a los materiales metálicos, por lo que en áreas urbanas es de difícil tratamiento. La logística para cualquier trabajo magnetométrico debe evitar en lo posible elementos como corrientes de líneas primarias de energía, cercas metálicas, teléfonos celulares, entre otros. La lectura debe estar libre de perturbaciones que generen ruidos que no provengan de las lecturas locales propias del terreno prospectado.

- **Configuración**

Los magnetómetros suelen ser bastante fáciles de operar ya que no requieren configuraciones complejas en su estructura física, poseen un panel de control que solo depende de la posición de sus sensores y no son emisores de ondas desde su fuente de poder. Únicamente dependen de una corriente que estimula un campo de polarización en los sensores de protones (kerosene o hidrógeno) o fotones (vapor de cesio) para que estos, al estimular sus partículas, cambien o se alineen en la dirección de la fuerza de los campos magnéticos naturales del campo de la tierra para realizar una lectura de los materiales intrínsecos en el subsuelo.

- **Metodología**

El diseño metodológico se enfocará en un sistema de cuadrículas controladas (planimetría) con líneas separadas cada 50 cm a máximo 1 metro, debido a que elementos arqueológicos como fogones, basureros, estructuras, entre otros elementos que componen el registro arqueológico, no poseen gran tamaño o un magnetismo lo suficientemente alto para ser identificados por interpolaciones derivadas de separaciones muy amplias. En arqueología a nivel internacional estas aplicaciones metodológicas han demostrado que al aumentar las separaciones de líneas los grados

de incertidumbre aumentan y las anomalías magnéticas tienden a verse exageradas producto de otros materiales con componentes más altos que los objetivos arqueológicos, por tal motivo, como se ha venido mencionando en el presente protocolo, las prospecciones geofísicas deben estar acordes con las dimensiones del vestigio de búsqueda.

- **Puntos de control y cuadrículas de la prospección**

En el uso particular de la magnetometría, es recomendable que las muestras tengan un control estricto sobre grandes extensiones de área, debido a que las susceptibilidades magnéticas de origen arqueológico pueden confundirse con otras cuyo origen es de un campo magnético natural más fuerte. Este fenómeno puede impedir la correcta interpretación de los datos en la fase de análisis. Llevar un control de la fecha y la hora de toma de las muestras servirá a futuro para la etapa de procesamiento de datos, ya que algunos de estos sistemas requieren precisión para estar en coherencia con el Calendario Geofísico Internacional y así determinar el campo total magnético y la inclinación magnética de la tierra para ese momento.

- **Procesamiento de datos**

El magnetómetro para lectura de campo local (gradiente) no requiere tratamientos de filtrado complejos si la toma de datos se realiza con la configuración correcta. Los datos generalmente constan de cinco columnas: las primeras tres para los datos XYZ y las siguientes para los metadatos de fecha y hora; lo único que se debe hacer es ajustes de interpolación sobre los mismos. En algunas ocasiones se puede recurrir al logaritmo de la potencia (energía) en función de seleccionar pendientes de cambios magnéticos y realizar cálculos de la profundidad del objetivo (epicentro de la fuente de energía). El producto final será una imagen magnética bidimensional o tridimensional georreferenciada sobre el plano para los análisis de interpretaciones y las correlaciones arqueológicas respectivas.

1.5.SENSORES GEOFÍSICOS GEOELÉCTRICOS

La Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) es un método que permite investigar la variación de la resistividad del subsuelo a profundidad y lateralmente. Se estudia a lo largo de líneas en una dirección determinada en las que se inyecta una corriente eléctrica y se observa, mediante un dispositivo receptor, la respuesta del subsuelo, cuyo resultado son datos de resistividad aparentes. La ejecución en campo consiste en colocar sobre un mismo perfil electrodos con una determinada distancia de separación entre ellos sobre los cuales se conectan y desconectan los electrodos de corriente y de potencial a fin de hacer varios puntos de SEV (Sondeos Eléctricos Verticales) o Calicatas Eléctricas, pero sin mover físicamente los electrodos.

- **Planificación previa al trabajo de campo**

La ERT es un equipo portátil que cuenta con unas barras metálicas llamadas electrodos, que le permiten, a diferencia de otros instrumentos de arrastre, desplazarse sobre una superficie. Estos electrodos son insertados sobre el terreno en cada una de las líneas imaginarias del diseño de prospección para luego ser interpoladas y graficadas en un plano bidimensional. Hay que recordar que la geoeléctrica, al igual que el georradar, genera perfiles estratigráficos en función de materiales conductivos, resistentes y neutros.

- **Configuración**

En la geoeléctrica, la mejor elección de configuración para realizar un estudio arqueológico de campo depende del tipo de estructura que se va a mapear de acuerdo con su tamaño, forma, profundidad y dimensión. Al igual que los demás equipos geofísicos, estas características del tipo de objetivo son las que determinarán la

efectividad de las lecturas, por lo que las separaciones entre líneas dependerán de la configuración metodológica de los electrodos, ya sea en sistemas como Wenner, Wenner-Schlumberger, DipoloDipolo, Polo-Polo y Polo-Dipolo.

- **Metodología**

Las muestras obtenidas en campo en una prospección que utiliza geoelectrica deben estar encaminadas a obtener resultados verticales y horizontales de los posibles vestigios arqueológicos a lo largo y ancho de un área determinada. El control de la ubicación de las líneas (separadas entre 50 cm a máximo 1 metro) y de los puntos de separación de los electrodos de la geometría de prospección es un requisito fundamental para la identificación de anomalías arqueológicas. El principio se basa en los análisis matemáticos equipotenciales y del campo total de los componentes eléctricos (resistividad y conductividad) de los materiales del subsuelo, los cuales pueden estar asociados a materiales arqueológicos como basureros, fogones, canales, caminos, estructuras funerarias, empedrados, muros y cualquier perturbación artificial estratigráfica que se encuentre depositada.

- **Puntos de control y cuadrículas de la prospección**

En este apartado es fundamental que al menos el punto de inicio y el de final de cada cuadrícula o polígono de prospección estén bien georreferenciados. Esto servirá para que las imágenes bidimensionales queden ajustadas a cada una de las líneas de los electrodos.

- **Procesamiento de datos**

El procesamiento de datos se basa en tomar los valores de resistividad frente a la distancia en los diferentes puntos donde se ubican los electrodos para hacer la medición. Estos valores son representados posteriormente en forma gráfica por curvas expresadas en escala vertical en función de los estímulos de los materiales del subsuelo

y posteriormente interpretadas mediante procedimientos de igualación de curvas y uniones de líneas para la creación de modelos bidimensionales y tridimensionales. Los procesamientos que se han utilizado en arqueología van desde filtros de resistividad eléctrica aparente, mínimos cuadrados y campo total para establecer comparaciones del comportamiento eléctrico local de un área en específico, en este caso, de posibles zonas con potencial arqueológico.

2. CONTEXTOS ARQUEOLÓGICOS EN LOS QUE SE ESPERA LA UTILIZACIÓN DE SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos pueden ser utilizados en los diferentes contextos que se pueden dar en el marco de una intervención arqueológica; estos podrán ser aplicados en las diferentes fases del proyecto, dependiendo de su funcionalidad y de la información que se desee obtener de ellos.

2.1.Contextos con superficies duras

Se entenderán como contextos con superficies duras aquellos que cuenten con capas asfálticas y gravillas, entre otras, en las cuales, inicialmente, no es posible realizar una prospección de tipo intrusivo. En estos casos se espera la utilización de alguno de los SENSORES REMOTOS GEOFÍSICOS-ELECTROMAGNÉTICOS, con el objetivo de que la técnica elegida sea la más adecuada metodológicamente para determinar la existencia o no de materiales arqueológicos en el subsuelo sin la necesidad de realizar intervenciones o excavaciones.

2.2.Registro de estructuras o de patrimonio inmueble

En el caso de requerir el registro de estructuras históricas o arqueológicas ubicadas al interior de los polígonos donde se adelanta la intervención arqueológica, se debe

considerar la necesidad y la pertinencia de realizar un registro utilizando la FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE. Esta puede ser complemento del registro tradicional.

2.3.Contextos con sistemas de canales y camellones

Estos sistemas, que se presentan de manera constante en la geografía colombiana, en su mayoría, únicamente pueden ser detectados por medio de FOTOGRAMETRÍA AÉREA O UAV, por lo tanto, una vez contrastada la información arqueológica e histórica del área de intervención, se espera que se utilicen las ortofotografías como método de verificación y medición de estos sistemas.

2.4.Contextos generales

La utilización de sensores remotos en la generalidad de los contextos arqueológicos puede contribuir a la optimización de la información que es recabada durante una intervención arqueológica, por lo tanto, los sensores remotos podrán ser utilizados en cualquier tipo de intervención arqueológica, siempre teniendo en cuenta el contexto arqueológico, el área de intervención y las metodologías del proyecto.

3. APLICACIÓN DE SENSORES EN EL MARCO DE LOS PROGRAMAS DE ARQUEOLOGÍA PREVENTIVA (PAP)

3.1. APLICACIÓN DE SENSORES EN CONTEXTOS CON SUPERFICIES DURAS, CONTEXTOS CON SISTEMAS DE CANALES Y CAMELLONES Y CONTEXTOS GENERALES

A continuación, se describen los contenidos que deberán ser presentados en cada fase en caso de que se recurra al uso de sensores remotos en el marco de un Programa de Arqueología Preventiva que cuente con superficies duras, contextos con sistemas de canales y camellones y contextos generales.

- **Fase de Registro**

- En el numeral 7 del Formulario de Registro del Programa de Arqueología Preventiva se deberá indicar el tipo de sensor remoto que será utilizado, la zona en donde será utilizado, se deberá justificar su uso y se deberá describir la metodología que se va a implementar.

- **Fase de Diagnóstico y Prospección**

- En el documento correspondiente al Diagnóstico se deberá incluir, en el apartado metodológico, el polígono en el cual se realizará la toma de datos, una descripción del equipo con el cual se llevará a cabo la toma de datos, el método que será implementado, así como la forma en que serán analizados los resultados obtenidos, teniendo en cuenta que la lectura de estos resultados debe ser realizada por un profesional en arqueología capacitado para esto.
- En caso de existir estudios previos con sensores remotos, estos deberán ser utilizados como fuente de información secundaria para la elaboración del Diagnóstico arqueológico, de forma tal que su análisis permita establecer el potencial arqueológico preliminar de la zona de interés donde se encuentra

ubicado el polígono (s) específico (s) registrado (s). De este diagnóstico el producto esperado debe contener una sección explicativa de la metodología, el análisis, los resultados y las conclusiones que los autores realizaron previamente.

- En caso de que se planee realizar sobrevuelos con UAV durante la fase de Diagnóstico y prospección que den como resultados ortofotografías, en el documento de Diagnóstico arqueológico se deberá realizar una descripción del equipo con el que se desarrollará el sobrevuelo, determinar cuál será el área por sobrevolar y dar cuenta de los planes de vuelo.
- La integración de los datos con el Modelo de Datos para Arqueología del ICANH se realiza mediante las capas de información geográfica: *ACTIVIDADES ARQUEOLOGICAS* y *ANOMALIAS CON SENSORES REMOTOS*.

En la capa de *ACTIVIDADES ARQUEOLOGICAS* se debe registrar el polígono donde se realiza la toma de datos con el sensor remoto y seguir las indicaciones del CATALOGO DE OBJETOS - MODELO DE DATOS GEOGRAFICO ICANH. En la capa de *ANOMALIAS CON SENSORES REMOTOS* se deben registrar con geometría polígono, todas aquellas anomalías que se detecte. En el atributo *Nivel de confianza* se debe diligenciar según las indicaciones del CATALOGO DE OBJETOS - MODELO DE DATOS GEOGRAFICO ICANH.

Fase de Aprobación del Plan de Manejo Arqueológico

- En caso de haber utilizado sensores remotos durante la fase de Diagnóstico y prospección, se deberá incluir en el apartado de “Resultados de la prospección arqueológica” del documento asociado a la fase de Aprobación del Plan de Manejo Arqueológico, la descripción total de las actividades que fueron realizadas, incluyendo la metodología y los resultados, además de los requerimientos dados por el numeral 6 de los términos de referencia establecidos para esta fase. Asimismo, será necesario adjuntar la información en bruto de forma tal que el Instituto pueda revisar los resultados obtenidos y se puedan corroborar las interpretaciones realizadas. Para determinar la zonificación arqueológica de los polígonos de intervención se deberá utilizar la información recabada a partir del análisis de los resultados obtenidos durante la prospección con los sensores

remotos. Para esto, se deberá dar cuenta de los contextos arqueológicos identificados y sus atributos, por ejemplo: mapas de potencial arqueológico de anomalías donde se relacionen los tipos de evidencias arqueológicas desde rasgos (de ser evidentes), huellas de postes, estructuras funerarias, entre otros elementos, que hayan sido registrados por el sensor remoto; lo anterior sumado a los requerimientos del numeral 8 de los términos de referencia dados para esta fase.

- En caso de querer utilizar sensores remotos durante la fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico, se deberá incluir en el apartado correspondiente a “Medidas de Manejo” la herramienta que será utilizada, la máquina y el modelo que será usado, la metodología que se empleará para recopilar la información, el área en la que se implementará el sensor, el tipo de resultados que se espera obtener y la forma en que estos serán utilizados para interpretar el hallazgo al que haya lugar.
- Las actividades realizadas y las anomalías detectadas se deben registrar conforme el modelo de datos para arqueología.
- **Fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico:**
 - En los informes de avance que se deberán presentar de acuerdo con lo establecido en los términos de referencia para la fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico, se deberá incluir el estado de avance de las actividades que se están llevado a cabo por medio de sensores remotos. Para esto, se deberán enviar las evidencias correspondientes a la realización de las actividades ejecutadas hasta el momento en que se envía el informe y se deberán enviar los archivos con la información en bruto para revisión del ICANH. Adicionalmente, se deberán adjuntar fotografías que permitan corroborar la realización de la actividad.
 - Como parte del informe final asociado a la fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico, en los puntos C y D del numeral 5 de los términos de referencia para dicha fase se deberán describir las actividades realizadas en campo con el o los sensores remotos.

- Los archivos que se deben entregar producto de los sensores remotos son los archivos nativos de los equipos.
- En el caso del georradar, mapas geofísicos horizontales georreferenciados por cada una de las profundidades alcanzadas con posibles datos arqueológicos de interés, esto se debe en realizar en formato GEOTIFF.
- Las anomalías arqueológicas identificadas se deben enviar en formato GEOTIFF.
- Adicionalmente, en el caso de la realización de ortofotos con UAV, se deberá entregar el modelo bidimensional de ortofotografías, nubes de puntos y modelo texturizado que cumplan con una de las siguientes extensiones: LAS, E57, LAZ, Laz, vector y el plan vuelo.
- La integración de los datos con el Modelo de Datos para Arqueología del ICANH se realiza mediante las capas de información geográfica: *ACTIVIDADES ARQUEOLOGICAS* y *ANOMALIAS CON SENSORES REMOTOS*. En la capa de *ACTIVIDADES ARQUEOLOGICAS* se debe registrar el polígono donde se realiza la toma de datos con el sensor remoto y seguir las indicaciones del CATALOGO DE OBJETOS - MODELO DE DATOS GEOGRAFICO ICANH. En la capa de *ANOMALIAS CON SENSORES REMOTOS* se deben registrar con geometría polígono, todas aquellas anomalías que se detecte. En el atributo *Nivel de confianza* se debe diligenciar según las indicaciones del CATALOGO DE OBJETOS - MODELO DE DATOS GEOGRAFICO ICANH.

3.2. APLICACIÓN DE SENSORES PARA EL REGISTRO DE ESTRUCTURAS O PATRIMONIO INMUEBLE

- A continuación, se describen los contenidos por fases que deberán ser presentados en caso de que se utilicen sensores remotos en el marco de un Programa de Arqueología Preventiva para el registro de estructuras o patrimonio inmueble.

- **Diagnóstico y prospección**

- Toda información relacionada con el uso de fotogrametría realizada previo al proyecto servirá como insumo de información secundaria que deberá ser incluida en el documento de Diagnóstico. De esta forma, la información podrá ser contrastada con los antecedentes del polígono general registrado, y de esta manera se podrá determinar el potencial arqueológico preliminar de los polígonos específicos registrados.
- En caso de requerir el registro fotogramétrico durante las actividades de prospección, se debe tener en cuenta que estas deben realizarse en estructuras consideradas de tipo histórico y arqueológico, y deben incluirse como parte de la metodología de muestreo en el documento Diagnóstico.

- **Fase de Aprobación del Plan de Manejo Arqueológico**

- En caso de haber realizado el registro de estructuras históricas o arqueológicas por medio de fotogrametría, durante las actividades de prospección, se deberá incluir en el apartado de “Resultados de la prospección arqueológica” del documento de aprobación del Plan de Manejo Arqueológico, la descripción total de las actividades realizadas, incluyendo metodología, localización y resultados, además de los requerimientos dados por el numeral 6 de los términos de referencia establecidos para esta fase.
- Si durante las actividades de prospección fueron identificadas estructuras históricas o arqueológicas que requieran un registro fotogramétrico durante la fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico, esto se deberá incluir en el apartado correspondiente a Medidas de Manejo; se debe especificar la localización de la estructura que será registrada por esta técnica y la metodología.

- **Fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico**

- Si entre la propuesta del Plan de Manejo Arqueológico aprobada se encuentra la realización del registro de estructuras por medio de fotogrametría, se deben incluir, como parte de los informes, los estados de avance de realización de esta actividad, teniendo en cuenta que se deben incluir fotografías y demás insumos que den cuenta de su estado, además de los requerimientos dados en el numeral 4.3 de los términos de referencia de la fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico.
- Como parte del informe final, deberán ser incluidos en los literales C y D del numeral 5 de los términos de referencia la respectiva información de los registros fotogramétricos que fueron realizados; en este apartado se deberán relacionar los tipos de evidencias arqueológicas, por ejemplo, huellas de postes, estructuras funerarias, monolitos, dólmenes, construcciones históricas, entre otros elementos que hayan sido registrados por la fotogrametría, además de los requerimientos dados por el numeral 6 de los términos de referencia establecidos para esta fase.

3.3. APLICACIÓN DE SENSORES EN EL MARCO DE UNA AUTORIZACIÓN DE INTERVENCIÓN ARQUEOLÓGICA

- A continuación se describe la manera como se espera que sean utilizadas las diferentes técnicas de sensores remotos en el marco de una Autorización de Intervención Arqueológica descritas según el trámite que se pretenda realizar. Se aclara que los entregables presentados deben sumarse a la información requerida en la guía de presentación de documentos dada por el ICANH.
- **Solicitud de autorización para prospección** (solo aplicable a actividades de investigación):
 - En el correspondiente apartado se deberá explicar, de forma clara y concisa, el planteamiento metodológico para la realización de estudios previos con sensores geofísicos electromagnéticos, describiendo el proceso de recolección de datos,

modo de recolección local o GPS y el tipo de muestreo en los puntos de control (de inicio y final) de amarre para cada una de las mallas elaboradas en el proyecto. Además de los parámetros generales configurados, la separación de las líneas y el área total de las cuadrículas, deberá describir el tipo de sensor utilizado, la ubicación geográfica y el tratamiento y análisis de los datos para documentar los contextos arqueológicos.

- Si durante las actividades de prospección se van a realizar registros fotogramétricos a estructuras previamente identificadas en el área e incluidas dentro de los antecedentes, se deberán determinar, en el apartado metodológico, la configuración de la cámara, la resolución del píxel, la ubicación geográfica, el tratamiento y análisis de los datos para documentar los contextos arqueológicos.
- Si durante la realización de la prospección se planea la realización de sobrevuelos con UAV, esto deberá incluirse en el apartado metodológico de Solicitud de Autorización, determinando las áreas que serán sobrevoladas y las especificaciones mínimas del equipo que será utilizado para esta tarea, y describiendo, así mismo, lo que se espera recabar con esta actividad.

- **Informe de prospección**

- Si durante las actividades de prospección se realizaron estudios previos con sensores geofísicos electromagnéticos en superficies duras o en contextos generales, se deberán incluir en el apartado correspondiente a la metodología de campo empleada para la realización de esta actividad, en el que, como mínimo, se deben incluir transectos, localización, profundidades, especificaciones de la máquina con la que se realizó el estudio, calibración, etc.
- En el apartado de resultados deberán incluirse una interpretación y una discusión de tipo arqueológica, se debe hacer el máximo uso de los gráficos de acompañamiento y los diagramas de interpretación, que, en su mayoría, deben ser autoexplicativos; el texto asociado debe referirse a su contexto arqueológico y no a detalles técnicos.
- Como anexo se deberá incluir el mapa de anomalías de potencial arqueológico por cada profundidad, con evidencias arqueológicas que cumplan con las extensiones

nativas propias del equipo (la totalidad de archivos en bruto) y planimetrías georreferenciadas (TIFF, GEOTIFF).

- En caso de haber realizado registro fotogramétrico de estructuras o bienes inmuebles durante las actividades de prospección, se deberá incluir la descripción total de las actividades que fueron realizadas, incluyendo la metodología, la localización y los resultados.
- Si durante las actividades de prospección fueron identificadas estructuras históricas o arqueológicas que requieran un registro fotogramétrico durante la fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico, esto se deberá incluir en el apartado correspondiente a Medidas de Manejo y se debe especificar la localización de la estructura que será registrada por esta técnica y la metodología.
- Si se plantea realizar estudios con sensores geofísicos electromagnéticos durante la fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico, esto se deberá incluir en el apartado correspondiente a Medidas de Manejo y se debe especificar el tipo de estudio que deberá ser realizado, la metodología y el área en el que se realizará.

- **Solicitud de Autorización para la Implementación del Plan de Manejo Arqueológico**

- Si durante las actividades de prospección fueron identificadas estructuras históricas o arqueológicas que requieran un registro fotogramétrico durante la fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico, esto se deberá incluir en el apartado correspondiente a Medidas de Manejo y se debe especificar la localización de la estructura que será registrada por esta técnica y la metodología.
- Si se plantea realizar estudios con sensores geofísicos electromagnéticos durante la fase de Implementación del Plan de Manejo Arqueológico, esto se deberá incluir en el apartado correspondiente a Medidas de Manejo y se debe especificar el tipo de estudio que deberá ser realizado, la metodología y el área en el que se realizará.

- **Informe final de Autorización para la Implementación del Plan de Manejo Arqueológico**

- Si durante la Implementación del Plan de Manejo Arqueológico se proyectó la realización de estudios con sensores geofísicos electromagnéticos, se deberán incluir en el apartado correspondiente a la metodología que fue empleada en campo para la realización de esta actividad, en el que, como mínimo, se deben incluir transectos, localización, profundidades, especificaciones de la máquina con la que se realizó el estudio, calibración, etc.
- En el apartado de resultados, deberán incluirse una interpretación y una discusión de tipo arqueológica de los estudios geofísicos que fueron realizados, se debe hacer el máximo uso de los gráficos de acompañamiento y los diagramas de interpretación, los cuales, en su mayoría, deben ser autoexplicativos; el texto asociado debe referirse al contexto arqueológico y no a detalles técnicos.
- Como anexo se deberá incluir el mapa de anomalías por cada profundidad con evidencias arqueológicas que cumplan con las extensiones nativas propias del equipo (la totalidad de archivos en bruto) y planimetrías georreferenciadas (TIFF, GEOTIFF).
- En caso de haber realizado registro fotogramétrico de estructuras o bienes inmuebles durante las actividades de prospección, se deberá incluir la descripción total de las actividades que fueron realizadas, incluyendo la metodología, la localización y los resultados.
- El responsable deberá entregar el modelo bidimensional de ortofotografías, nubes de puntos y modelo texturizado que cumpla con una las siguientes extensiones: LAS, E57, Laz, vector y el plan vuelo.

4. ROCEDIMIENTO PARA LOS CASOS DE HALLAZGOS FORTUITOS

- Si ocurre un hallazgo fortuito en proyectos, obras o actividades que no tienen la obligación legal de implementar un Programa de Arqueología Preventiva en los términos del Decreto 2106 de 2019, el titular o responsable del proyecto deberá realizar el procedimiento conforme al protocolo de hallazgos fortuitos. En caso de

utilizar fotogrametría terrestre complementaria para la documentación, el registro y el análisis de la evidencia, se realizará la toma de muestras conforme a lo expresado en la metodología de este protocolo.

4.1. Documentación en campo ante el hallazgo cuando se utilizan UAV

- Una vez aislada el área, el profesional en arqueología deberá realizar una planificación de vuelo personalizada para el hallazgo(s) como medio de documentación y verificación antes de realizar cualquier otro tipo de procedimiento. Resulta muy útil hacer múltiples mapeos fotográficos UAV, antes, durante y después para la documentación posterior al registro, ya que estos deben estar en coherencia con lo estipulado en el protocolo de hallazgos fortuitos.
- La metodología seguirá los mismos parámetros aplicados en contextos arqueológicos en función del tipo de objeto y las posiciones de la cámara fotográfica. El vestigio arqueológico ocupará la mayor parte del espacio óptico de la foto sin remover ningún dato de la escena; en su lugar, el profesional en arqueología deberá moverse en torno a él siguiendo una secuencia de solape entre fotografías para generar el modelo. Recuerde que esta información se debe incorporar dentro de la “Ficha única para el reporte de hallazgos fortuitos de patrimonio arqueológico”.
- De ser necesario realizar excavaciones estratigráficas, se deben documentar con fotogrametría los niveles de ocupación, manteniendo un estricto control de la escala tanto en vertical (profundidad) como en horizontal (extensión). Se deben evidenciar y relacionar en el modelo los componentes arqueológicos del área y registrar la ubicación de los bienes arqueológicos (distribución y contexto). Esta información debe ser registrada en fichas de excavación.

4.2. Documentación en campo ante el hallazgo cuando se utilizan sensores geofísicos:

- Una vez aislada el área, el profesional en arqueología deberá planificar una toma de muestras adecuada para la ampliación del área de los hallazgos, con ánimo de identificar otros elementos arqueológicos asociados con el hallazgo expuesto, antes de realizar cualquier otro tipo de procedimiento.
- Lo más recomendable es triplicar como mínimo la extensión del área del hallazgo, ya que la distribución espacial de los otros posibles vestigios asociados es parcial, y no siempre se puede establecer, con la sola inspección visual, una ruta de seguimiento de la distribución total.
- La metodología seguirá los mismos parámetros aplicados en los contextos arqueológicos del presente protocolo, en función del tipo de objetivos y las profundidades que se desea visualizar. Resulta útil para este tipo de contextos utilizar antenas de rango intermedio, como de 200, 400, 500 y 600 MHz, que tienen una visibilidad superior a un metro (ver tabla).
- Es importante recordar que esta información se debe incorporar dentro de la “Ficha única para el reporte de hallazgos fortuitos de patrimonio arqueológico” como una imagen georreferenciada. El resultado final de la toma de datos se debe poder evidenciar y relacionar los componentes arqueológicos del área (interpretación), y registrar la ubicación de los bienes arqueológicos (distribución y contexto).
- Se deberán entregar los mapas de anomalías de potencial arqueológico por cada profundidad, con evidencias arqueológicas que cumplan con las extensiones nativas propias del equipo (la totalidad de archivos en bruto) y planimetrías georreferenciadas (TIFF, GEOTIFF) por cada uno de los cortes horizontales procesados.