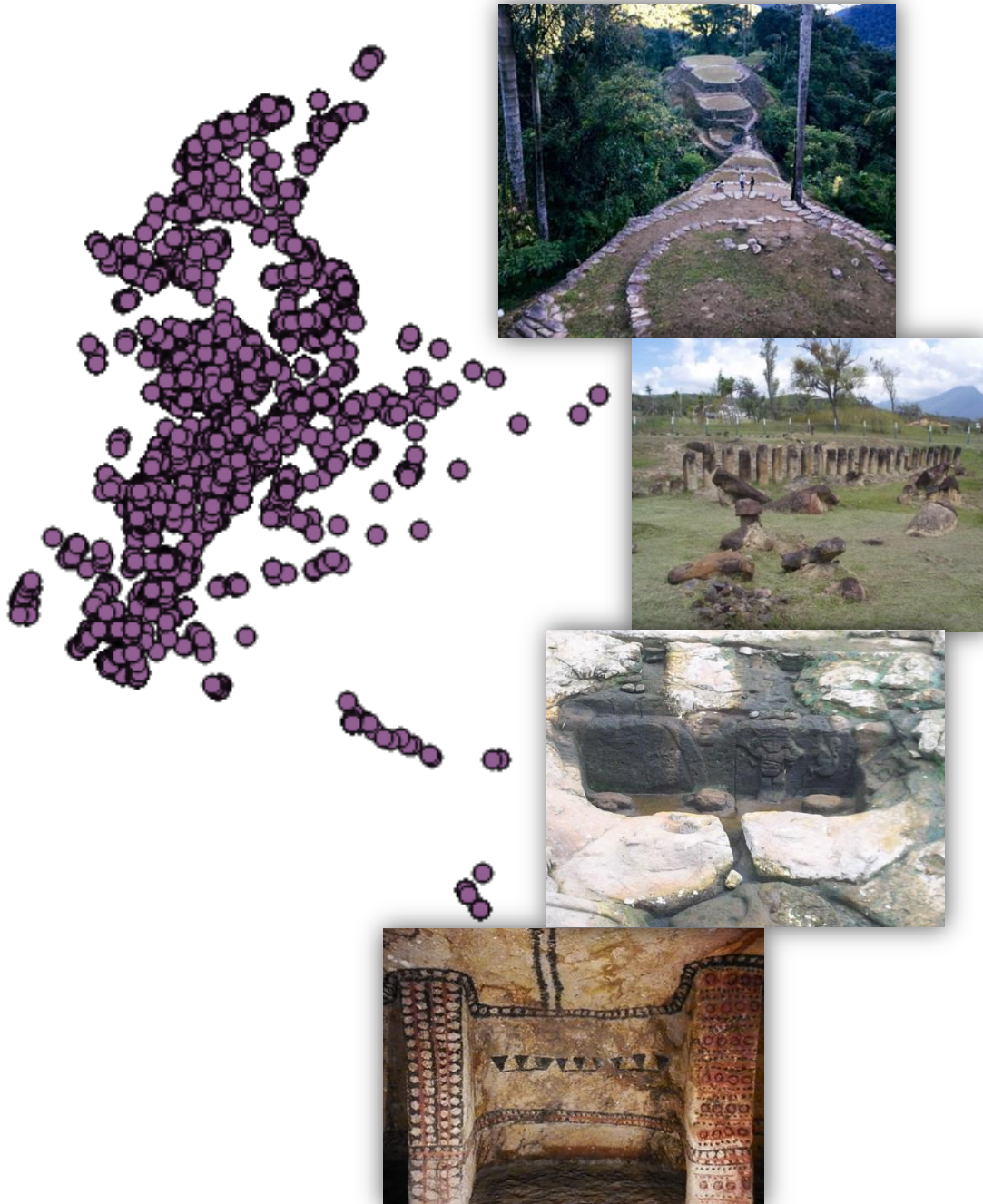


**DISEÑO METODOLÓGICO PARA EL DIAGNOSTICO DE POTENCIAL
ARQUEOLÓGICO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
EN COLOMBIA**

Yiset Buriticá Yaquive



DISEÑO METODOLÓGICO PARA EL DIAGNOSTICO DE POTENCIAL
ARQUEOLÓGICO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN
COLOMBIA

ANTROPOLÓGA YISET BURITICA YAQUIVE

Trabajo de grado para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

DIRECTORA: SERENA SARAH WEBER

ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INFORMACION GEOGRÁFICA,
CIAF
BOGOTÁ D.C.
2018



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
(Especialización en Sistemas de Información Geográfica
en convenio con el IGAC)

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA: ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN
CONVENIO CON EL IGAC- 2018
ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 012

Fecha : 7 Noviembre de 2018

Lugar : CIAF

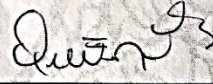
TRABAJO DE GRADO: DISEÑO METODOLÓGICO PARA EL DIAGNÓSTICO DE
POTENCIAL ARQUEOLÓGICO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA EN COLOMBIA.

PRESENTADO POR :

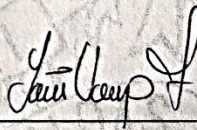
| INTEGRANTES | CÓDIGO UD |
|------------------------|-------------|
| YISET BURITICÁ YAQUIVE | 20171094031 |
| | |
| | |

NOTA : 4,0

CARÁCTER : aprobado


Docente Evaluador


Director


Docente Evaluador

AGRADECIMIENTOS

A mi directora la ingeniera Sarah Weber, por su colaboración y apoyo durante todo el período lectivo. Por su guianza durante la realización del trabajo final en el 2018.

A la ingeniera Evy Jaramillo por su colaboración administrativa, la cual fue fundamental para que se pudiera realizar este trabajo de grado en el marco oficial de la especialización en SIG 2018.

Al Instituto Colombiano de Antropología e Historia por suministrar los datos espaciales con los que se realizó en modelamiento.

A mis compañeros de la especialización en especial a Claudia Correa, Julian Serna, Paula Maldonado, Álvaro Ñaños, David Olaya y Felipe Gast por su apoyo, guianza y acompañamiento.

GLOSARIO

MODELO PREDICTIVO: “Un modelo predictivo podría definirse como una representación matemática de un aspecto de la realidad que permite predecir comportamientos futuros en función del conocimiento presente. Por ejemplo, una vez conocidos los parámetros que influyen en el desarrollo de una determinada enfermedad se podría realizar una aproximación fiable sobre las características de las personas que pueden contraerla” (Cacho & Camara, 2009, pág. 9).

MODELO PREDICTIVO EN ARQUEOLOGÍA: En Arqueología, el modelado predictivo se ha definido como un análisis que predice la ubicación de sitios u artefactos arqueológicos, con base a unos datos previamente establecidos. Si se conoce el patrón de distribución de los sitios arqueológicos y las variables que influyen en su localización, se podrá inferir que en otros lugares en los que se cumplan las mismas condiciones también existirán sitios arqueológicos (Cacho & Camara, 2009, pág. 9).

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG: “Debe entenderse a un SIG como un elemento complejo que engloba una serie de otros elementos conectados, cada uno de los cuales desempeña una función particular, estos elementos son: los datos, los procesos, la visualización, la tecnología y el factor organizativo” (Olaya, 2014, pág. 8).

ANÁLISIS MULTICRITERIO: “El análisis o evaluación multicriterio se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en procesos de decisión. La evaluación multicriterio se basa en que la actividad objeto de estudio va a venir definida por una serie de factores o variables. Dichos factores van a influir de manera positiva (Aptitud) o negativa (Impacto) sobre la actividad objeto de decisión y deben ser inventariados y clasificados previamente” (García, Cadenas, & Simón, 2004).

ARQUEOLOGÍA: La Arqueología es una disciplina humanística que estudia las sociedades del pasado, principalmente a través de sus restos materiales que se conocen como registro arqueológico, y que usualmente se encuentran inmersos en la naturaleza superficial o subsuperficialmente (Renfrew & Bahn, 1993).

SITIOS ARQUEOLÓGICOS: Se refiere a lugares donde se han encontrado evidencias arqueológicas, que pueden ser desde pequeños artefactos, hasta estructuras monumentales.

PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO: “El patrimonio arqueológico colombiano comprende aquellos vestigios producto de la actividad humana y aquellos restos orgánicos e inorgánicos que, mediante los métodos y técnicas propios de la arqueología y otras ciencias afines, permiten reconstruir y dar a conocer los orígenes y las trayectorias socioculturales pasadas y garantizan su conservación y restauración” (ICANH, 2010, pág. 1).

DIAGNÓSTICO ARQUEOLÓGICO: Procedimiento por el cual se determina el potencial arqueológico de un área determinada según las evidencias arqueológicas que se encuentren en dicho espacio.

VARIABLES CULTURALES: son aquellos datos espaciales asociados a actividades humanas, por ejemplo: ubicación de asentamientos, distancias entre caminos, intervisibilidad entre otras (Cacho & Camara, 2009).

VARIABLES AMBIENTALES: son datos espaciales relacionados directamente con atributos naturales del territorio estudiado, en ellos se destacan la geomorfología, la geología, las alturas, pendientes entre otras. (Cacho & Camara, 2009).

RESUMEN

Este trabajo expone una propuesta metodológica que pretende diagnosticar el potencial arqueológico de cualquier zona de Colombia a través de un sistema de información geográfico y de la aplicación de estadística descriptiva y análisis multicriterio. El área de estudio corresponde a la franja que ocupa el cauce medio del río Cauca, entre los municipios de la Pintada, al sur y Santa Fé de Antioquia, al norte. Se toma esta como una zona piloto, puesto que en ella las obras civiles son cada vez más frecuentes, lo que amenaza en gran medida la integridad del patrimonio arqueológico. Es por ello, que por medio de la información cultural obtenida del Atlas arqueológico de Colombia, se realizaron análisis espaciales que permitieron diseñar un modelo predictivo, donde se identificaron zonas con alta, media y baja posibilidad de encontrar sitios arqueológicos. Esto con el ánimo de establecer una herramienta de gestión, que permitan diagnosticar el potencial arqueológico de cualquier zona del país, y así ayudar a la toma de decisiones encaminadas a salvaguardar el patrimonio arqueológico colombiano.

Palabras clave: Sitios arqueológicos, modelo predictivo, SIG, Atlas arqueológico de Colombia.

ABSTRACT

This work exposes a methodological proposal that aims to diagnose the archaeological potential of any area of Colombia through a geographic information system and the application of descriptive statistics and multicriteria analysis. The study area corresponds to the strip that occupies the middle channel of the Cauca River, between the municipalities of La Pintada, to the south and Santa Fé de Antioquia, to the north. This is taken as a pilot area, since civil works are becoming more frequent there, which greatly threatens the integrity of the archaeological heritage. That is why, through the cultural information obtained from the archaeological Atlas of Colombia, spatial analyzes were carried out that allowed us to design a predictive model, where areas with high, medium and low possibility of finding archaeological sites were identified. This with the aim of establishing a management tool that will allow us to diagnose the archaeological potential of any area of the country, and thus help to make decisions aimed at safeguarding the Colombian archaeological heritage

Key words: Archaeological sites, predictive model, GIS, Atlas arqueológico de Colombia

INDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| 1. PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN..... | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 13 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL..... | 13 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 13 |
| 3. ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL | 14 |
| 3.1. SIG Y ARQUEOLOGÍA..... | 15 |
| 3.2. MODELAMIENTO PREDICTIVO EN SIG APLICADO A LA ARQUEOLOGÍA.... | 17 |
| 3.3. MODELOS ARQUEOLÓGICOS EN SIG EN COLOMBIA | 21 |
| 4. ÁREA DE ESTUDIO | 23 |
| 5. METODOLOGÍA..... | 25 |
| 5.1. ANÁLISIS ESPACIAL EN SIG | 26 |
| 5.1.1. Codificación de datos..... | 27 |
| 5.1.2. Generación de puntos aleatorios | 28 |
| 5.1.3. Unificación de datos en una sola capa | 29 |
| 5.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES | 31 |
| 5.3. ESPACIALIZACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO MEDIANTE QGIS..... | 32 |
| 5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COMPROBACIÓN..... | 33 |
| 5.5. ESQUEMA METODOLÓGICO | 34 |
| 6. RESULTADOS | 35 |
| 6.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA | 35 |
| 6.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO | 45 |
| 6.3. ESPACIALIZACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO..... | 47 |
| 7.3.1. Rasterización y asignación de pesos..... | 48 |
| 7.3.2. Creación del mapa de zonificación | 53 |
| 7. CONCLUSIONES..... | 59 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA..... | 61 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Elaboración propia..... | 23 |
| Figura 2. Codificación de variables nuevas en la capa de suelos. | 28 |
| Figura 3. Reclasificación de alturas en QGIS..... | 30 |
| Figura 4. Tabla de contingencia de paisaje de sitios arqueológicos y puntos aleatorios .. | 35 |
| Figura 5. Tabla de contingencia de clima de sitios arqueológicos y puntos aleatorios | 36 |
| Figura 6. Tabla de contingencia de tipo de relieve de sitios arqueológicos y puntos aleatorios..... | 37 |
| Figura 7. Tabla de contingencia de tipo de capacidad de drenaje de sitios arqueológicos y puntos aleatorios | 37 |
| Figura 8. Tabla de contingencia de textura de sitios arqueológicos y puntos aleatorios... | 38 |
| Figura 9. Tabla de contingencia de litología de sitios arqueológicos y puntos aleatorios . | 39 |
| Figura 10. Medidas de tendencia central y dispersión de las variables numéricas de los sitios arqueológicos. | 40 |
| Figura 11. Medidas de tendencia central y dispersión de las variables numéricas de los puntos aleatorios. | 40 |
| Figura 12. Histogramas de altura..... | 41 |
| Figura 13. Histogramas de pendientes | 41 |
| Figura 14. Histogramas de temperatura..... | 42 |
| Figura 15. Histogramas de distancia a drenajes dobles | 42 |
| Figura 16. Histogramas de distancia a drenajes sencillos..... | 43 |
| Figura 17. Histogramas de distancias a PNN..... | 43 |
| Figura 18. Histogramas de distancias a resguardos indígenas. | 44 |
| Figura 19. Histogramas de distancia a vías | 44 |
| Figura 20. Árbol jerárquico según Saaty (1990) | 45 |
| Figura 21. Matriz pareada (tabla superior), normalización y vector propio según Saaty (1990)..... | 47 |
| Figura 22. Proceso de asignación de pesos por variables. | 48 |
| Figura 23. Mapa de alturas | 49 |
| Figura 24. Mapa de distancias a Parques Naturales Nacionales PNN | 50 |
| Figura 25. Mapa de capacidad de drenaje..... | 51 |
| Figura 26. Mapa de capacidad de litología..... | 52 |
| Figura 27. Mapa de tipo de relieve..... | 53 |
| Figura 28. Zonificación del potencial arqueológico..... | 55 |
| Figura 29. Ubicación de los sitios de Cañafisto con respecto a la zonificación | 56 |
| Figura 30. Ubicación de otros sitios arqueológicos con respecto a la zonificación | 57 |
| Figura 31. Contrastación de la zonificación con otros sitios arqueológicos | 58 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Clasificación de temperatura según la altura. Basado en Espinal (1991). | 30 |
| Tabla 2. Escala de comparaciones pareadas de Saaty (1990) | 32 |
| Tabla 3. Rangos de error aproximados para el modelo predictivo | 57 |

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto, tuvo como objetivo central diseñar un modelo predictivo en SIG, que permitiera hacer una evaluación del potencial arqueológico de cualquier zona de Colombia, en una etapa previa al trabajo de campo. Con ello se buscó contribuir a la toma de decisiones en el marco de las evaluaciones de impacto ambiental y a facilitar la búsqueda de yacimientos arqueológicos en ámbitos investigativos.

La vinculación de nuevas tecnologías SIG a la práctica arqueológica, constituye un eje fundamental para el fortalecimiento de dicha disciplina, en términos de gestión, exploración y generación de nuevos datos arqueológicos.

Es por ello que se trabajó con el software libre QGIS, y la información espacial de datos abiertos consignada en diferentes páginas web de instituciones públicas Colombianas como: el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE y el Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH. También se contó con información raster de libre acceso del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS (United States Geological Survey).

Se hace hincapié en la utilización de datos que pueden ser descargados por cualquier usuario en diferentes partes del mundo, esto con el ánimo que el modelo predictivo aquí diseñado pueda ser aplicado sin ningún tipo de restricción.

Para el desarrollo del modelo, se tomó una zona de estudio aleatoria como muestra piloto para aplicar los análisis espaciales. Dicha zona corresponde a la región del Cauca medio en su sector montañoso, pues esta región posee amplias evidencias de comunidades prehispánicas, evidencias que cada vez son más propensas a ser afectadas por el auge de los proyectos minero-energéticos desarrollados allí.

Posteriormente se obtuvo la información espacial ambiental y cultural de la zona de estudio con el fin de identificar las características propias de los sitios arqueológicos reportados previamente en la región de estudio. Con ello se realizaron estadísticas descriptivas y análisis multicriterio. La espacialización del modelo se realizó a través de la calculadora raster, empleando las variables altura, distancia a parques nacionales naturales PNN, capacidad de drenaje, litología y tipo de relieve. Con ello se definió finalmente una zonificación del potencial arqueológico de la zona de estudio.

La metodología expuesta en el desarrollo del proyecto se presenta como una alternativa novedosa con la cual se puede evaluar el potencial arqueológico de cualquier zona del país, teniendo como base, datos espaciales gratuitos y programas SIG de libre acceso, que combinadas con los conocimientos arqueológicos brindan valiosa información precampo para la toma de decisiones y la protección y conservación del patrimonio arqueológico.

1. PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

Actualmente, los cambios políticos y sociales por los que atraviesa Colombia, han generado múltiples proyectos de explotación orográfica, construcción de vías de transporte e infraestructura urbanística. En este ámbito, los estudios de impacto ambiental constituyen una fuente de información primordial para que la riqueza cultural y natural del país no se vea afectada de manera directa ante dichos cambios.

Dentro de los estudios de impacto ambiental, se encuentra un componente cultural en el cual el patrimonio arqueológico es evaluado de manera frecuente, ya que este suele ser impactado directamente por las remociones de suelo que casi en todos los casos, implica la construcción y puesta en marcha de los proyectos anteriormente mencionados.

Es por ello que los estudios de arqueología de rescate se han incrementado en la última década. Con ello ha aumentado también la necesidad de realizar diagnósticos pre-campo en los cuales el potencial arqueológico de la zona de estudio sea evaluado de manera previa a la intervención.

Las evaluaciones de potencial arqueológico no son nuevas en el país, de hecho, son ampliamente elaboradas por las empresas ejecutoras de obras. Sin embargo, dichas evaluaciones se realizan de manera análoga y se requieren diversos niveles de investigación bibliográfica para llegar a establecer un diagnóstico definitivo.

Ante esta situación, los sistemas de información geográfica pueden suministrar gran ayuda en la gestión y toma de decisiones de la ubicación e implementación de un estudio arqueológico. Ya que por medio de ellos es posible analizar información espacial y cultural y determinar zonas de alto, medio y bajo potencial. Lo que minimizaría los esfuerzos hechos en la realización de los diagnósticos, y contribuiría a la planificación de los trabajos en campo tanto a nivel arqueológico como a nivel de diseño de los proyectos que impliquen remociones de suelo.

Es así como en el presente trabajo se desarrolló un modelo predictivo de potencial arqueológico en el software QGIS; el cual tiene como finalidad realizar diagnósticos del estado arqueológico de cualquier zona del país de manera rápida, sencilla y sobre todo utilizando información espacial de libre acceso.

Por lo anterior, se resalta aquí la importancia de los datos espaciales compilados en el Atlas Arqueológico de Colombia, y como los métodos geoestadísticos pueden contribuir al desarrollo de metodologías, que ayuden a mitigar el impacto al patrimonio arqueológico generado por la actual situación del país.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo predictivo a través de un sistema de información geográfico que permita evaluar el potencial arqueológico de cualquier zona de estudio dentro del territorio Colombiano.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las variables medioambientales y culturales relevantes en la ubicación de los asentamientos prehispánicos que se encuentran en la zona de estudio.
- Zonificar el área de estudio según su potencial arqueológico.
- Verificar el modelo final por medio de análisis comparativos.

3. ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL

Los sistemas de información geográfica surgen en la década de los 60 como resultado de la creciente necesidad de ordenar la información geográfica y de darle un uso óptimo a la misma. En este contexto también se situó el origen de los primeros ordenadores y su creciente desarrollo. Se puede decir que hubo una relación directamente proporcional entre la evolución de la tecnología y los SIG como dos factores dependientes de comunicación y de procesamiento de datos (Olaya, 2014) .

La aparición del primer software que involucró un proceso SIG se generó en Canadá, lo que dio paso a que reconocidas universidades de Estados Unidos y Reino Unido enfocaran su atención y esfuerzos académicos para desarrollar nuevos estudios en el tema, y con ello nuevos software de procesamiento de datos espaciales. A partir de ese momento los SIG fueron siendo cada vez más útiles para generar conocimiento desde diversos ámbitos profesionales y empresariales; lo que produjo una rápida evolución no solo en cuanto a procesamiento de datos y tecnología, sino también en la consolidación de los SIG como disciplina (Olaya, 2014).

Tras lo anterior, han surgido gran cantidad de conceptos referentes a lo que es un SIG. Sin embargo, se ha podido llegar a un consenso general, donde se define a un sistema de información geográfico como un conjunto organizado de datos espaciales que a través de un software y un hardware son analizados por un usuario o profesional competente para capturar, almacenar, actualizar, manipular y mostrar todo tipo de información referenciada geográficamente (ESRI, 1995).

La mayoría de textos aluden que un SIG debe ser visto como un conjunto de subsistemas que se encargan de realizar tareas particulares, ellos son: Los datos, es la información base para realizar los análisis, se caracterizan por tener una ubicación absoluta en el espacio, por poseer atributos, geometría y un sistema de referencia; Los métodos, que son un conjunto de técnicas y/o procesos que se llevan a cabo con los datos para poder analizarlos; El software, que es el programa que integra tanto los datos como los métodos y permite hacer los respectivos estudios; El hardware, que corresponde al ordenador físico que permite el funcionamiento del software; Las personas, que son los profesionales que ponen en funcionamiento el sistema para evaluar, interpretar y ayudar en la toma de decisiones con respecto a la información geográfica (Olaya, 2014).

Actualmente, el desarrollo de los SIG, su significado y algunos de sus componentes tienden a variar de una forma exponencial. El avance tecnológico y el amplio acceso a internet dado en las últimas décadas, han generado una amplia gama de aplicaciones móviles en las cuales cualquier persona en el mundo a través de SIG puede tener acceso a la ubicación, traslado y búsqueda de un espacio específico, esto en tiempo real. Por lo que los SIG se convierten ahora en servicios virtuales que benefician tanto el flujo de la movilidad como la economía de la misma. Con el anterior ejemplo, solo se quiere exponer

que los SIG han pasado de ser una herramienta de utilización netamente académica para ahora estar al alcance del público y garantizar así su expansión y libre acceso.

Los cambios más notables en cuanto a la expansión de los SIG y su utilización por diferentes niveles de usuarios fue el origen de la organización Free Software Foundation (FSF), quienes a mediados de los años 80 surgen con una ideología más comunitaria; puesto que se dedican a promover el uso libre de los SIG en cuanto a redistribución y entendimiento. Una década después y con base a estos conceptos iniciales se conforma la Open Source Initiative que como su nombre lo indica, es una iniciativa para promover no solo el software libre, sino también de código abierto. Esto último con el objetivo de que cualquier persona pudiese modificar el código base del software y realizar mejoras al mismo (Alonso & Palazón, 2004).

Con estas organizaciones se empieza a dar paso a un pensamiento más colectivo, donde los datos deben ser públicos, y por ello las personas deberían utilizar de manera libre las herramientas SIG, para generar sus propios resultados y ayudar a la toma de decisiones en cualquier ámbito del conocimiento. Esto visualizó a su vez, la importancia del trabajo colectivo y del esfuerzo grupal para desarrollar herramientas propias de las problemáticas geoespaciales.

El desarrollo de los SIG ha sido un paradigma en el marco de la geografía, un paradigma tan fuerte que ha permeado todas las ciencias del conocimiento, puesto que permite analizar el espacio desde diferentes visiones. Los aportes hechos a nivel investigativo y de gestión han generado múltiples conocimientos y han ayudado a sobrellevar las políticas de los territorios a nivel mundial.

Tras lo anterior, en el siguiente apartado, se destaca la importancia de los SIG y sus avances en arqueología. Siendo esta última una ciencia social que involucra actualmente aspectos académicos, investigativos y políticos, donde la toma de decisiones se ha vuelto crucial para la salvaguardia del patrimonio arqueológico y para la generación misma de conocimientos del pasado.

3.1. SIG Y ARQUEOLOGÍA

La arqueología es una disciplina que intenta estudiar el comportamiento humano de antiguas sociedades ya extintas. En esta disciplina se emplean rangos de tiempo muy amplios que inician desde el origen mismo de la especie homo (hace 2.5 millones de años) hasta los desarrollos históricos más relevantes dados en el desarrollo social y cultural de la humanidad (el descubrimiento de América, la inquisición, la revolución industrial, entre otros). Para llegar a reconstruir el pasado y hacer inferencias de él, la arqueología busca y analiza yacimientos o sitios arqueológicos los cuales son lugares que actualmente están conformados por objetos, estructuras, rasgos, y en general restos que

indican la presencia de algún tipo de antiguos asentamientos humanos (Renfrew & Bahn, 1993).

Todos los yacimientos arqueológicos ocupan un lugar en el espacio, esto porque todas las sociedades humanas están intrínsecamente relacionadas con su medio circundante. Es imposible hablar de yacimientos arqueológicos sin pensar en la modificación del paisaje que producen las actividades humanas más comunes como: la instalación de casas, zonas de cultivo, lugares de comercio, caminos, cementerios, entre otros. Cada uno de estos espacios donde se realiza una actividad específica son llamados “contextos”, los cuales son una unidad de análisis más amplia que vincula aspectos del paisaje locales o regionales para analizar prácticas y relaciones culturales dadas en el pasado (Hoder & Orton, 1990) .

Los contextos y en general la apropiación del paisaje como hábitat, ha hecho que los arqueólogos se interesen cada vez más por el estudio del espacio como una importante evidencia arqueológica. “la adopción de conceptos y metodologías propias de la geografía ha hecho que las descripciones arqueológicas netamente descriptivas de carácter espacial fueran cambiadas por la utilización de una gama de recursos metodológicos, matemáticos y estadísticos destinados a medir y calibrar objetivamente los procesos arqueológicos en estudio. En este ámbito es donde se consolidan análisis como: el modelo análisis de captación de recursos, el modelo de vecino más cercano, los polígonos de Thiessen, la teoría del lugar central, el modelo x-tent, los límites y fronteras culturales, entre otros” (Villafañez, 2011, pág. 140).

Habiendo consolidado la importancia de los análisis espaciales en la arqueología, a finales de los años 80 se empiezan a utilizar sistemas de información geográficos, lo que facilitó la aplicación de las tradicionales metodologías de estudio y el análisis de datos. Inicialmente se empleó para el mapeo de los yacimientos arqueológicos, sin embargo la visualización por capas permitió realizar análisis comparativos a gran escala, empleando métodos estadísticos que estaban incorporados en el mismo software. Posteriormente la fotografía aérea y sus alcances espaciales permitieron la visualización de sitios arqueológicos en lugares de difícil acceso, además de una observación completa del espacio circundante a los yacimientos donde era posible identificar focos de captación de recursos, posibles zonas de intercambio, caminos y movilidad, entre otros aspectos relacionados con los antiguos habitantes y su hábitat (Renfrew & Bahn, 1993).

Tras descubrir los enormes beneficios que proporcionan los SIG a los análisis arqueológicos, estos han sido utilizados en un sinnúmero de investigaciones donde se han desarrollado diferentes modos de aplicación, entre ellos se destacan algunas temáticas que han generado enormes beneficios al estudio de las sociedades antiguas, ellas son: SIG empleado en la prospección para el hallazgo de nuevos yacimientos; SIG para el análisis espacial y temporal de los sitios arqueológicos, modelamiento predictivo en SIG para la evaluación arqueológica de un territorio, entre otros.

En el presente trabajo se abordará el tema del modelamiento predictivo, pues a través de este se derivan aspectos aplicables a la gestión del patrimonio arqueológico y a la protección y conservación del mismo.

3.2. MODELAMIENTO PREDICTIVO EN SIG APLICADO A LA ARQUEOLOGÍA

Los modelos de predicción arqueológicos han sido ampliamente utilizados como una técnica que intenta identificar la localización espacial de sitios, yacimientos o artefactos arqueológicos de una zona específica. Estos modelos se basan en el patrón de distribución espacial de una muestra conocida, o en antecedentes establecidos acerca de las poblaciones humanas que habitaron o habitan un territorio, para con ello evaluar las variables ambientales y culturales que influyen en su localización, y así mismo establecer otros lugares con similares condiciones (Cacho & Camara, 2009).

Este tipo de análisis se diseñan sobre la base teórica que todos los yacimientos arqueológicos ocupan un lugar en el espacio, debido a que todas las sociedades humanas están intrínsecamente relacionadas con su medio circundante. No es posible hablar de yacimientos arqueológicos sin pensar en la modificación del paisaje que producen las actividades humanas, y como estas a su vez fueron percibidas por las sociedades que las ejecutaron (Butzer, 1989).

Hodder y Orton (1990), describen la importancia de los contextos como foco de actividades particulares que deben abordarse como unidades de análisis más amplias que vinculen aspectos del paisaje local y regional para analizar dinámicas sociales en el pasado. Por tanto los contextos son susceptibles de ser medidos y cuantificados de manera espacial y a diferentes escalas de estudio.

Es así, como los modelos predictivos se han aplicado a todo tipo de contextos y poblaciones. Un ejemplo de ello, son los modelos diseñados en el marco de investigaciones de homínidos, los cuales han arrojado buenos resultados con respecto al hallazgo de nuevos yacimientos. Ejercicios predictivos realizados en Etiopia, han cruzado información geológica, paleoecológica y ubicación de yacimientos ya reportados, para identificar lugares que pudiesen contener fósiles tanto de homínidos como de fauna asociada; en su diseño, la utilización de imágenes satelitales y análisis de reflectancia fueron fundamentales para limitar zonas con altas probabilidades de contener depósitos fósiles (Anemone, Conroy, & Emerson, 2011).

Estudios similares se han realizado en el sur de Argentina para tratar de identificar corredores de desplazamiento y asentamientos temporales de los antiguos cazadores recolectores. Para ello, los investigadores Matteucci y Scheinsohn (2004), cruzaron datos de cobertura vegetal, topografía, suelos, dirección de los vientos y sitios arqueológicos

reportados, para diseñar un modelo predictivo. Con el modelo se logró establecer que la movilidad en la zona fue baja, al igual que la probabilidad de encontrar sitios de asentamiento.

Otra temática importante abordada desde los ejercicios predictivos es el estudio de patrones de asentamiento de sociedades complejas, los cuales en su mayoría se han desarrollado haciendo uso de técnicas estadísticas. Sin embargo, estas técnicas aunque bastantes útiles, han dejado de lado el factor espacial, por lo que los análisis de SIG constituyen una herramienta fundamental para espacializar las evidencias y evaluar la distribución de los yacimientos arqueológicos con respecto a su contexto ambiental (Kintigh & Ammerman, 1982).

Granger (1990), expone que el estudio de patrones de asentamiento por medio de un SIG, puede arrojar información valiosa acerca de los fenómenos naturales que han podido impactar a una comunidad. Para ello expone algunos modelos en los que se intenta evaluar la influencia que tienen las erupciones volcánicas en la ubicación de los sitios de habitación.

En Belize, Vaughn & Crawford (2009) diseñaron un modelo predictivo para identificar zonas con altas probabilidades de contener asentamientos Mayas. Para ello emplearon tanto información topográfica como cultural, teniendo en cuenta la teoría del lugar central y estudios previos del patrón de asentamiento Maya. Encontrando así que existen altas posibilidades de hallar yacimientos al noreste de Belize, en la zona que linda con el mar Caribe.

En términos de gestión y de la valoración de impacto al patrimonio arqueológico, los modelos predictivos han sido una buena herramienta. En norte América son usados frecuentemente para la planificación urbana y ambiental, donde se utilizan datos espaciales, políticos y socioculturales actuales, para prevenir riesgos y maximizar los recursos económicos de los proyectos. Un ejemplo de ello, fue el modelo predictivo realizado en Virginia occidental, el cual se construyó sobre un proyecto de arqueología de rescate de una línea de transmisión; se utilizó información de sitios arqueológicos conocidos y sus parámetros ambientales (distancia a fuentes de agua, pendiente, elevación y tipo de drenaje). Al explorar las relaciones, se buscaron condiciones similares en toda la zona de estudio, definiendo así una zonificación de altas, medias y bajas posibilidades de encontrar sitios arqueológicos (Lock & Harris, 2006).

En Países Bajos, se han realizado trabajos similares para facilitar las labores arqueológicas y generar algunas ventajas en cuanto al trabajo de campo. Es el caso del estudio realizado en el Valle de Regee, donde se utilizó información topográfica, edafológica y la ubicación de sitios conocidos, para identificar zonas con alto potencial (Roel, Bert, & Kenneth, 1992).

En el marco de arqueología de género también se han desarrollado modelos para abordar la división sexual del trabajo entre grupos de cazadores recolectores, esto mediante la simulación espacial de la movilidad, el acceso a recursos y el modelamiento de las posibles estrategias de búsqueda de alimentos, las cuales combinadas con variables culturales como la crianza y la manutención de los niños, aportaron nuevos juicios acerca de los intereses conflictivos entre hombres y mujeres (Zeanah, 2004).

Los casos expuestos anteriormente hacen parte de un conjunto amplio de investigaciones que se han realizado en el tema. Sin embargo, en el presente trabajo se citan algunos de manera general, con el ánimo de exponer la diversidad temática que aborda este tipo de estudio y su utilización a nivel mundial.

Por otro lado, aunque los modelos de predicción de sitios arqueológicos han tenido una amplia acogida; se han planteado diversas críticas relacionadas con su diseño e implementación. La crítica más común se ha fundamentado en que la mayoría de modelos predictivos presentan cierto tinte de determinismo ambiental, pues las variables culturales no se tienen en cuenta, o se les da poco peso frente a las variables ambientales, las cuales están presentes de manera casi exclusiva en la mayoría de los trabajos. A esto se le suma el aspecto sincrónico con que se analizan las variables ambientales, pues no es preciso concebir al medio ambiente como un agente estático invariable en el tiempo (Criado, 1993).

Kvamme (2006), argumenta que las variables ambientales deben implementarse de manera coherente con la naturaleza de los datos analizados. No es posible por ejemplo establecer zonas de agricultura en el pasado analizando los suelos del presente, pues estos tienden a cambiar en el tiempo. El autor ratifica la importancia de las variables ambientales y expone que estas deben estar siempre relacionadas con las prácticas culturales de estudio. Kvamme, expone que las limitaciones de los modelos predictivos se pueden abordar teniendo en cuenta bases teóricas y haciendo uso de las nuevas tecnologías, pues insumos como la teledetección y las imágenes satelitales aportan información valiosa a los ejercicios predictivos.

Otras críticas se han centrado en temas de tipo metodológico, las cuales hacen referencia a la falta de homogeneidad en las técnicas de muestreo utilizadas para georeferenciar sitios arqueológicos, la calidad de los datos, la falta de criterios claros a la hora de aplicar los modelos y el poco cuidado que se ha dado al tema de la escala.

En arqueología, dichas críticas han sido una influencia positiva en el fortalecimiento de la técnica, pues trabajos recientes han intentado elaborar métodos más eficaces integrando variables culturales y ambientales. Se han establecido escalas de estudio acordes con los objetivos de investigación y a su vez se ha controlado bien la procedencia de la muestra de estudio. Uno de los trabajos que se resalta en este aspecto es el proyecto Modelo Andaluz de Predicción Arqueológica MAPA (Cacho & Camara, 2009), en este, se hace un detallado análisis tanto de las variables que se deben emplear para diseñar un método

acorde con los requerimientos investigativos, como la relación que estas deben tener de acuerdo con la escala de estudio.

Camacho y Camara (2009), exponen que para el desarrollo de un modelo predictivo de sitios arqueológicos es necesario en primera instancia definir una escala de estudio; estas se presentan aquí como escala grande (áreas $<100 \text{ km}^2$), escala intermedia (entre 100 km^2 y 1000 km^2) y pequeña escala $>1000 \text{ km}^2$). A mayor escala mayor resolución de análisis.

Las variables se establecen de acuerdo a la escala de trabajo. Según los autores, las escalas grandes de alta resolución se utilizan para analizar aspectos a nivel de yacimiento, por lo tanto se deben tener en cuenta un mayor número de variables culturales que respondan a las condiciones propias del sitio arqueológico en cuestión; las escalas medianas deben presentar una equivalencia en cuanto al número de variables ambientales y culturales, pues al tratarse de espacios más amplios es necesario evaluar las condiciones naturales en las que están inmersos los yacimientos; por su parte, las escalas pequeñas al abarcar mayores áreas presentan dificultades para la incorporación de variables culturales que puedan representar la diversidad cultural dada en un amplio territorio; es por ello que en este caso se le da mayor peso a las modificaciones paisajísticas que puedan observarse con base al conocimiento previo de la zona.

Se establece entonces que para el adecuado diseño de un modelo predictivo en arqueología, es necesario primero tener claro el objetivo de la investigación, y de esa manera establecer la escala y las variables de análisis, posteriormente en la fase de la recolección de la información, es necesario controlar la homogeneidad de los datos y de los muestreos que se utilizaron para su recolección. Se recomienda para las variables ambientales, manejar datos que presenten la menor variación posible en el tiempo y así reducir errores de sincronismo (Cacho & Camara, 2009).

Como se puede apreciar, a medida que se desarrollan más modelos predictivos en arqueología, y se implementan nuevas tecnologías, es posible ir superando las problemáticas más comunes en cuanto la aplicación de esta técnica. Indudablemente el valor informativo que ofrece a la disciplina arqueológica es alto, razón por la cual se debe seguir trabajando en el fortalecimiento de la misma y en el uso adecuado de los insumos espaciales propios de otras disciplinas.

Se resalta también, que los modelos predictivos aportan nuevos datos acerca de las relaciones socioambientales dadas en el pasado. Por lo que retomar esos conocimientos, pueden coayudar a hacerle frente a la explotación desmedida de los recursos naturales dada en la actualidad, y a retomar esa relación intrínseca con el medio natural en el que vivimos.

3.3. MODELOS ARQUEOLÓGICOS EN SIG EN COLOMBIA

El Atlas Arqueológico de Colombia es un proyecto estatal que tuvo sus inicios en el año 2009. Fue una iniciativa llevada a cabo por el Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC y la Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH. Su objetivo principal fue desarrollar un sistema de registro, actualización, consulta, visualización, generación de reportes e impresión del mapa integrado de sitios arqueológicos y Áreas Arqueológicas de Protección en ese país a escala 1:100.000” (Montejo & Ladino, 2010, pág. 6).

Para el desarrollo de dicho proyecto fue necesario realizar una amplia revisión bibliográfica, de la cual se extrajo información correspondiente a los sitios arqueológicos registrados a la fecha y a su ubicación espacial en el territorio colombiano. Todos los datos obtenidos fueron codificados y ordenados en una base de datos, siguiendo un modelo lógico y funcional previamente diseñado. Posteriormente la información fue montada en un aplicativo web de libre acceso, con el cual se pretendió a su vez fortalecer la Infraestructura Colombiana de datos espaciales ICDE y convertir al Atlas arqueológico en una valiosa fuente de información para las investigaciones arqueológicas y trabajos relacionados. Recientemente se han realizado actualizaciones y mejoras a dicho proyecto, pues se pretende exponer mayor cantidad de información por sitio y brindar al usuario descargas gratuitas de datos espaciales (ICANH, Arqueología y Patrimonio, Sistema de información de Arqueología y Patrimonio de Colombia, 2015).

La elaboración del Atlas Arqueológico de Colombia fue realizada por siete frentes de trabajo, los cuales estuvieron conformados por grupos de investigación de diferentes universidades de Colombia. Los informes finales de los productos de cada grupo, presentaron además del diligenciamiento de bases de datos, análisis paralelos desarrollados con la información obtenida.

Es el caso del Atlas Arqueológico de Caldas, donde Posada (2010, págs. 20-22) desarrolló tres modelos de evaluación del estado del patrimonio arqueológico en el departamento de Caldas. En el primero de ellos denominado Modelo de Valoración del Patrimonio Arqueológico, se utilizaron capas raster para reclasificar variables de conservación relacionadas con las políticas territoriales y/o municipales materializadas en los documentos oficiales (POT, PDM¹) de protección de patrimonio presentes en cada zona del departamento; como resultado se generó un mapa de zonificación, donde se expone el grado de valoración del patrimonio arqueológico por cada municipio del departamento de Caldas.

¹ POT (Plan de ordenamiento territorial) PDM (Plan de desarrollo municipal).

En el segundo, denominado Modelo de Potencial Arqueológico, se tomó como variable independiente los sitios arqueológicos conocidos, y como dependientes se utilizaron variables ambientales y de conservación (pendientes, vías, drenajes e infraestructura urbana). El análisis estadístico consistió en realizar ponderaciones de las diferentes variables a través de pesos entre 0-100%. Como resultado se obtuvo un mapa de zonificación del potencial arqueológico con una escala de valoración de 1 a 5, donde 1 es muy bajo y 5 es muy alto potencial (Posada, 2010).

En el tercer modelo de Arqueoturismo, se trabajó con ponderaciones entre diversas variables culturales (intervisibilidad, presencia de petroglifos y presencia de colecciones arqueológicas municipales). Se implementaron indicadores booleanos y análisis espaciales que arrojaron como resultado un mapa de zonificación reclasificado de 1 a 4, donde 1 es destino principal y 4 es sin interés arqueológico. Este mapa fue cruzado con las vías principales que tiene el departamento de Caldas y se estableció la ruta turística más óptima (Posada, 2010), (Posada & Duque, 2018).

Los modelos expuestos, hacen parte de los pocos esfuerzos que se han realizado en Colombia para establecer a través de un SIG zonificaciones de carácter predictivo con intereses arqueológicos. Llama la atención, que se proponen nuevos enfoques interpretativos utilizando la misma técnica, pues la propuesta de un modelo arqueoturístico, deja entrever la importancia que tiene la evaluación espacial de los sitios arqueológicos no solo en términos investigativos, sino también en ámbitos aplicativos de divulgación.

En este aspecto el Atlas Arqueológico de Colombia proporciona valiosa información para desarrollar modelos predictivos aplicados a ámbitos, académicos, de gestión, de divulgación y conservación del patrimonio arqueológico en este país. Lo cual constituye un gran avance para el desarrollo de nuevas propuestas de investigación y para la generación de conocimientos.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada sobre el cauce medio del río Cauca, en la zona norte del mismo. Esta, es una zona montañosa, donde el río es encañonado a través de múltiples escarpes. Los municipios por los que atraviesa esta franja del Cauca, se encuentran inmersos en el margen político del departamento de Antioquia, y van desde La Pintada al sur, hasta Santa Fé de Antioquia al norte, como se puede ver en la Figura 1.

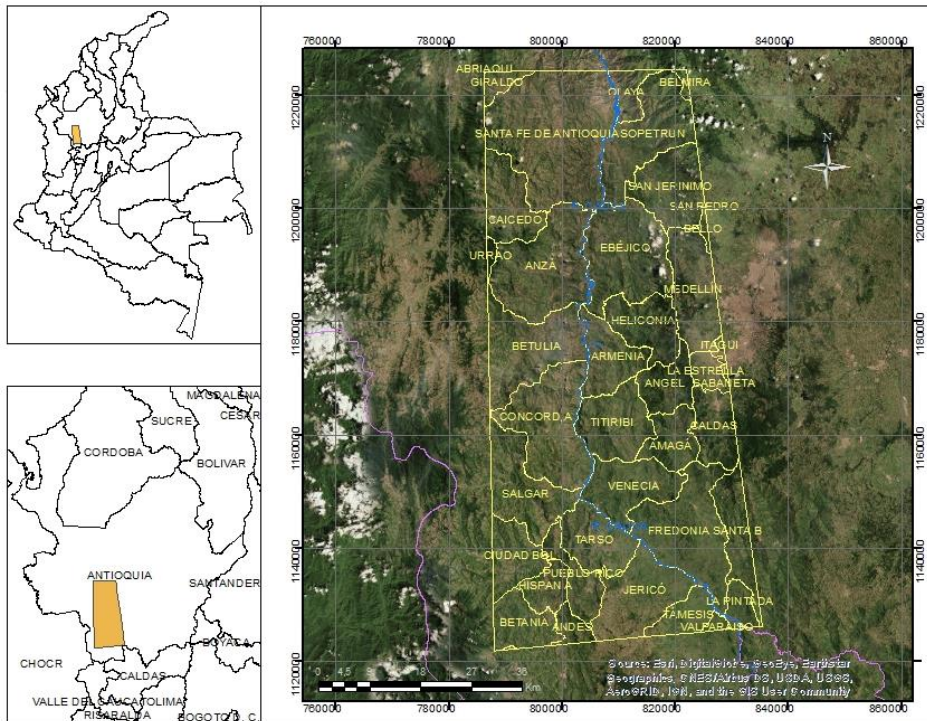


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Elaboración propia

Geográficamente la región del Cauca Medio, está marcada principalmente por las cordilleras andinas Central y Occidental y contiene una gran variedad de relieves y paisajes comprendiendo alturas entre los 170 y los 5.400 m.s.n.m. Este territorio comprende no solo grandes elevaciones como las encontradas en los cañones del río Cauca, sino que también integra planicies como las del Valle interandino del río Magdalena y el Valle del río Risaralda. En todas las áreas existen indicios una amplia ocupación de población indígena prehispánica (Bruhns K. , 1990)

Entre la margen izquierda del río Cauca y la cordillera Occidental habitaba el pueblo indígena conocido genéricamente por los españoles como “Ansermas”, pero compuesto a su interior por múltiples grupos, cuyo territorio abarcaba desde los actuales municipios de Belén de Umbría y Anserma hasta Marmato, y el grupo independiente de los Irras, en estrecha vecindad al norte con los indígenas de Caramanta y Cartama, y al occidente con

los Chamí. Los indígenas de esta zona no desaparecieron: se integraron al funcionamiento del Gran Cauca y desde 1905 al Viejo Caldas. Hoy en día sus descendientes habitan, la mayoría, en Guática, Quinchía, Riosucio, Supía y Marmato, identificándose como parte del Pueblo Embera Chamí (Duque, 1970).

Por lo anterior esta zona presenta amplios estudios arqueológicos georeferenciados en el Atlas Arqueológico de Colombia. Lo que la hace una zona adecuada para poner a prueba el modelo predictivo que se desarrolló en este trabajo. También se escogió esta zona por la alta vulnerabilidad que presenta en cuanto a la ejecución de obras de infraestructura y de explotación de recursos naturales, lo que directamente afecta al patrimonio arqueológico de la zona.

5. METODOLOGÍA

Siguiendo los objetivos específicos planteados, la metodología se dividió en tres etapas. La primera consistió en la obtención de datos espaciales, esto por medio de revisión de antecedentes arqueológicos de la zona de estudio y la obtención de datos espaciales en formato “shape”. La segunda etapa consistió en la evaluación y selección de variables culturales y ambientales, por medio de análisis espaciales y la aplicación de estadística descriptiva en el programa SPSS Statistics (versión de prueba) y StatsGraphics (modo demo). En la tercera etapa se realizó el diseño del modelo predictivo en el programa QGIS.

Las capas vectoriales de puntos de ubicación de los sitios arqueológicos registrados hasta el 2010 en la zona de estudio, se obtuvieron del Atlas arqueológico de Colombia a través de un servicio WFS (Montejo & Ladino, 2010). Algunos de los hallazgos realizados entre el 2011 y el 2017 se construyeron a partir de las coordenadas registradas en los informes de investigación.

La cartografía básica con la que se desarrolló este proyecto proviene de diferentes fuentes, las cuales en su mayoría corresponden a datos abiertos que se encuentran en las páginas web de instituciones públicas colombianas.

- Datos generales: información espacial general como divisiones políticas y vías, Escala 1:25000. En sistema de referencia WGS84. Se obtuvieron a través de la página del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Este sitio web cuenta con un geoportal de descarga de información espacial básica, en formato “shape” y por departamentos de Colombia (DANE, 2013).
- Drenajes doble y sencillo, reservas naturales, resguardos indígenas y comunidades negras de Colombia en formato “shape”. Escala de 1:25000. Sistema de referencia WGS84. Fueron obtenidos por medio de la página web del IGAC, página en la que se puede acceder a un georportal denominado Datos Abiertos IGAC, el cual fue puesto en funcionamiento desde finales del año 2017. Dicho geoportal cuenta con información espacial básica de todo el país en temas de agrología, geografía, cartografía y catastro (IGAC, 2017).
- Suelos de Antioquia: capa en formato “shape”. Escala 1:100000. Sistema de referencia MAGNA-SIRGAS/Colombia Bogotá zone. Esta información fue igualmente obtenida en la página del IGAC, a través del apartado de agrología (IGAC, 2017).
- Modelo digital de terreno (MDT): esta información se obtuvo en la página del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS, 2017). La imagen seleccionada es de tipo raster formato “tiff”. Banda 1 de dimensiones X:8860, Y:5614.

En vista que la información espacial fue obtenida por diferentes fuentes, fue necesario hacer una unificación tanto de los datos, como del sistema de referencia y el sistema de coordenadas a trabajar.

En este sentido se decidió inicialmente que el sistema referencia WGS84 (World Geodesic System 1984) fuese utilizado para extraer datos del Modelo Digital de Terreno y establecer curvas de nivel, pendientes y alturas. Sin embargo posteriormente todas las capas utilizadas se les asignó el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá, pues el trabajo con coordenadas planas facilitó el análisis espacial desarrollado en este proyecto.

A través del modelo de elevación de terreno obtenido en el proceso anterior, se extrajeron curvas de nivel y pendientes. Esto por medio de análisis espaciales realizados en QGIS.

- Curvas de nivel: con la herramienta “Contour” del paquete de geocalgoritmos de GRASS se generaron las curvas de nivel, con una distancia espacial de 20 metros. Se considera que esta distancia es apropiada para establecer de manera detallada, la pendiente de cada una de las ubicaciones de los sitios arqueológicos.
- Pendientes: La definición de pendientes se hizo en ambos sistemas métricos a través de la herramienta “r.slope” de GRASS. Esto con la intención de corroborar el buen funcionamiento de la herramienta.

5.1. ANÁLISIS ESPACIAL EN SIG

Una vez con la cartografía básica recolectada, se procedió a unificar la información en una sola tabla de atributos correspondiente a los sitios arqueológicos con el objetivo de exportar los datos y realizar análisis estadísticos variados. Para ello en primera instancia fue necesario hacer una codificación de los datos cualitativos, ya que manejar números en lugar de texto facilita los análisis espaciales, estadísticos y comparativos en cualquier programa.

Adicionalmente, para la selección de variables se generó una capa de puntos aleatorios sobre el departamento de Caldas. Estos puntos se crearon de manera intencional, con el objetivo de evaluar su comportamiento espacial y establecer comparaciones con las características geoespaciales de los sitios arqueológicos. Con ello fue posible discriminar las variables ambientales y culturales que finalmente hicieron parte del diseño del modelo predictivo.

5.1.1. Codificación de datos

La codificación consistió en asignarle un valor numérico los atributos establecidos en las capa de suelos. Este proceso no se realizó para las demás capas, pues de ellas solo se establecieron datos números como kilómetros para distancias, metros sobre nivel del mar para alturas y porcentajes y grados para pendientes.

El proceso de codificación tuvo un desarrollo más complejo de modificación. Sin bien, atributos como paisaje, clima, tipo de relieve y litología se pudieron codificar en QGIS a través de la calculadora de campos utilizando la expresión WHEN/THEM, algunos datos característicos de las propiedades físicas y químicas de los suelos de la zona de estudio se encontraban unificados en una sola columna, por lo que fue necesario extraer la información en diferentes columnas, establecer nuevos atributos y a su vez generar nuevas codificaciones.

Para realizar esta división de caracteres, se exportó la tabla de atributos de la capa de suelos a Excel. Esto utilizando simplemente los comandos copiar y pegar. Ya con la información en la hoja de cálculo, se procedió a eliminar todas las columnas que contenían otros atributos, dejando exclusivamente el apartado de ID y Característica (el primero contenía el número de identificación de cada fila y el segundo la información unificada de las propiedades de los suelos).

Las características descritas en cada celda estaban diferenciadas por comas, por lo que fue posible utilizar la herramienta de Excel “Texto en columnas” y delimitarlo por comas. De esa manera se organizó la información en columnas.

Posteriormente y de acuerdo a los datos delimitados, se generaron los nuevos atributos y se hizo una revisión intensiva para corregir posibles errores y unificar criterios. Acto seguido se codificaron las variables de los nuevos atributos asignándoles un número fijo, como se puede apreciar en la Figura 2, donde cada característica es identificada con un número. Como resultado de este proceso se crearon dos atributos nuevos, ellos son: capacidad de drenaje y textura. En algunas ocasiones no se encontraron descripciones por lo que se rellenó la celda con el apartado “sin información”.

| Litología | | Clima | | Capacidad de drenaje | |
|---|----|--|---|-----------------------------------|---|
| Depositos aluviales heterogéneos y cenizas volcánicas | 1 | Cálido húmedo | 1 | Sin información | 0 |
| Cenizas volcánicas depositadas sobre coluviones y aluviones heterogéneos | 2 | Calido seco a humedo | 2 | Bien a excesivamente bien drenado | 1 |
| Coluviones de naturaleza metamórfica | 3 | Cálido seco | 3 | Bien drenado | 2 |
| Depósitos aluviales con aporte coluvia | 4 | Cuerpo de agua | 4 | Moderadamente bien drenado | 3 |
| Depósitos aluviales mixtos con aportes de sedimentos coluviales | 5 | Frío húmedo | 5 | Pobre a moderadamente drenado | 4 |
| Depósitos aluviales y coluviales mixtos | 6 | Muy frío y muy humedo | 6 | Limitado por rocas | 5 |
| Depósitos coluviales mixtos | 7 | Medio muy húmedo | 7 | Limitado por nivel freático | 6 |
| Depósitos heterométricos mixtos coluviales y coluvio-aluviales | 8 | Templado humedo a muy humedo | 8 | | |
| Andesitas con cobertura discontinua de cenizas volcánicas | 9 | Zona urbana | 9 | | |
| Basaltos, andesitas | 10 | | | | |
| Cuarzodioritas, granodioritas y depósitos de cenizas volcánicas | 11 | | | | |
| Cuarzodioritas con cobertura continua de cenizas volcánicas | 12 | | | | |
| Diabasas, basaltos y depósitos de cenizas volcánicas | 13 | | | | |
| Diabasas, basaltos, tobas y dioritas con cobertura discontinua de cenizas volcánicas | 14 | | | | |
| Granitos, cuarzo dioritas, granodioritas con cobertura discontinua de cenizas volcánicas | 15 | | | | |
| Serpentinas y depósitos de cenizas volcánicas | 16 | | | | |
| Rocas ígneas con cobertura de cenizas volcánicas | 17 | | | | |
| Gabros | 18 | | | | |
| Rocas ígneas y metamórficas con cobertura de cenizas volcánicas y materia orgánica en las zonas depresionales | 19 | | | | |
| Esquistos | 20 | | | | |
| Esquistos y neises con cobertura de cenizas volcánica | 21 | | | | |
| Rocas metamórficas indiferenciadas | 22 | | | | |
| Arcillolitos, areniscas, conglomerados | 23 | | | | |
| Areniscas, arcillas pizarrosas y esquistos | 24 | | | | |
| Areniscas, arcillolitos, filitas y conglomerados | 25 | | | | |
| Areniscas, arcillolitos, grawacas | 26 | | | | |
| Sedimentos coluvio-aluviales mixtos | 27 | | | | |
| Zona urbana | 28 | | | | |
| | | Tipo relieve | | | |
| | | Cuerpo de agua | 1 | | |
| | | Avanico y terrazas | 2 | | |
| | | Espinazos | 3 | | |
| | | Filas y vigas | 4 | | |
| | | Glacis coluvial y coluvios de remoción | 5 | | |
| | | Glacis y coluvios de remoción | 6 | | |
| | | Lomas y colinas | 7 | | |
| | | Vallecitos | 8 | | |
| | | Zona Urbana | 9 | | |
| | | | | Paisaje | |
| | | | | Altiplanicie | 1 |
| | | | | Cuerpo de agua | 2 |
| | | | | Montaña | 3 |
| | | | | Pie de monte | 4 |
| | | | | Zona Urbana | 5 |
| | | | | Textura | |
| | | | | Sin información | 0 |
| | | | | Textura de finas a medias | 1 |
| | | | | Texturas medias | 2 |
| | | | | Texturas moderadamente gruesas | 3 |

Figura 2. Codificación de variables nuevas en la capa de suelos.

La tabla de Excel modificada se guardó como texto delimitado en formato CVS. Posteriormente en el programa QGIS se cargó este archivo desde la herramienta “añadir capa de texto delimitado”. Con la capa de suelos y el archivo CVS se realizó una unión (Join), teniendo como base el atributo en común ID. Con los datos unificados en la capa de suelos, se procedió a eliminar los atributos redundantes y a renombrar los campos de la unión, esto por medio de la herramienta “Refactor fields”. Esta herramienta permite editar tanto los nombres de los atributos, como el tipo de dato, la longitud y su orden dentro del esquema columnas de la tabla. También por medio de ella se pueden eliminar o anexar atributos.

Finalmente todos los datos de interés fueron codificados y homogenizados, dando paso al proceso de cruce de información de los sitios arqueológicos con respecto a su medio circundante. Sin embargo, antes de iniciar este proceso fue necesario crear una capa de puntos aleatorios como base de comparación.

5.1.2. Generación de puntos aleatorios

Con el objetivo de discriminar las variables que tuvieran alta relación con respecto a la ubicación espacial de los sitios arqueológicos, se generó una capa de 1000 puntos aleatorios distribuidos por toda la zona de estudio. Por medio de este ejercicio fue posible evaluar las características espaciales de otras ubicaciones que no guardan relación con

los contextos arqueológicos. Lo que permitió posteriormente realizar comparaciones y establecer las variables ambientales y culturales que tienen mayores probabilidades de predecir qué áreas tienen mayor potencial arqueológico. La generación de los puntos aleatorios fue sencilla, pues se empleó la herramienta “Random points inside polygons”, utilizando como base el polígono de la zona de estudio.

5.1.3. Unificación de datos en una sola capa

Con el objetivo de obtener información espacial específica de cada punto de análisis (tanto de los sitios arqueológicos como de los puntos aleatorios), fue necesario establecer la altura, la pendiente, los suelos, la temperatura y las distancias a: drenajes, reservas naturales, comunidades negras y resguardos indígenas de cada uno de ellos. En consecuencia, se realizaron diversos análisis espaciales, obteniendo como resultado dos tablas de atributos con toda la información unificada.

Este proceso de unificación fue el mismo tanto para los sitios arqueológicos como para los puntos aleatorios. Sin embargo, para efectos de descripción y simplificación de los procesos, se usa como ejemplo la información de los sitios.

- Altura y pendientes: se utilizó la capa vector de sitios arqueológicos, y las capas raster MDT, pendientes grados y pendientes porcentajes de la zona de estudio. Este procedimiento se realizó empleando el complemento “Point Sampling tool”, que recopila atributos de polígonos y valores raster de varias capas en puntos de muestreo especificados.
- Suelos: en este proceso se utilizó la capa obtenida del proceso anterior, la cual se guardó en el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS y la capa final de suelos. Se utilizó la herramienta “Intersection”, pues esta es otra opción de unificación de información entre capas en formato vector.
- Temperatura: como su nombre lo indica, este atributo hace referencia a la temperatura en grados centígrados estimada para cada punto de análisis. La zona de estudio está situada en una región intertropical, donde el clima o la temperatura son determinadas en gran medida por las alturas. Es así como Espinal (1991, pág. 152) plantea un esquema de rangos de temperatura, como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de temperatura según la altura. Basado en Espinal (1991).

| | Altura | Grados Centígrados | Promedio |
|---|---------------|--------------------|----------|
| 1 | 0-1000msnm | >24° | 24 ° |
| 2 | 1000-2000msnm | >=18°- <=24° | 21° |
| 3 | 2000-3000msnm | >=12°- <=18° | 15° |
| 4 | 3000-4000msnm | >=6°- <=12° | 9° |
| 5 | 4000-4500msnm | >=3°- <=6° | 4,5° |
| 6 | 4500-4800msnm | >=1,5°- <=3° | 2,25° |
| 7 | >4800msnm | <1,5° | 1,5° |

Si bien, la capa de suelos cuenta con un atributo llamado “clima”, las variables establecidas son categóricas, por lo tanto para definir los valores numéricos fue necesario crear este nuevo atributo con base a las alturas como lo presenta Espinal (1991). Así pues, en QGIS por medio de la calculadora de campos se aplicó una sentencia SQL para codificar los datos siguiendo el mismo procedimiento de los datos nominales. (Ver Figura 3).

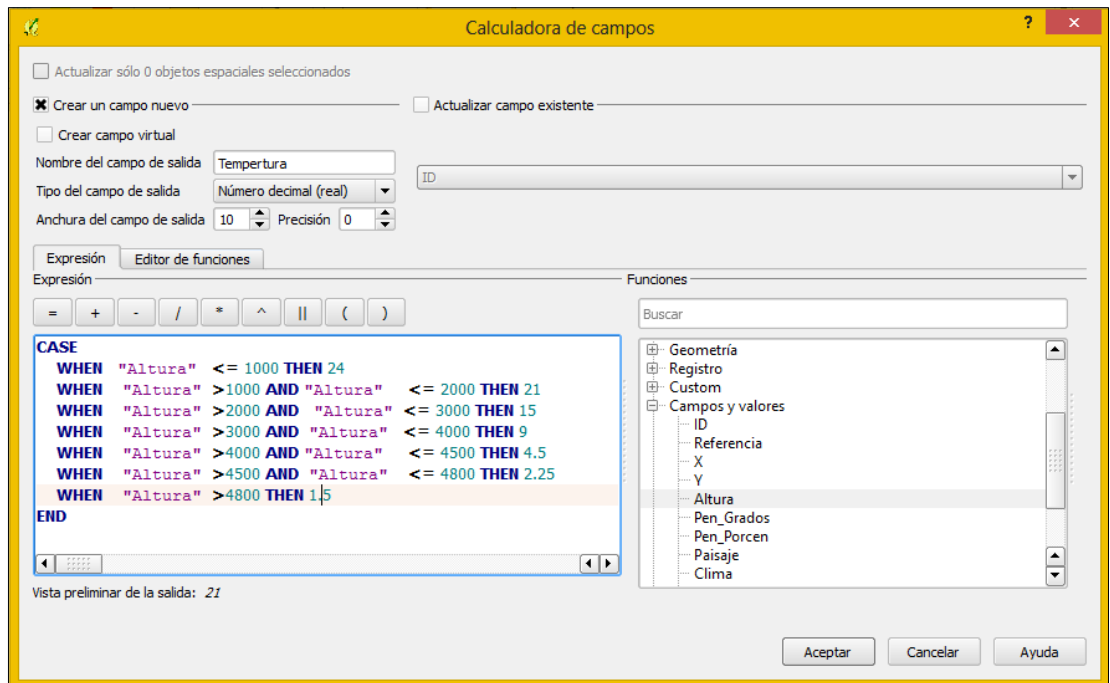


Figura 3. Reclasificación de alturas en QGIS

- Distancias a drenajes, reservas naturales, resguardos indígenas y vías²: estos atributos se obtuvieron uno por uno, pero siguiendo un mismo procedimiento. El análisis se realizó en QGIS utilizando el complemento “NNJoin”. Esta herramienta realiza cálculos de distancia lineal entre puntos, líneas o polígonos. Al ser un “Join” genera como resultado una nueva capa temporal, la cual presenta además de los atributos de las capas de entrada, un atributo adicional con las distancias en metros.
- Posteriormente las capas resultantes tanto de puntos como de tumbas, fueron editadas en QGIS. Esta última edición consistió en darle un orden a la información obtenida y en asignarles un tipo de dato estadístico a cada atributo. Por medio de la herramienta “Refactor fields”. Se borraron las columnas de los ID resultantes de las intersecciones. Se renombraron algunos atributos, homogenizando el tipo de letra y se definieron los tipos de datos y las longitudes de cada celda. Para mantener los cambios, fue necesario guardar nuevamente las capas, estas en última instancia se nombraron como SitiosArq_ZE y Puntos_ZE.

5.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES

La información de las tablas de atributos procedentes de las capas establecidas, fueron exportadas a hojas de cálculo en Excel. Esto facilitó a su vez la exportación de la información al programa SPSS.

Inicialmente para conocer el comportamiento general de los datos tanto de los sitios arqueológicos como de los puntos aleatorios, se realizaron estadísticas descriptivas en el programa SPSS. Para las variables numéricas se establecieron análisis de moda, media, mediana, varianza y desviación estándar, generando gráficos de histograma para establecer su comportamiento por cuartiles. Por su parte para los datos cualitativos se realizaron análisis de frecuencias, tablas de contingencia y gráficos de barras.

Por otro lado, se aplicó un proceso analítico jerárquico PHA (analytic hierarchy process), establecido por Saaty (1990). Con ello se buscó identificar la mejor correlación de variables para establecer el modelo.

El PHA es un análisis multicriterio que se aplica a través de un proceso analítico jerárquico, en el cual se analizan pares de criterios o variables que pueden ser cualitativas o cuantitativas. El PHA está basado en postulados psicosociales, que indican que la percepción humana, el interés y la experiencia son elementos que se combinan para la

² En este apartado no se tiene en cuenta la capa de “Comunidades Negras” pues ninguna de ellas se encuentra dentro o en inmediaciones de la zona de estudio. Sin embargo, es necesario que se tenga en cuenta cuando el área de interés integra a estas comunidades.

toma de decisiones, es decir con ellos se establecen prioridades y se generan soluciones a situaciones complejas (Saaty, 1990).

La aplicación de este método se realiza por medio de la comparación de parejas de criterios previamente seleccionados, así se logra un nivel de preferencias encaminadas a resolver un objetivo o problemática central. En primera instancia la problemática debe ser disgregada hasta llegar a un orden jerárquico de todas ellas, esto se hace por medio de un esquema llamado “árbol jerárquico” en él se estructura la problemática. Posteriormente los criterios son evaluados con base en la escala de comparaciones pareadas creada por Saaty (1990) (ver Tabla 2)

Tabla 2. Escala de comparaciones pareadas de Saaty (1990)

| Intensidad o importancia | Definición | Explicación |
|--------------------------|------------------------|--|
| 1 | Igual importancia | El criterio A es igual de importante al criterio B |
| 3 | Importancia moderada | La experiencia y el juicio favorecen al criterio A sobre el B. |
| 5 | Importancia grande | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B. |
| 7 | Importancia muy grande | El criterio A es mucho más importante que el B |
| 9 | Importancia extrema | La mayor importancia del criterio A sobre el B esta fuera de toda duda |

Estos valores son comparados en una matriz pareada, donde los mismos criterios son expuestos en columnas y en filas. Las barras inferiores tienen el inverso del valor que se le dio en las categorías superiores. Los datos resultantes de cada columna son sumados, para poder normalizar la información, esto se hace dividiendo cada valor por el total de la columna. Posteriormente se saca un promedio de los resultados de cada fila para establecer así el vector propio de los criterios evaluados.

El vector propio es el valor que finalmente define los pesos de las variables y es con el que finalmente se pueden realizar ponderaciones.

5.3. ESPACIALIZACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO MEDIANTE QGIS

La espacialización del modelo predictivo se realizó utilizando herramientas rasterización, reclasificaciones y ponderación en QGIS teniendo como base la estadística y los análisis ya descritos.

Para la elaboración de un mapa cualitativo de zonas con alto potencial de hallazgo de sitios arqueológicos en la zona de estudio, se implementó una metodología diseñada para

la espacialización de amenazas ambientales en Colombia (Boada, 2013). La cual consiste en cruzar varios mapas, cada uno con diferentes pesos y factores, para obtener mediante la ponderación un mapa final. Esta metodología utiliza análisis multicriterio para definir ponderaciones, basada en antecedentes y en criterios de expertos. En el presente trabajo los pesos y las ponderaciones están avalados por resultados estadísticos obtenidos en fases preliminares, por los que el criterio del experto se reduce a establecer las ponderaciones de la zonificación final.

Se parte entonces de la siguiente premisa: la probabilidad de sitios arqueológicos, está determinada por una combinación de variables. Las diferentes variables (culturales y ambientales), que influyen en dicha probabilidad, se pueden observar separadamente, aunque ellas se influyan una a la otra. Las variables se toman en forma de mapas raster y cada uno de ellos describe el factor que más influye en la ubicación de los sitios según los análisis estadísticos descriptivos. Posteriormente para combinar esta información se asignan diferentes valores de ponderación a cada mapa. Esto teniendo en cuenta los resultados del proceso analítico jerárquico.

El proceso de modelamiento se realizó en varios pasos:

- 1- Asignar valores de ponderación a las clases de los mapas: esto se hizo por medio de la reclasificación de datos y la generación de nuevas capas ponderadas.
- 2- Combinar los mapas de ponderación en un solo mapa: en este paso se utilizan las herramientas de la calculadora raster, la cual permite a través de sentencias SQL, cruzar información raster y con ello generar nuevos mapas.
- 3- Clasificar el mapa final y ordenar la información obtenida: como se está trabajando con información raster, es necesario para un mejor entendimiento, adecuar estéticamente la exposición de la información obtenida, esto por medio de diferentes análisis espaciales (que se describirán en los resultados).

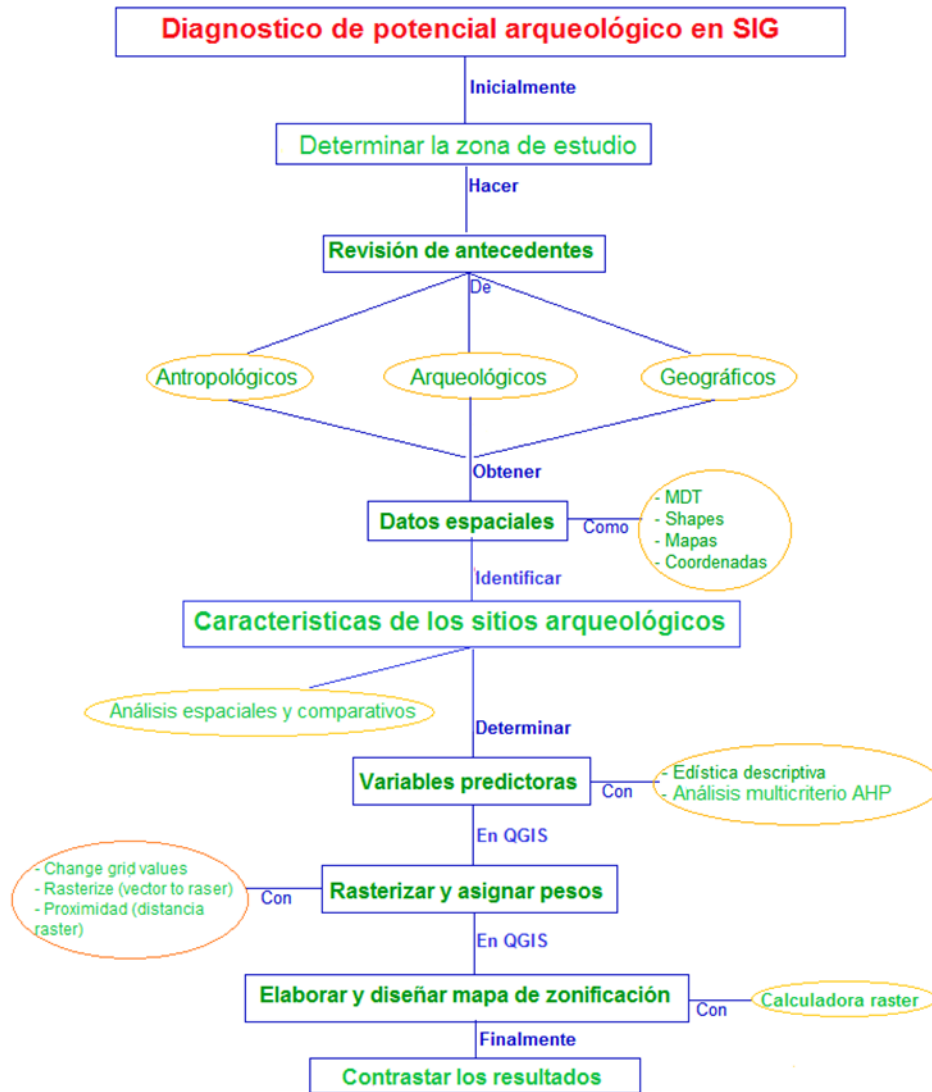
5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COMPROBACIÓN

Este análisis consistió en cruzar el mapa final de zonificación con dos nubes de puntos, la primera corresponde a 142 sitios arqueológicos reportados en el proyecto arqueológico Cañafisto (Gonzalez, y otros, 2014). Este estudio es uno de los pocos trabajos de prospección arqueológica sistemática que se han hecho en la región, es por ello que se tomó como base de comparación. Por otro lado se tienen 70 sitios que no fueron incluidos en el análisis, pues estos fueron reportados recientemente. Cabe destacar que durante el proceso de análisis y modelamiento espacial, esta información no se tuvo en cuenta.

La contrastación espacial se realizó cruzando entonces dichas capas, donde se observó si la ubicación de los sitios arqueológicos nuevos, se encontraba sobre zonas de alto,

medio o bajo potencial. Con ello se sacaron frecuencias y se estableció la viabilidad del método.

5.5. ESQUEMA METODOLÓGICO



6. RESULTADOS

En total se tienen 389 sitios arqueológicos registrados en la zona de estudio, estos incluyen diversos contextos y temporalidades arqueológicas que no se evalúan aquí por ser este un ejercicio netamente técnico.

La nube de 1000 puntos aleatorios creada anteriormente se empieza a utilizar en este apartado como base comparativa para conocer las características ambientales y culturales que se encuentran con mayor frecuencia en los sitios arqueológicos. Al ser la capa de puntos aleatoria una muestra representativa de las condiciones generales de la zona de estudio, se estima que las diferencias que se puedan observar en la comparación corresponden a características propias de la ubicación de los sitios.

6.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La comparación se realizó a través de tablas de contingencia utilizando las variables categóricas (esto por la naturaleza de los datos). Se cruzó la información de los sitios y de los puntos de manera comparativa, con el ánimo de observar si había tendencias. La ventaja de evaluar los datos a través de porcentajes, es que se pueden hacer comparaciones sin tener en cuenta las sumatorias de las frecuencias, así es posible comparar grupos de pocos casos con grupos de múltiples casos.

- Paisaje: para ambas poblaciones predominan el paisaje de montaña. Sin embargo, se observa que los puntos aleatorios tienen una tendencia de 91,4% frente a los sitios arqueológicos con un 78,1% (ver Figura 4.). Al ser la zona de estudio altamente montañosa, la ubicación de los sitios sigue esta tendencia, por lo que esta variable inicialmente no se considera fuerte para realizar el ejercicio predictivo

| | | Presencia_Ausencia | | Total |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------|
| | | Punto aleatorio | Sitio arqueológico | |
| Altiplanicie | Recuento | 9 | 30 | 39 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,9% | 7,7% | 2,8% |
| Cuerpo de agua | Recuento | 10 | 2 | 12 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,0% | 0,5% | 0,9% |
| Montaña | Recuento | 914 | 304 | 1218 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 91,4% | 78,1% | 87,7% |
| Pie de monte | Recuento | 65 | 35 | 100 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 6,5% | 9,0% | 7,2% |
| Zona urbana | Recuento | 2 | 18 | 20 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,2% | 4,6% | 1,4% |
| Recuento | | 1000 | 389 | 1389 |
| % dentro de Presencia_Ausencia | | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Figura 4. Tabla de contingencia de paisaje de sitios arqueológicos y puntos aleatorios

- Clima: igual que en el caso anterior, el clima templado húmedo a muy húmedo es muy común en la zona de estudio, por lo que los sitios arqueológicos presentaron una moda de 58,1%, y los puntos aleatorios de 58,6% (ver Figura 5).

| | | Presencia_Ausencia | | Total | |
|-------|------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------|--------|
| | | Punto aleatorio | Sitio arqueológico | | |
| Clima | Cálido húmedo | Recuento | 19 | 0 | 19 |
| | | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,9% | 0,0% | 1,4% |
| | Cálido seco a humedo | Recuento | 6 | 5 | 11 |
| | | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,6% | 1,3% | 0,8% |
| | Cálido seco | Recuento | 210 | 48 | 258 |
| | | % dentro de Presencia_Ausencia | 21,0% | 12,3% | 18,6% |
| | Cuerpo de agua | Recuento | 10 | 2 | 12 |
| | | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,0% | 0,5% | 0,9% |
| | Frío humedo | Recuento | 165 | 90 | 255 |
| | | % dentro de Presencia_Ausencia | 16,5% | 23,1% | 18,4% |
| | Muy frío muy húmedo | Recuento | 2 | 0 | 2 |
| | | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,2% | 0,0% | 0,1% |
| | Templado húmedo a muy húmedo | Recuento | 586 | 226 | 812 |
| | | % dentro de Presencia_Ausencia | 58,6% | 58,1% | 58,5% |
| | Zona urbana | Recuento | 2 | 18 | 20 |
| | | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,2% | 4,6% | 1,4% |
| Total | | Recuento | 1000 | 389 | 1389 |
| | | % dentro de Presencia_Ausencia | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Figura 5. Tabla de contingencia de clima de sitios arqueológicos y puntos aleatorios

- Tipo de relieve: predomina para ambas poblaciones el relieve de filas y vigas. Sin embargo, los puntos aleatorios presentaron mayor frecuencia en un 66,4%, mientras que los sitios arqueológicos se ubican en este tipo de relieve e un 39,8%. Llama la atención que las ubicaciones de sitios se encuentran además de las filas y vigas en espinazos (crestas ramificadas) en un 21%, en lomas y colinas en un 22% y en vallecitos en un 8.5%. Incluso en la categoría de glacis coluvial y coluvios de remoción no se ubicó ningún sitio arqueológico. Estos resultados muestran una clara tendencia a la ubicación de asentamientos prehispánicos en lugares de cima o en aderezamientos en ladera (Duque, 1970) (ver Figura 6).
- Capacidad de drenaje: si bien la zona de estudio es un área con buena capacidad de drenaje, los sitios arqueológicos tiendes a ubicarse en un 83% en dichas zonas, frente a los puntos aleatorios con un 67,8%. Esto indica que los prehispánicos buscaron siempre lugares poco inundables para establecer sus asentamientos y las practicas domésticas y rituales que ello implicaba (ver Figura 7).

| | | Tabla cruzada Tipo_Relieve*Presencia_Ausencia | | |
|--|--------------------------------|---|--------------------|--------|
| | | Presencia_Ausencia | | Total |
| Tipo_Relieve | | Punto aleatorio | Sitio arqueológico | |
| Cuerpo de agua | Recuento | 10 | 2 | 12 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,0% | 0,5% | 0,9% |
| Avanico de terrazas | Recuento | 21 | 3 | 24 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 2,1% | 0,8% | 1,7% |
| Espinazos | Recuento | 197 | 83 | 280 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 19,7% | 21,3% | 20,2% |
| Filas y vigas | Recuento | 664 | 155 | 819 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 66,4% | 39,8% | 59,0% |
| Glacis coluvial y coluvios de remoción | Recuento | 2 | 0 | 2 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,2% | 0,0% | 0,1% |
| Lomas y colinas | Recuento | 57 | 87 | 144 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 5,7% | 22,4% | 10,4% |
| Vallecitos | Recuento | 30 | 33 | 63 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 3,0% | 8,5% | 4,5% |
| Zona urbana | Recuento | 17 | 8 | 25 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,7% | 2,1% | 1,8% |
| Zona urbana | Recuento | 2 | 18 | 20 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,2% | 4,6% | 1,4% |
| Total | Recuento | 1000 | 389 | 1389 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Figura 6. Tabla de contingencia de tipo de relieve de sitios arqueológicos y puntos aleatorios

| | | Tabla cruzada Cap_Drenaje*Presencia_Ausencia | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|--|--------------------|--------|
| | | Presencia_Ausencia | | Total |
| | | Punto aleatorio | Sitio arqueológico | |
| Sin información | Recuento | 12 | 20 | 32 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,2% | 5,1% | 2,3% |
| Bien a excesivamente bien drenado | Recuento | 31 | 3 | 34 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 3,1% | 0,8% | 2,4% |
| Bien drenado | Recuento | 678 | 323 | 1001 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 67,8% | 83,0% | 72,1% |
| Moderadamente bien drenado | Recuento | 7 | 5 | 12 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,7% | 1,3% | 0,9% |
| Pobre a moderadamente drenado | Recuento | 5 | 3 | 8 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,5% | 0,8% | 0,6% |
| Limitado por rocas | Recuento | 267 | 35 | 302 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 26,7% | 9,0% | 21,7% |
| Total | Recuento | 1000 | 389 | 1389 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Figura 7. Tabla de contingencia de tipo de capacidad de drenaje de sitios arqueológicos y puntos aleatorios

- Textura: a diferencia de las variables anteriores, las modas de las poblaciones difieren en cuanto a textura, pues los puntos presentan texturas de finas a medias en un 32,7%, y los sitios arqueológicos se ubican en un 32,3% sobre texturas medias. Pese a ello los valores de otras categorías tienden a ser similares entre ambas poblaciones, y la categoría “sin información” contiene aproximadamente un 30% del total de los datos. Por lo anterior esta variable no se tuvo en cuenta para el análisis predictivo (ver Figura 8).

| | | Presencia_Ausencia | | Total |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------|
| | | Punto aleatorio | Sitio arqueológico | |
| Sin información | Recuento | 362 | 93 | 455 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 36,2% | 23,9% | 32,8% |
| Textura de finas a medias | Recuento | 327 | 91 | 418 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 32,7% | 23,4% | 30,1% |
| Texturas medias | Recuento | 221 | 129 | 350 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 22,1% | 33,2% | 25,2% |
| Texturas moderadamente gruesas | Recuento | 90 | 76 | 166 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 9,0% | 19,5% | 12,0% |
| | Recuento | 1000 | 389 | 1389 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Figura 8. Tabla de contingencia de textura de sitios arqueológicos y puntos aleatorios

- Litología: esta variable presenta amplia variedad para la zona de estudio, por lo que ambas poblaciones tienen los datos ampliamente divididos, pese a ello se pudo establecer que los puntos aleatorios se ubican en mayor medida sobre rocas metamórficas indiferenciadas en un 16,4%, y los sitios arqueológicos se ubican sobre areniscas, arcillolitas, filitas y conglomerados en un 19,5% (ver Figura 9).

| Litología | | Presencia_Ausencia | | Total |
|---|--------------------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | | Punto aleatorio | Sitio arqueológico | |
| Depositos aluviales heterogéneos y cenizas volcánicas | Recuento | 11 | 2 | 13 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,1% | 0,5% | 0,9% |
| Cuarzodioritas, granodioritas y depósitos de cenizas volcánicas | Recuento | 31 | 3 | 34 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 3,1% | 0,8% | 2,4% |
| Cuarzodioritas, granodioritas y depósitos de cenizas volcánicas | Recuento | 19 | 30 | 49 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,9% | 7,7% | 3,5% |
| Cuarzodioritas con cobertura continua de cenizas volcánicas | Recuento | 27 | 24 | 51 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 2,7% | 6,2% | 3,7% |
| Diabasas, basaltos y depósitos de cenizas volcánicas | Recuento | 46 | 20 | 66 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 4,6% | 5,1% | 4,8% |

| | | | | |
|---|--------------------------------|--------|--------|--------|
| Granitos, cuarzo dioritas, granodioritas con cobertura discontinua de cenizas volcánicas | Recuento | 8 | 30 | 38 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,8% | 7,7% | 2,7% |
| Serpentinas y depósitos de cenizas volcánicas | Recuento | 0 | 3 | 3 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,0% | 0,8% | 0,2% |
| Rocas igneas con cobertura de cenizas volcánicas | Recuento | 109 | 40 | 149 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 10,9% | 10,3% | 10,7% |
| Gabros | Recuento | 20 | 0 | 20 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 2,0% | 0,0% | 1,4% |
| Rocas igneas y metamórficas con cobertura de cenizas volcánicas y materia orgánica en las zonas depresionales | Recuento | 2 | 0 | 2 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,2% | 0,0% | 0,1% |
| Esquistos | Recuento | 124 | 9 | 133 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 12,4% | 2,3% | 9,6% |
| Esquistos y neisses con cobertura de cenizas volcánica | Recuento | 15 | 13 | 28 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,5% | 3,3% | 2,0% |
| Rocas metamórficas indiferenciadas | Recuento | 164 | 7 | 171 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 16,4% | 1,8% | 12,3% |
| Arcillolitas, areniscas, conglomerados | Recuento | 109 | 7 | 116 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 10,9% | 1,8% | 8,4% |
| Areniscas, arcillas pizarrosas y esquistos | Recuento | 22 | 3 | 25 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 2,2% | 0,8% | 1,8% |
| Areniscas, arcillolitas, flitas y conglomerados | Recuento | 61 | 76 | 137 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 6,1% | 19,5% | 9,9% |
| Areniscas, arcillolitas, grawacas | Recuento | 27 | 0 | 27 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 2,7% | 0,0% | 1,9% |
| Sedimentos coluvio-aluviales mixtos | Recuento | 10 | 8 | 18 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,0% | 2,1% | 1,3% |
| Zona urbana | Recuento | 2 | 18 | 20 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,2% | 4,6% | 1,4% |
| Coluviones de naturaleza metamórfica | Recuento | 0 | 21 | 21 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,0% | 5,4% | 1,5% |
| Depósitos aluviales con aporte coluvia | Recuento | 21 | 3 | 24 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 2,1% | 0,8% | 1,7% |
| Depósitos aluviales mixtos con aportes de sedimentos coluviales | Recuento | 6 | 0 | 6 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,6% | 0,0% | 0,4% |
| Depósitos aluviales y coluviales mixtos | Recuento | 38 | 32 | 70 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 3,8% | 8,2% | 5,0% |
| Depósitos coluviales mixtos | Recuento | 2 | 0 | 2 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 0,2% | 0,0% | 0,1% |
| Depósitos heterométricos mixtos coluviales y coluvio-aluviales | Recuento | 19 | 34 | 53 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,9% | 8,7% | 3,8% |
| Andesitas con cobertura discontinua de cenizas volcánicas | Recuento | 11 | 3 | 14 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 1,1% | 0,8% | 1,0% |
| Total | Recuento | 1000 | 389 | 1389 |
| | % dentro de Presencia_Ausencia | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Figura 9. Tabla de contingencia de litología de sitios arqueológicos y puntos aleatorios

Con los análisis anteriores se descartaron las variables categóricas paisaje, clima y textura por considerarlas poco significativas, puesto que no presentan marcadas diferencias entre las poblaciones de sitios arqueológicos y puntos. Por su parte las variables capacidad de drenaje, tipo de relieve y litología continuaron en el proceso de análisis predictivo.

En cuanto a las variables cuantitativas, se aplicaron medidas de tendencia central y de dispersión (media, mediana, moda y variación estándar) en ambas poblaciones (ver Figura 10 y Figura 11).

| Estadísticos | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------------|-----------|------------|-------------|--------------------|---------------------|----------|-------------------|-----------|
| | | Altura | PenGrados | PenPorcent | Temperatura | Dist_Drenaje Doble | Dist_DrenaS encillo | Dist_PNN | Dist_Resguardos | Dist_Vias |
| N | Válido | 389 | 389 | 389 | 389 | 389 | 389 | 389 | 389 | 389 |
| | Perdidos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Media | | 1631,31 | 15,81 | 39,17 | 19,75 | 5707,81 | 263,53 | 3098,34 | 35471,73 | 273,58 |
| Mediana | | 1641,00 | 14,00 | 25,00 | 21,00 | 4511,00 | 220,00 | 1748,00 | 28727,00 | 179,00 |
| Moda | | 1374 ^a | 8 | 14 | 21 | 0 ^a | 117 ^a | 0 | 7582 ^a | 28 |
| Desviación estándar | | 579,519 | 11,852 | 107,077 | 3,339 | 4199,155 | 211,209 | 3302,486 | 21987,898 | 254,206 |

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Figura 10. Medidas de tendencia central y dispersión de las variables numéricas de los sitios arqueológicos.

| Estadísticos | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|-----------|------------|-------------|--------------------|---------------------|----------|--------------------|-----------------|
| | | Altura | PenGrados | PenPorcent | Temperatura | Dist_Drenaje Doble | Dist_DrenaS encillo | Dist_PNN | Dist_Resguardos | Dist_Vias |
| N | Válido | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | Perdidos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Media | | 1432,71 | 21,58 | 49,09 | 20,75 | 5509,42 | 307,34 | 5652,15 | 41245,22 | 383,16 |
| Mediana | | 1433,00 | 21,00 | 39,00 | 21,00 | 4606,50 | 255,00 | 4979,50 | 37247,50 | 297,50 |
| Moda | | 1887 | 22 | 31 | 21 | 0 | 220 ^a | 0 | 11400 ^a | 21 ^a |
| Desviación estándar | | 579,258 | 12,196 | 111,378 | 3,056 | 4246,590 | 237,769 | 4310,081 | 25610,475 | 340,438 |

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Figura 11. Medidas de tendencia central y dispersión de las variables numéricas de los puntos aleatorios.

También se generaron histogramas para visualizar el comportamiento de los datos y realizar comparaciones. Las comparaciones se hicieron utilizando los valores de la media de cada variable, con el objetivo de conocer los promedios por cada caso. A continuación se exponen los resultados:

- Altura msnm: la media tanto para las tumbas como para los puntos aleatorios es difiere un poco, pues los sitios se ubican en promedio a 1631msnm y los puntos aleatorios un promedio de 1432msnm. Sin embargo, los histogramas exponen que la variedad de alturas es amplia, pero que la tendencia suele esta sobre alturas medias (ver Figura 12).

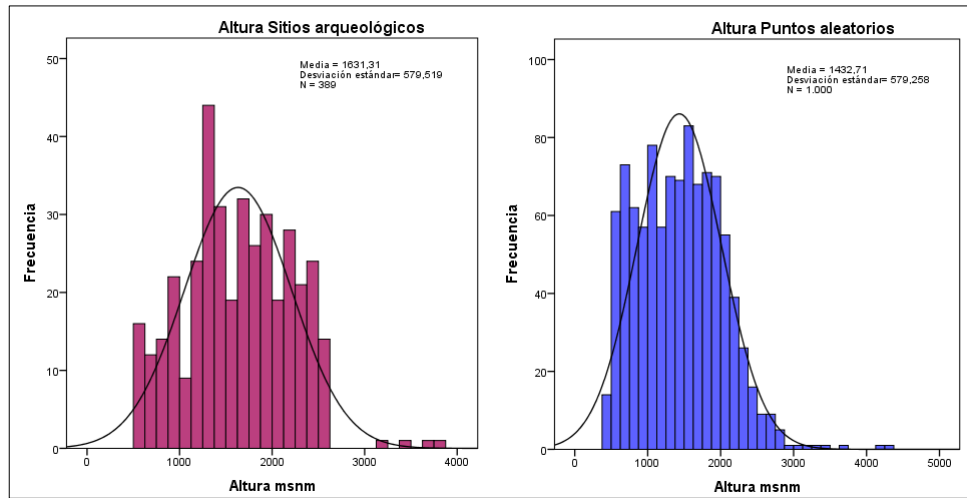


Figura 12. Histogramas de altura

- Pendiente en porcentaje: las poblaciones presentan medias de pendiente similares. Los sitios arqueológicos fueron construidas sobre zonas onduladas con pendientes del 39%, y los puntos aleatorios presentan porcentajes un poco más altos, teniendo un promedio de 49% (ver Figura 13)

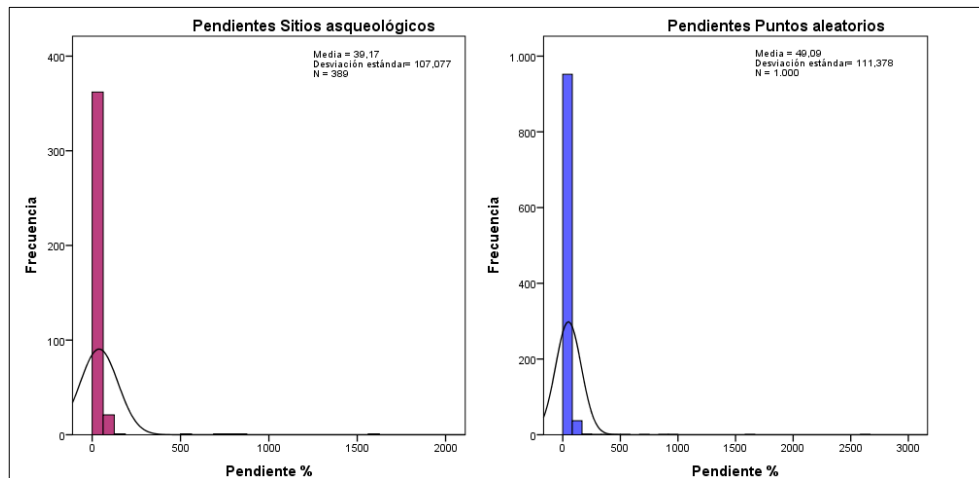


Figura 13. Histogramas de pendientes

- Temperatura: las medias de ambas muestras son similares, pues los sitios se ubican en promedio en clima de 19,7°C y los puntos en 20°C. Esta homogeneidad no presentó un sustento fuerte para el análisis comparativo, por lo que se descartó (ver Figura 14).

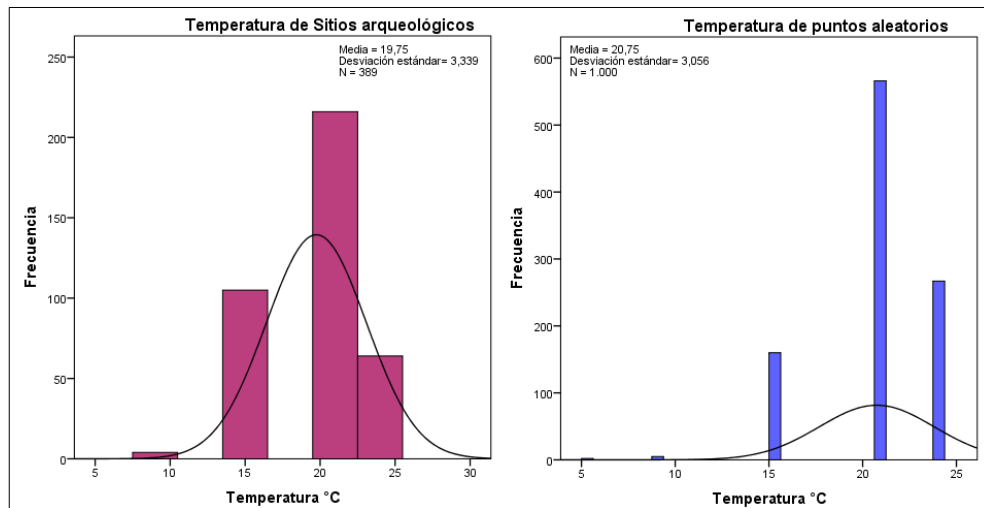


Figura 14. Histogramas de temperatura

- Distancia a drenajes dobles: ambas poblaciones presentan medias similares pues los sitios se encuentran a 5707m, y los puntos a 5509m de distancia. Al tener la zona de estudio alta cantidad de fuentes de agua, esa no se considera una variable determinante por lo que se descarta (ver Figura 15).

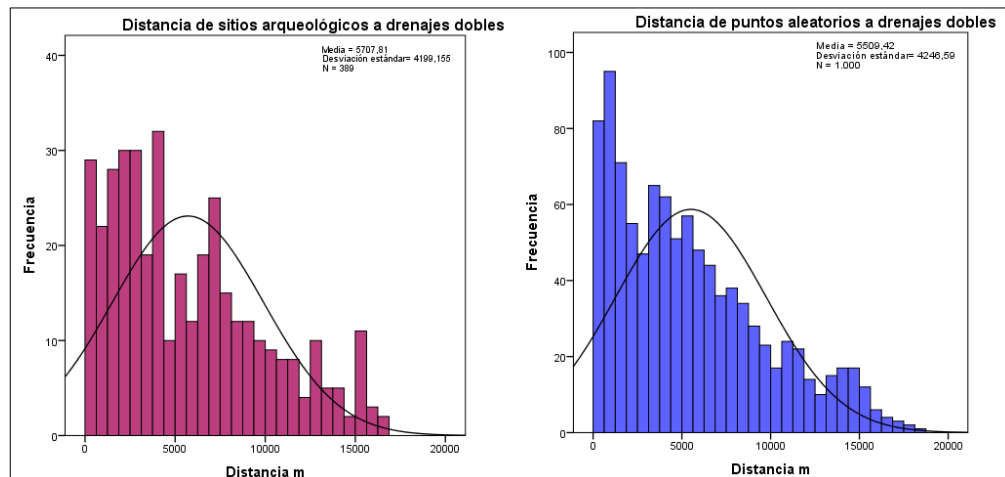


Figura 15. Histogramas de distancia a drenajes dobles

- Distancia a drenajes sencillos: igualmente las distancias son similares. Los sitios presentan una distancia promedio de 263m, y los puntos de 307m, por ello esta variable fue descartada (ver Figura 16).

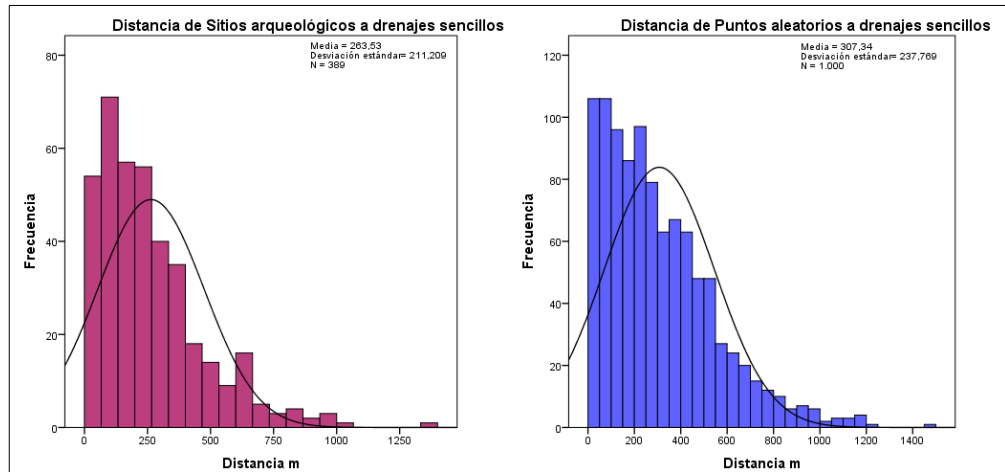


Figura 16. Histogramas de distancia a drenajes sencillos

- Distancia a parques nacionales naturales PNN: esta variable llama la atención porque los sitios arqueológicos suelen ubicarse cerca de los parques naturales, los cuales son zonas poco exploradas y protegidas, la distancia media de sitios y parques es de 3098m mientras que los puntos presentaron una distancia de 5652m.

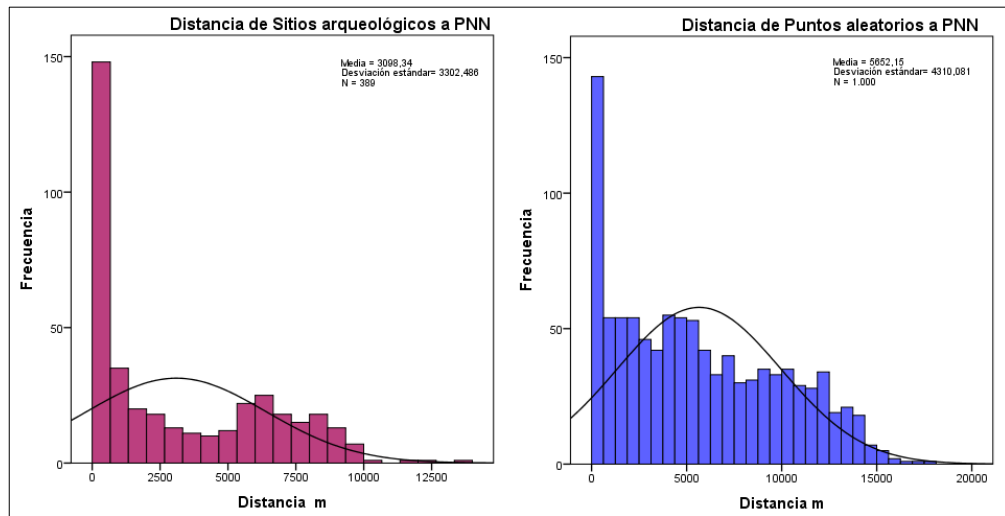


Figura 17. Histogramas de distancias a PNN

- Distancia a resguardos indígenas: los resultados de esta variable arrojaron valores muy altos, por lo que no se tomó como una variable predictiva. Sin embargo, en temas arqueológicos es necesario tener siempre en cuenta esta variable en análisis iniciales, puesto que su importancia tiene mucho que ver con la zona de estudio que se quiera evaluar. En este caso la distancia de sitios a resguardos

presentó un promedio de distancia de 35471m, y los puntos aleatorios un promedio de 41245m (ver Figura 18).

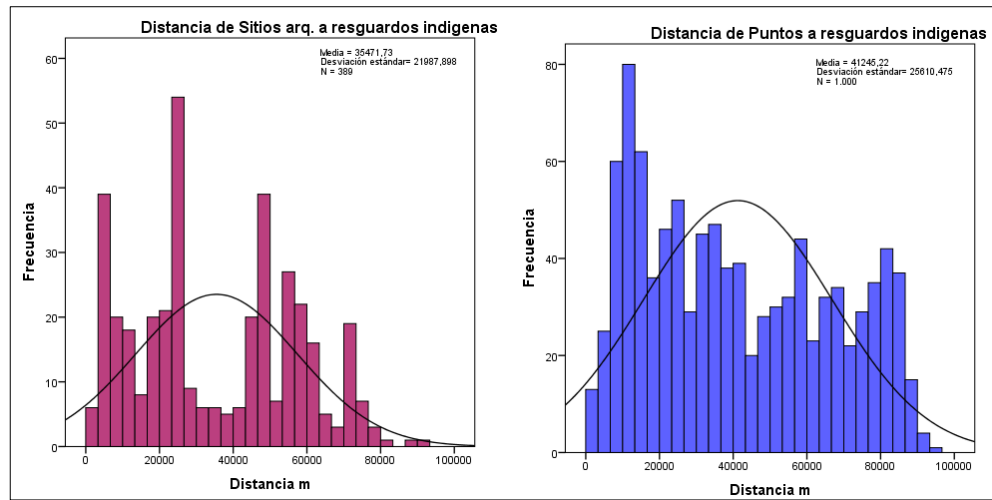


Figura 18. Histogramas de distancias a resguardos indígenas.

- Distancia a vías: toda la zona de estudio presenta accesibilidad vial, por ello es frecuente encontrar los sitios arqueológicos cerca de vías tanto principales como secundarias. Es por ello que tanto los sitios como los puntos presentan distancias cercanas con 275m y 383m respectivamente. La variable se descartó puesto que no establece diferencias claras de las dos poblaciones (ver Figura 19).

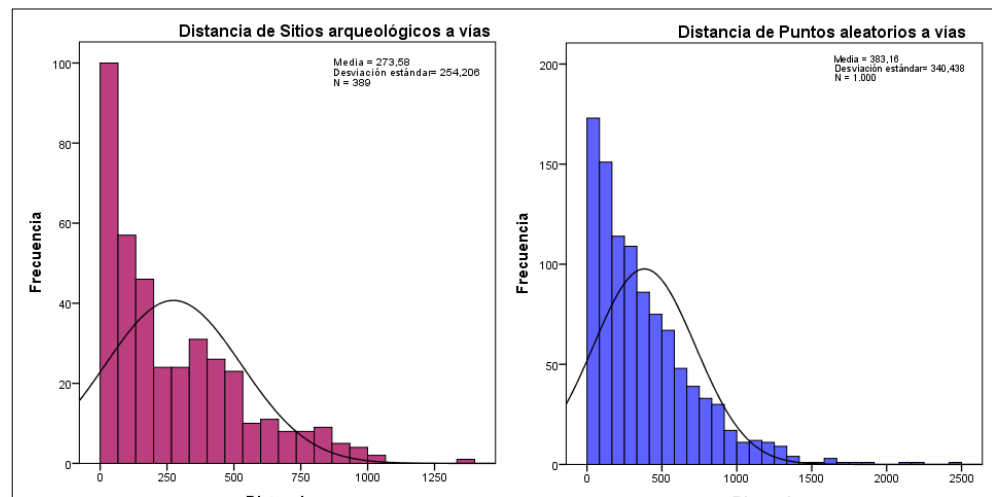


Figura 19. Histogramas de distancia a vías

Con los resultados preliminares de la estadística descriptiva para los datos cuantitativos, se pudieron identificar tendencias entre los sitios y las variables: alturas próximas a 1631msnm y distancia a parques nacionales naturales de aproximadamente 3098m. Por

su parte inicialmente se descartan los atributos: pendientes, temperatura, distancias a drenajes dobles, sencillos, resguardos indígenas y vías, pues desde un punto de vista arqueológico y/o estadístico, no permiten observar particularidades con respecto a la ubicación de los sitios arqueológicos.

6.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO

Con el objetivo de identificar el potencial arqueológico de la zona de estudio se realizó un esquema de árbol jerárquico (ver Figura 20) donde se desglosa la problemática.

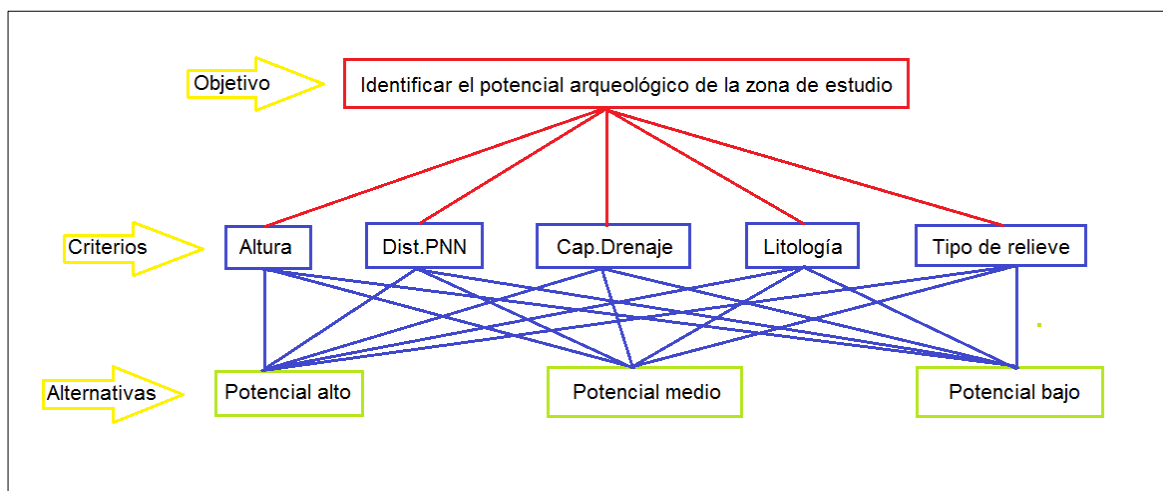


Figura 20. Árbol jerárquico según Saaty (1990)

Con los criterios ya establecidos se generó una matriz pareada donde se ponderaron los criterios de acuerdo a los valores establecidos en la Tabla 2. Los valores fueron otorgados teniendo como base los resultados de la estadística descriptiva ya expuesta, y los antecedentes arqueológicos propios de la zona de estudio (ver). Se estableció así lo siguiente:

- Altura/Distancia PNN: la importancia de la altura sobre la distancia es de 1/5, pues arqueológicamente la ubicación de los sitios se ha situado en un rango de alturas bastante amplio. Por su parte la distancia a PNN tiene una importancia grande con un valor de 5, pues estas son áreas poco intervenidas, por tanto la posibilidad de contener sitios arqueológicos bien conservados es alta.
- Altura /Capacidad de drenaje: la importancia de la altura sobre la capacidad de drenaje es de 1/7, pues tanto los estudios arqueológicos como los antecedentes etnohistóricos sugieren que los asentamientos prehispánicos se realizaban en lugares con buena capacidad de drenaje (Duque, 1970), donde los contextos

domésticos y funerarios no se vieran alterados por la humedad. También la estadística descriptiva muestra que los sitios arqueológicos son encontrados con una frecuencia del 83% (ver Figura 7). Es por ello que la importancia de la capacidad de drenaje tiene un valor de 7 frente a la altura.

- Altura/Litología: estos criterios se consideran de igual importancia, por ello se les asigna un valor de 1. Este valor se estima de acuerdo a los resultados de la estadística descriptiva, pues los sitios arqueológicos están ubicados sobre una amplia variedad tanto de alturas como de materiales litológicos.
- Altura/ Tipo de relieve: la importancia de la altura sobre el tipo de relieve es de 1/3, puesto que los asentamientos prehispánicos se realizaban por lo general sobre zonas que ofrecieran una base sólida para la elaboración de viviendas y estructuras en tierra. Por lo general se ubicaban en cimas a diferentes alturas. Por lo que el tipo de relieve tiene una importancia de 3 sobre la altura.
- Distancia PNN/Capacidad de drenaje: la importancia de la distancia a PNN sobre capacidad de drenaje es de 1/5. Pues en tiempos prehispánicos no existía como tal la figura de PNN, por lo tanto las zonas con buena capacidad de drenaje fueron pueden estar tanto dentro como fuera de estos parques.
- Distancia PNN/Litología: la importancia de la distancia a PNN sobre la litología es de 1/3. Pues como se mencionó antes, la figura de PNN es nueva, mientras que la litología se ha conservado igual por miles de años. Sin embargo, la litología presenta un valor de 3 por que la variedad es amplia.
- Distancia PNN/Tipo de relieve: la importancia de la distancia a PNN sobre el tipo de relieve es de 1/5. Esto porque los tipos de relieve se pueden encontrar en otras zonas que no son necesariamente consideradas PNN. El tipo de relieve tiene un valor de 5 porque a pesar de la variedad geomorfológica que presenta la zona de estudio, las comunidades prehispánicas prefirieron construir sus asentamientos en cimas o en aterrazamientos en ladera (Duque, 1970).
- Capacidad de drenaje/Litología: la importancia de la litología es de 5. Esto debido a que las zonas bien drenadas fueron fundamentales para la construcción de asentamientos prehispánicos, como se ha expuesto anteriormente. Por su parte la litología tiene un valor de 1/7 debido a que los sitios arqueológicos se pueden encontrar sobre diversos materiales litológicos como se expone en la Figura 9.
- Capacidad de drenaje/Tipo de relieve: la importancia de la capacidad de drenaje sobre el tipo de relieve es de 3. Pues si bien ambos criterios se consideran importantes para la ubicación de sitios arqueológicos, se establece que la

capacidad de drenaje tiene mayor peso, esto debido tanto a los resultados expuestos en la Figura 6, como a los antecedentes arqueológicos donde las zonas bien drenadas eran consideradas aptas para la construcción de asentamientos.

- Litología/Tipo de relieve: la importancia de la litología sobre el tipo de relieve es de 1/3. Esto por que como se ha mencionado anteriormente los sitios pueden estar ubicados en una amplia gama de materiales litológicos, por lo que el tipo de relieve tiene un valor de 3, pues las comunidades prehispánicas tendían a asentarse sobre cimas y aterrazamientos en ladera.

| Criterio | Altura | Distancia a PNN | Capacidad de drenaje | Litología | Tipo de relieve | | |
|----------------------|---------------|-----------------|----------------------|-----------|-----------------|-------|---------------|
| Altura | 1,00 | 0,20 | 0,14 | 1,00 | 0,33 | | |
| Distancia PNN | 5,00 | 1,00 | 0,20 | 0,33 | 0,20 | | |
| Capacidad de drenaje | 7,00 | 5,00 | 1,00 | 7,00 | 3,00 | | |
| Litología | 1,00 | 3,00 | 0,14 | 1,00 | 0,33 | | |
| Tipo de relieve | 3,00 | 5,00 | 0,33 | 3,00 | 1,00 | | |
| Total | 17,00 | 14,20 | 1,82 | 12,33 | 4,87 | | |
| Criterio | Normalización | | | | | Total | Vector propio |
| Altura | 0,06 | 0,01 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,30 | 0,06 |
| Distancia PNN | 0,29 | 0,07 | 0,11 | 0,03 | 0,04 | 0,54 | 0,11 |
| Capacidad de drenaje | 0,41 | 0,35 | 0,55 | 0,57 | 0,62 | 2,50 | 0,50 |
| Litología | 0,06 | 0,21 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,50 | 0,10 |
| Tipo de relieve | 0,18 | 0,35 | 0,18 | 0,24 | 0,21 | 1,16 | 0,23 |
| Total | | | | | | | 1,00 |

Figura 21. Matriz pareada (tabla superior), normalización y vector propio según Saaty (1990)

Con los resultados de la matriz pareada se pudieron establecer los pesos finales de cada criterio, tomando como base el valor del vector propio. Así pues se estimó para este caso que la altura tiene una ponderación del 6%, la distancia a PNN de 11%, la capacidad de drenaje de un 50%, la litología de un 10% y el tipo de relieve de un 23%.

6.3. ESPACIALIZACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO

Con el ánimo de dar a comprender de manera detallada el proceso que se realizó para la elaboración del mapa de zonificación de potencial arqueológico del área de estudio, se abordará la temática siguiendo tres pasos descritos a continuación:

7.3.1. Rasterización y asignación de pesos

Tras definir las variables más óptimas para hacer parte del modelo predictivo (altura, distancia a PNN, capacidad de drenaje, litología y tipo de relieve), se procedió a generar un mapa raster de cada una de ellas. Estos mapas se elaboraron a través de reclasificaciones, donde se asignaron pesos a los atributos de cada variable, teniendo en cuenta los resultados de la estadística descriptiva (tablas de contingencia para los datos categóricos e histogramas para los datos numéricos). Los valores de la reclasificación se asignaron siguiendo un orden jerárquico (1,2 y 3) donde 1 hace referencia al dato que mayor porcentaje de relación presenta con la ubicación de sitios arqueológicos, 2 equivale a un porcentaje medio de relación, y 3 a un porcentaje bajo (ver Figura 22).

| Capacidad de drenaje | |
|-----------------------------|-------|
| Atributos | Pesos |
| Bien drenado | 1 |
| Limitado por rocas | 2 |
| Otras | 3 |

| Altura msnm | |
|--------------------|-------|
| Rangos | Pesos |
| 0-1000 | 2 |
| 1000-2000 | 1 |
| 2000-3000 | 2 |
| 3000-4000 | 3 |

| Litología | |
|--|---|
| Areniscas, arcillolitas, filitas y conglomerados | 1 |
| Rocas igneas con cobertura de cenizas volcánicas | 2 |
| Cuarzodioritas, granodioritas y depósitos de cenizas volcánicas | 2 |
| Depositos heterometricos mixtos coluviales y coluvio aluviales | 2 |
| Depositos aluviales y coluviales mixtos | 2 |
| Granitos, cuarzodioritas, granodioritas con cobertura discontinua de ceniza volcánicas | 2 |
| Otras | 3 |

| Distancia a PNN en m | |
|-----------------------------|-------|
| Rangos | Pesos |
| 0-2500 | 1 |
| 2500-5000 | 2 |
| 5000-7500 | 3 |
| 7500-10000 | 3 |
| 10000-12500 | 3 |

| Tipo de relieve | |
|------------------------|---|
| Filas y vigas | 1 |
| Espinazos | 2 |
| Lomas y colinas | 2 |
| Vallecitos | 2 |
| Otros | 3 |

Figura 22. Proceso de asignación de pesos por variables.

- **Altura:** para la generación de este se tuvo como base el MDT. La clasificación de las alturas por rangos se estableció siguiendo los datos expuestos en el histograma de alturas de sitios arqueológicos (ver Figura 12), para ello se siguió la ruta: –propiedades - estilo- unibanda pseudocolor donde se asignaron cuatro rangos (ver Figura 22). Para la reclasificación de estos rangos, se seleccionaron los que contenían mayor porcentaje de ubicación de sitios y se les asignó el valor 1. Por su parte los rangos que tenían presencia de sitios pero en bajas proporciones, se reclasificaron con el valor 2, mientras que los rangos que no presentaron sitios o los tenían pero con muy bajas frecuencias se les asignó el valor 3. La reclasificación se hizo a través de la herramienta de SAGA “Change grid values” (ver Figura 23)

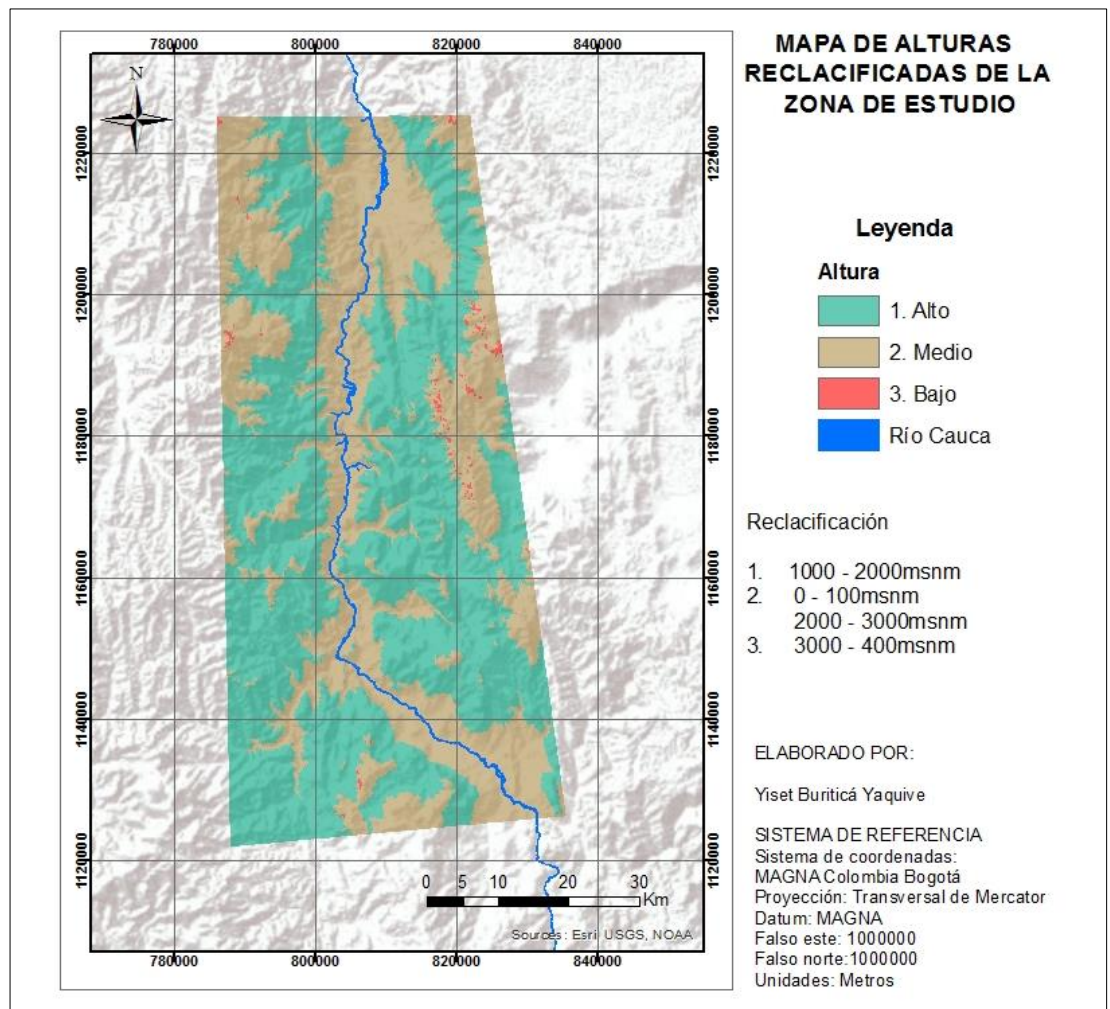


Figura 23. Mapa de alturas

- Distancia a PNN: la generación del raster de distancias a PNN se realizó con base a la capa de PNN, la cual fue transformada a raster por medio de la herramienta "Rasterize (vector to raster)". A esta nueva capa se le aplicó el complemento raster "Proximidad (distancia raster)". Esta herramienta permite establecer distancias con base a la proximidad de un elemento, en este caso los PNN. Si las coordenadas son planas las distancias son establecidas en metros, por su parte si son geográficas las distancias se miden en longitud. Para este caso se usaron coordenadas planas. La clasificación y la reclasificación de los datos se realizaron teniendo en cuenta los mismos criterios y las mismas herramientas espaciales expuestas anteriormente para alturas (ver Figura 24).

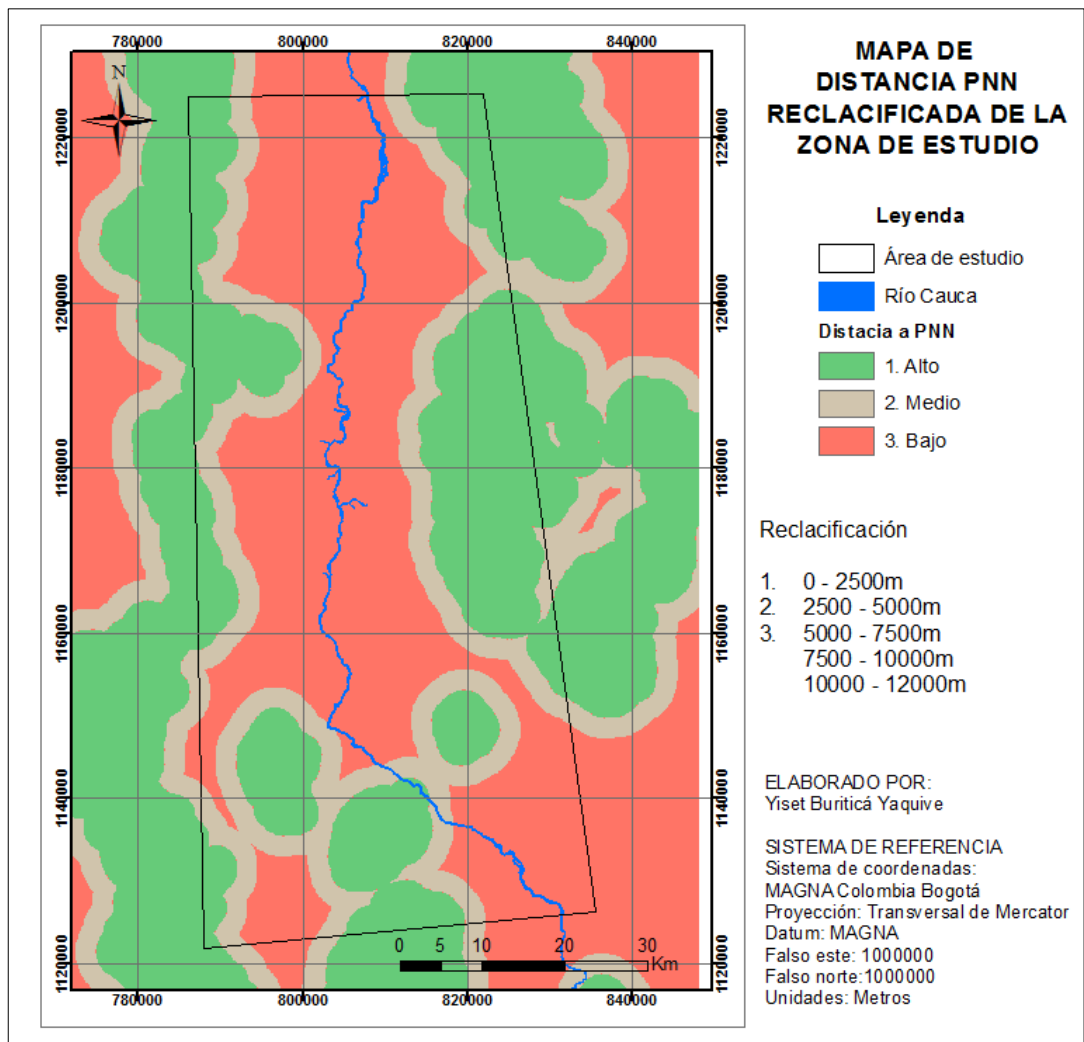


Figura 24. Mapa de distancias a Parques Naturales Nacionales PNN

- Capacidad de drenaje: para la rasterización de esta variable se tomó la capa de suelos codificada anteriormente. Como la capa estaba en formato vector, fue necesario transformarla a formato raster aplicando la herramienta “Rasterize (vector to raster)”, en la transformación solo se tuvo en cuenta el atributo capacidad de drenaje. Como esta variable es categórica, no se establecieron rangos de clasificación y se reclasificó directamente, teniendo en cuenta los datos de la tabla de contingencia de la Figura 7. La capacidad de drenaje que presentó mayor porcentaje de frecuencia fueron reclasificados con el valor 1, los que tenían porcentajes bajos pero presentaban algún tipo de relación se les asignó el valor 2, y los que no tenían muy pocos sitios asociados fueron reclasificados con el valor 3. (ver Figura 25).

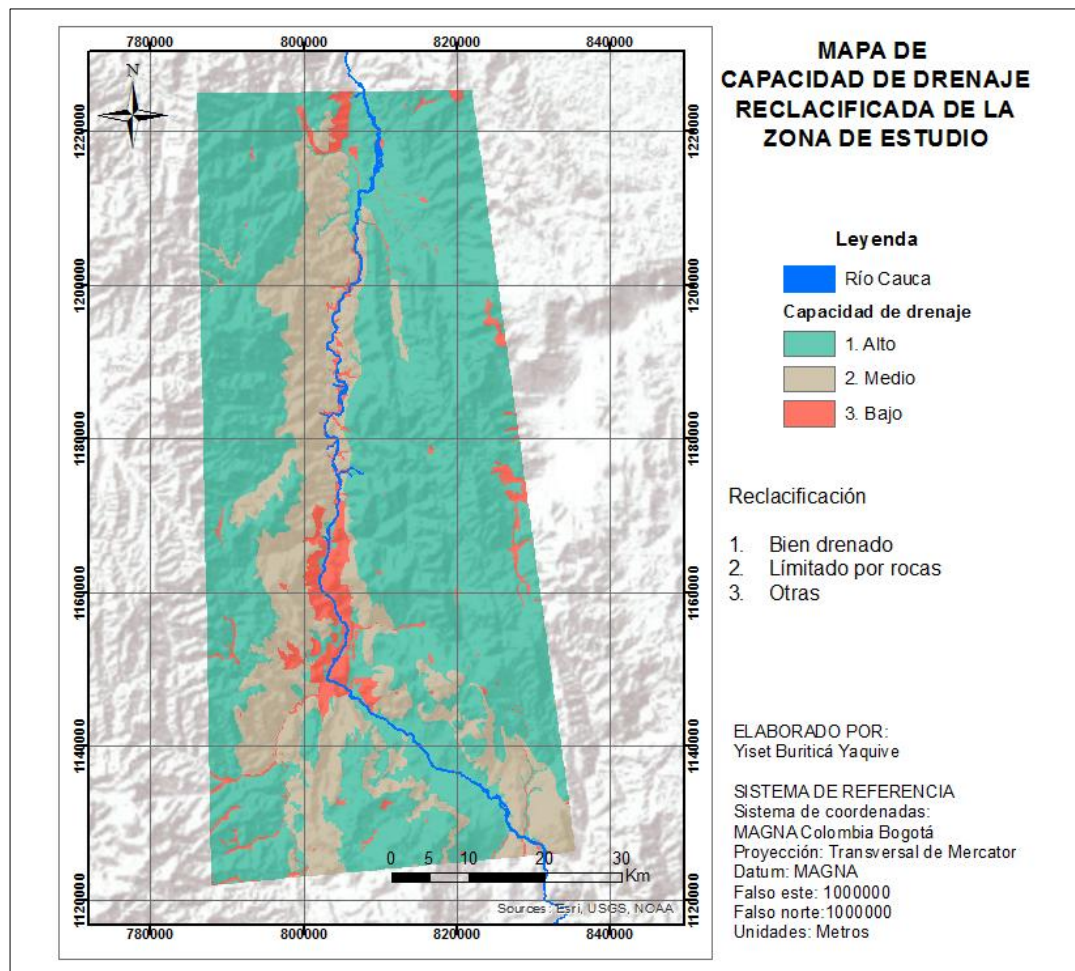


Figura 25. Mapa de capacidad de drenaje

- Litología: el proceso de rasterización de esta variable fue el mismo que se realizó para la capa de capacidad de drenaje, pues se siguieron criterios semejantes de asignación de pesos y reclasificación. Lo único que cambia es que para este caso se extrajo de la capa de suelos el atributo litología, y se utilizó la información de la tabla de contingencia de la Figura 9. (ver Figura 26)

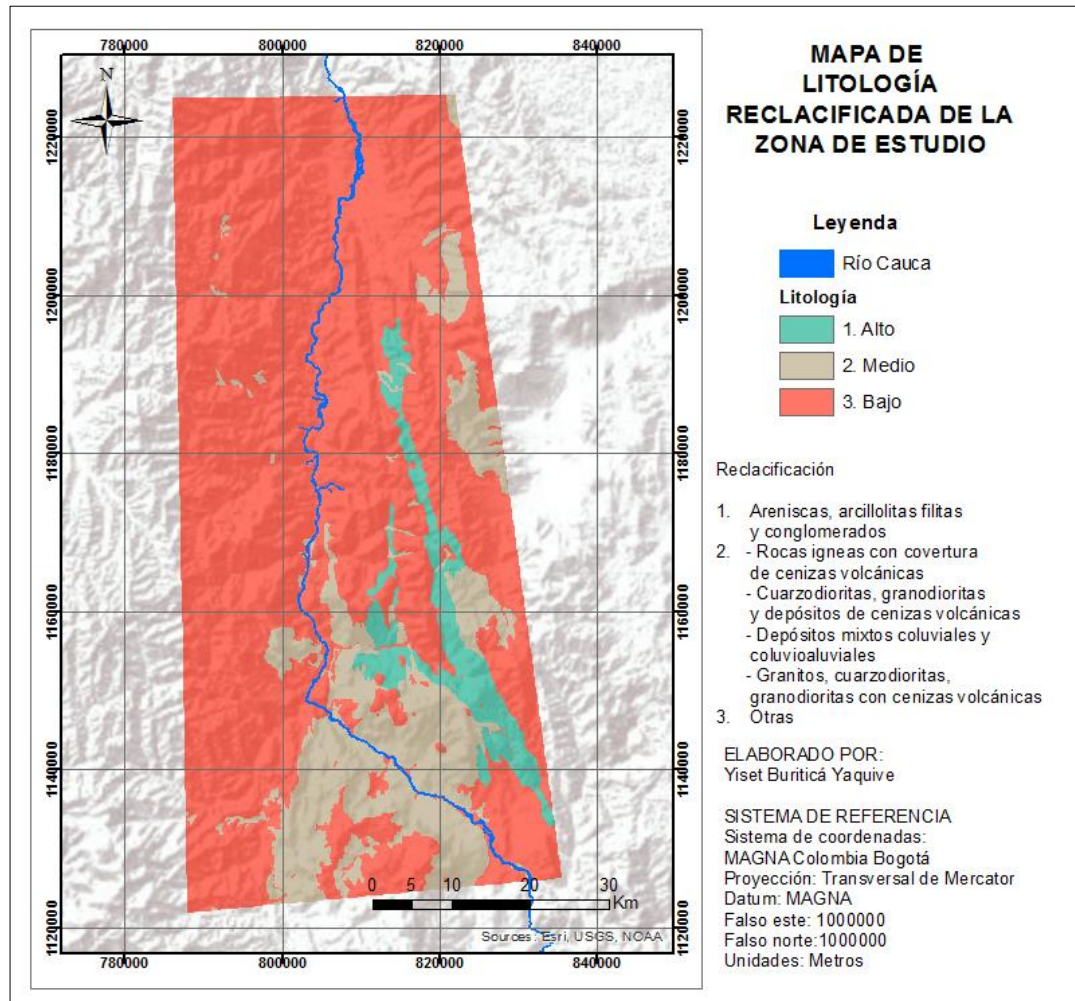


Figura 26. Mapa de capacidad de litología

- Tipo de relieve: el proceso de rasterización fue el mismo que para capacidad de drenaje y litología. Se extrajo de la capa de suelos el atributo tipo de relieve y se reclasificó según la tabla de contingencia de la Figura 6. (Ver Figura 27)

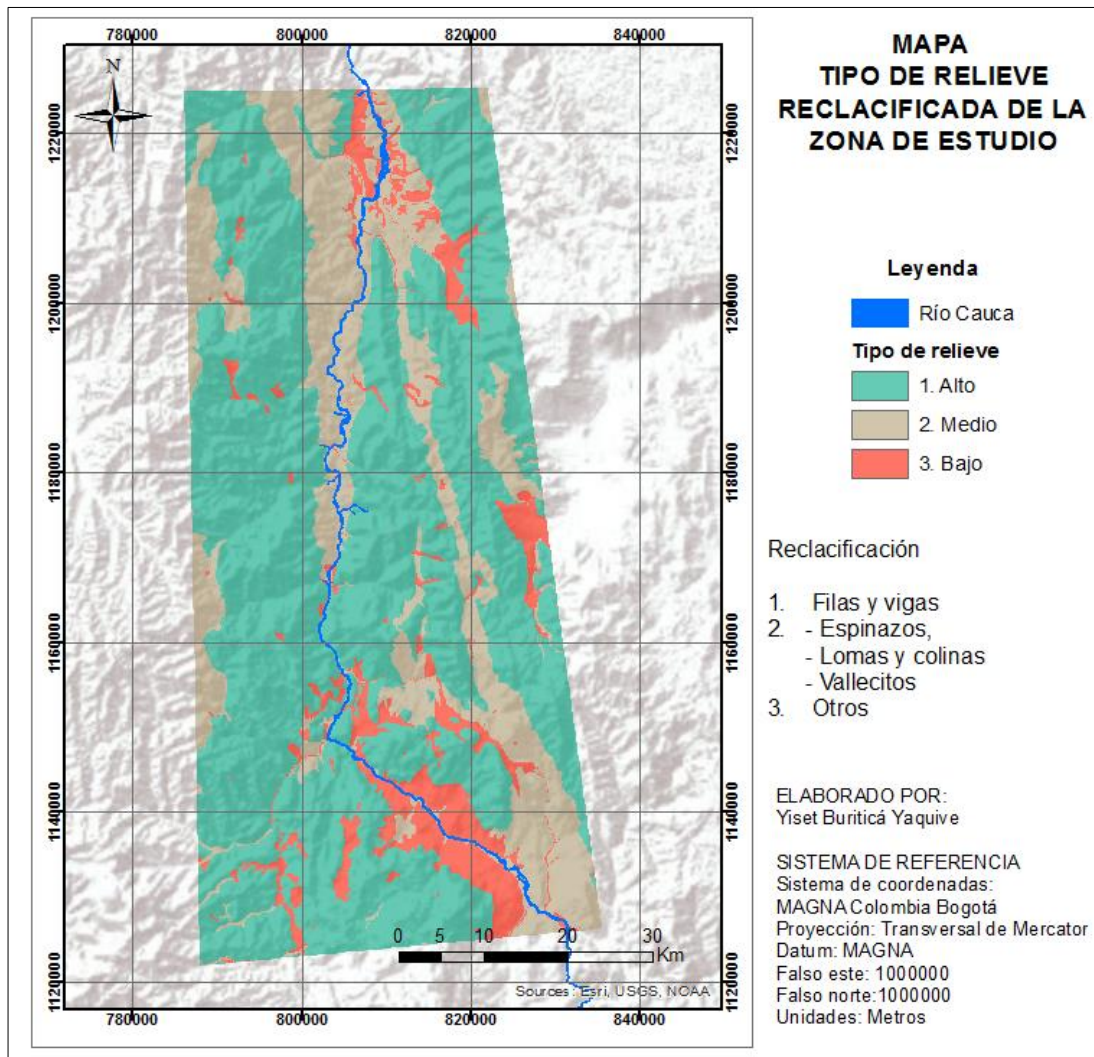


Figura 27. Mapa de tipo de relieve

7.3.2. Creación del mapa de zonificación

Con los mapas de las variables construidos y ponderados, se procedió a realizar la unificación de los mismos, para así establecer las zonificación de potencial arqueológico del polígono de estudio. Para ello se hizo una sumatoria de los mapas raster, teniendo en cuenta que cada uno de ellos representa una variable, y que cada variable tiene porcentajes de significancia diferentes dentro del modelo.

Así pues, en este punto se citan nuevamente los resultados del análisis multicriterio PHA, donde se tomaron los datos establecidos para el vector propio (expuesta anteriormente en la Figura 21) con los que se realizó la ponderación final.

Con los pesos definidos, se realizó una sumatoria de capas por medio de la calculadora raster de QGIS, en la cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{"Alturas@1" * 0,06 + "Distacia_PNN@1" * 0,11 + "Cap_Drenaje@1" * 0,50 + "LITOLOGIA_R@1" * 0,10 + "Tipo_relieve@1" * 0,23}$$

Como resultado se obtuvo un nuevo mapa raster. La calculadora además de unificar, efectúa un procedimiento matemático donde los valores de celda de cada raster se multiplican por su valor de ponderación, los resultados se suman y dan como resultado un mapa de zonificación. Así pues, los valores 1 representan las zonas que por sus condiciones culturales y ambientales tienen mayores posibilidades de contener sitios arqueológicos; los valores 2 son zonas con medianas probabilidades y las zonas 3 con bajas probabilidades (ver Figura 28).

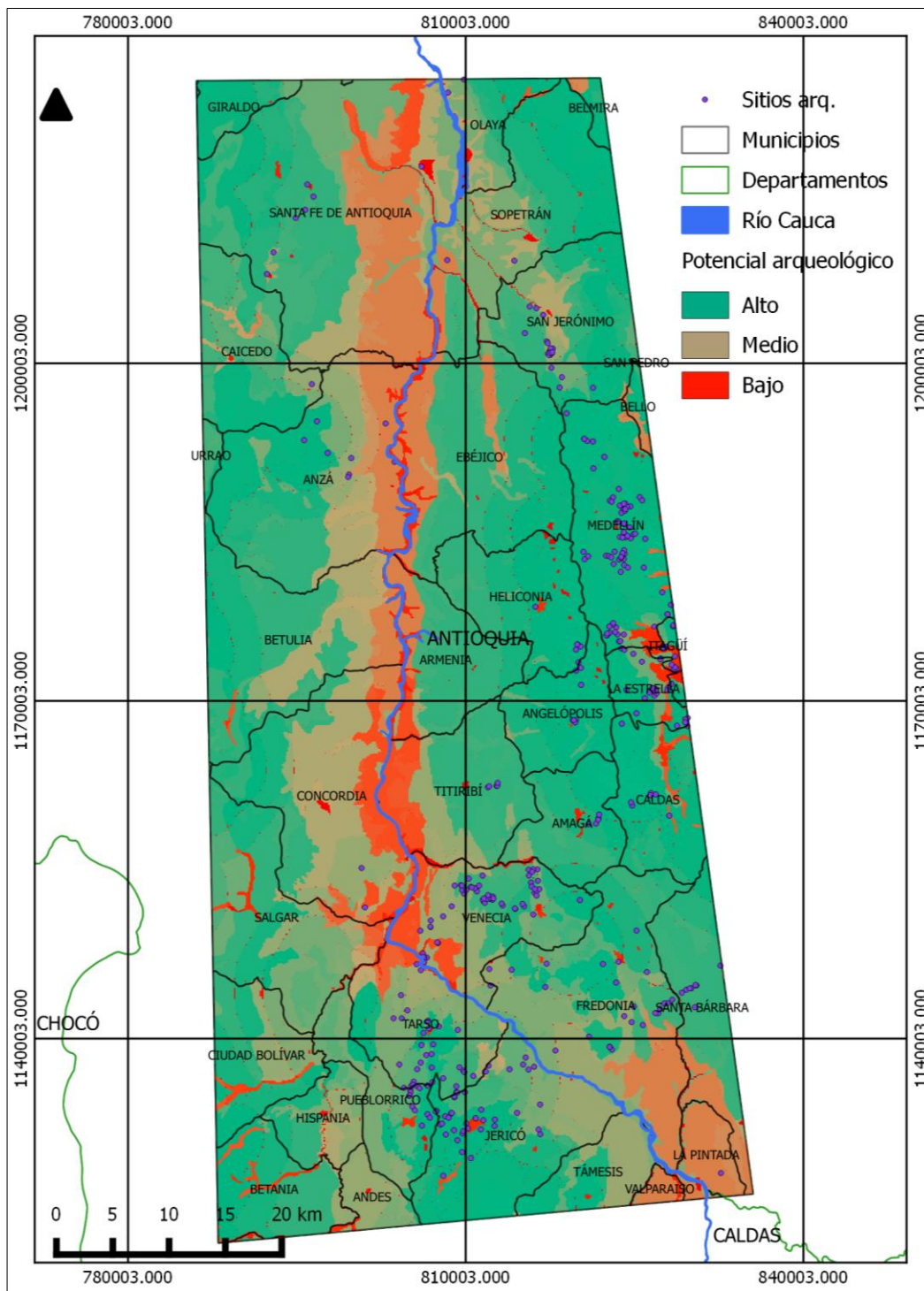


Figura 28. Zonificación del potencial arqueológico

7.3.3. Contratación de la zonificación final

Con el mapa de zonificación realizado, se contrasto espacialmente la ubicación de los sitios de Cañafisto (Gonzalez, y otros, 2014) y otros puntos adicionales no tenidos en cuenta en el proceso de análisis y modelamiento espacial. Para cada punto se identificó el valor de potencial arqueológico según la capa de zonificación, utilizando la herramienta "Point sampling tool". Posteriormente estos valores fueron analizados en el programa SPSS, donde se generaron porcentajes de frecuencia con respecto al sitio y a su ubicación dentro de la zonificación.

- Sitios de Cañafisto: los sitios arqueológicos reportados en este proyecto tienden a ubicarse en zonas de medio potencial arqueológico en un 80,2%. Sin embargo, se observa que una parte de la población se encuentra en zonas de potencial bajo con un 19,8% (ver Figura 29).

| Potencial | | | | | |
|-----------|-------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 1,5 | 6 | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| | 1,6 | 27 | 19,0 | 19,0 | 23,2 |
| | 1,7 | 54 | 38,0 | 38,0 | 61,3 |
| | 1,8 | 26 | 18,3 | 18,3 | 79,6 |
| | 1,9 | 1 | ,7 | ,7 | 80,3 |
| | 2,5 | 1 | ,7 | ,7 | 81,0 |
| | 2,7 | 15 | 10,6 | 10,6 | 91,5 |
| | 2,8 | 4 | 2,8 | 2,8 | 94,4 |
| | 2,9 | 8 | 5,6 | 5,6 | 100,0 |
| | Total | 142 | 100,0 | 100,0 | |

Figura 29. Ubicación de los sitios de Cañafisto con respecto a la zonificación

- Otros sitios arqueológicos: estos tienden a ubicarse en zonas de alto a medio potencial en un 77,1%, considerando que en zonas de bajo potencial también se han reportado sitios en un 22,9%. (ver Figura 30).

| Potencial | | | | | |
|-----------|-------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 1,0 | 1 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| | 1,1 | 1 | 1,4 | 1,4 | 2,9 |
| | 1,2 | 14 | 20,0 | 20,0 | 22,9 |
| | 1,3 | 13 | 18,6 | 18,6 | 41,4 |
| | 1,4 | 3 | 4,3 | 4,3 | 45,7 |
| | 1,5 | 1 | 1,4 | 1,4 | 47,1 |
| | 1,7 | 7 | 10,0 | 10,0 | 57,1 |
| | 1,8 | 8 | 11,4 | 11,4 | 68,6 |
| | 1,9 | 6 | 8,6 | 8,6 | 77,1 |
| | 2,4 | 3 | 4,3 | 4,3 | 81,4 |
| | 2,5 | 6 | 8,6 | 8,6 | 90,0 |
| | 2,7 | 5 | 7,1 | 7,1 | 97,1 |
| | 2,9 | 2 | 2,9 | 2,9 | 100,0 |
| | Total | | 70 | 100,0 | 100,0 |

Figura 30. Ubicación de otros sitios arqueológicos con respecto a la zonificación

Para establecer unos rangos de error aproximados se sumaron los resultados obtenidos en el ejercicio anterior y se dividió por el total de poblaciones estudiadas, en este caso fueron dos, los sitios de Cañafisto y otros sitios no reportados (ver Tabla 3).

Tabla 3. Rangos de error aproximados para el modelo predictivo

| | % de sitios en zonas de alto y medio potencial | % de sitios en zonas de bajo potencial |
|------------------|--|--|
| Sitios Cañafisto | 80,2 | 19,8 |
| Otros sitios | 77,1 | 22,9 |
| Sumatoria | 157,3/2 | 42,7/2 |
| Total | 78,65 | 21,35 |

Tras lo anterior, se evidencia que el modelo realizado en este trabajo, se relaciona en buena 78,65% con la ubicación de los sitios arqueológicos reportados en la zona de estudio. Sin embargo se estima que existe un rango de error del 21,35% .

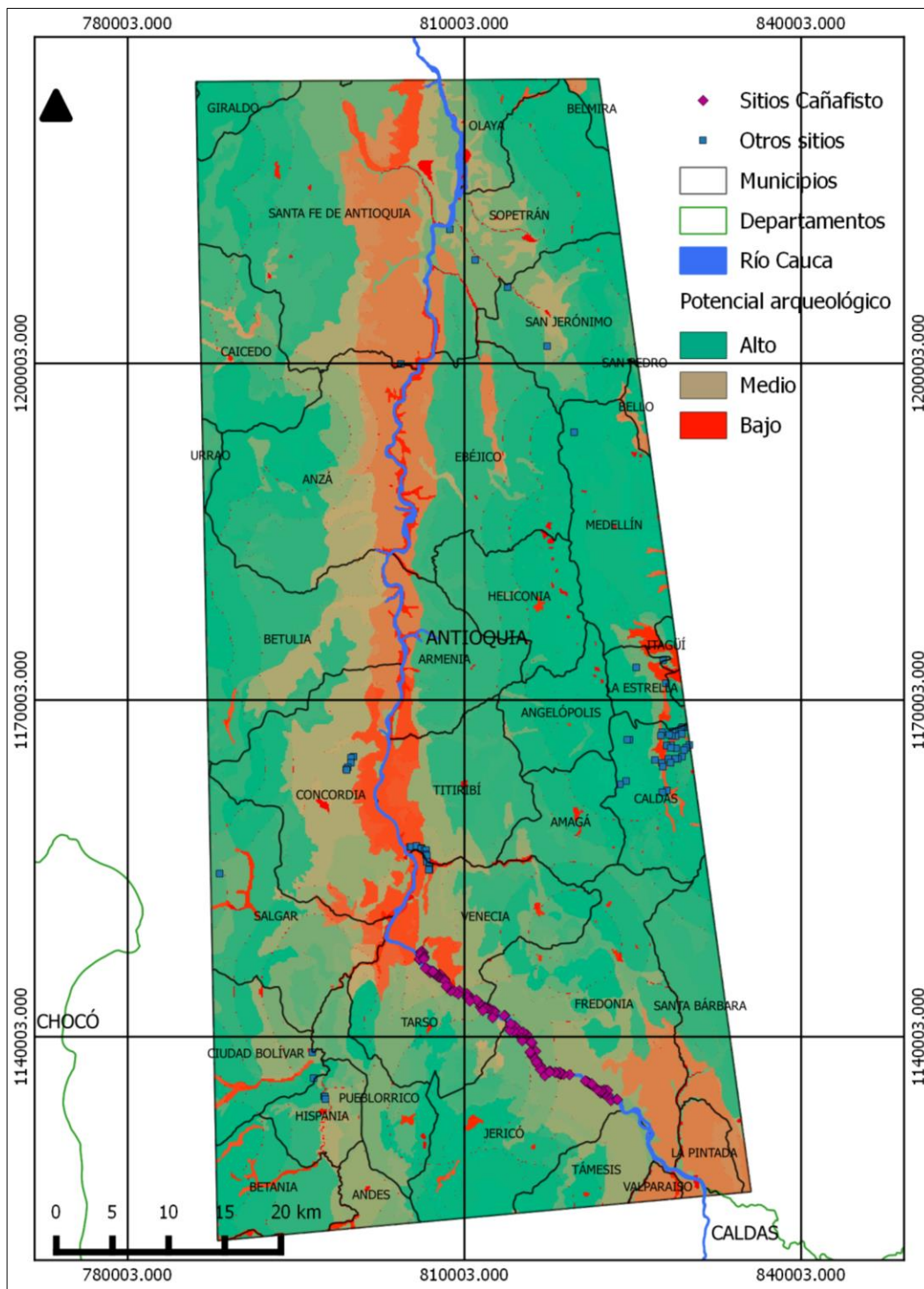


Figura 31. Contrastación de la zonificación con otros sitios arqueológicos

7. CONCLUSIONES

- Con la utilización de los sistemas de información geográfica se realizó una selección de áreas que tienen altas, medias y bajas probabilidades de contener sitios arqueológicos en una región de estudio definida. Esto con la utilización de datos geográficos abiertos y programas de libre acceso, que permiten a los arqueólogos colombianos hacer uso de los SIG como un instrumento de análisis básico para la realización de proyectos, la generación de conocimientos y la toma de decisiones.
- Por medio de la contrastación y de análisis estadísticos se determinó que el modelo realizado tiene un rango de error del 21,35%, lo cual es un buen indicio para la aplicación del mismo. Sin embargo, es necesario realizar pruebas de contrastación en campo.
- En la propuesta metodológica aquí planteada, se utilizaron procedimientos propios de la geoestadística y del análisis espacial, lo cual vinculado a los antecedentes arqueológicos de la zona de estudio y los análisis de estadística descriptiva, permitieron realizar un proceso analítico jerárquico y evaluar así el potencial arqueológico de la zona de estudio. Con ello se resalta que los análisis multicriterio se pueden aplicar con éxito en la disciplina arqueológica.
- Esta metodología puede ser aplicable a cualquier región del país, pues en ella se evalúan las características propias de cada zona, teniendo en cuenta sus particularidades tanto culturales como ambientales. Por ello las variables que pueden ser predictivas para un área, tal vez no lo sean para otra. Así, que cada vez que se quiera evaluar el potencial de una zona específica, es necesario repetir todo el proceso, desde la recolección de datos hasta la contratación de los resultados.
- En este trabajo no se tuvieron en cuenta aspectos teóricos vinculados al tipo de contexto de los sitios arqueológicos o a su temporalidad, pues estos son estudios más detallados encaminados a la solución de problemáticas propias de esta disciplina. Por su parte la metodología aquí planteada, ofrece información valiosa para la gestión de proyectos arqueológicos y la planeación de los mismos, pues generar modelamientos predictivos en etapas precampo, permite una mejor ejecución de los proyectos y con ello la protección y conservación del patrimonio arqueológico.
- Por lo anterior, se resalta la importancia de los SIG dentro de la arqueología, y como estos pueden ser aplicados de manera cómoda y gratuita. Además se hace un llamado a los arqueólogos para que hagan un mejor uso de información

establecida en el Atlas Arqueológico de Colombia, pues esta es una fuente de datos bastante importante tanto para cuestiones de gestión como en problemáticas investigativas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, M. (2007). *Cómo hacer una Regresión Logística con SPSS "paso a paso"*. Sevilla: Servicio de Medicina Interna. Hospital Universitario Virgen Macarena. DocuWeb fabis.org.
- Alonso, F., & Palazón, J. A. (2004). *Software Libre para Sistemas de Información Geográfica*. Murcia, España: Creative Commons.
- Anemone, R., Conroy, G., & Emerson, C. (2011). GIS and Paleoanthropology: Incorporating New Approaches From the Geospatial Sciences in the Analysis of Primate and Human Evolution. *YEARBOOK OF PHYSICAL ANTHROPOLOGY*, 54:19–46.
- Boada, A. (2013). *Análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (adaptado)*. Ilwis versión 3.3. Bogotá: Centro de Investigaciones y Desarrollo de Información Geográfica. CIAF .
- Bruhns, K. (1970). Stylistic affinities between the Quimbaya gold style and a little known ceramic style of the Middle Cauca Valley, Colombia. *Ñawpa Pacha* 7-8, 65-84.
- Bruhns, K. (1990). Las Culturas Prehispánicas del Cauca Medio. En S. A. Tierra, *Quimbayas* (págs. 10-15, 26-28). Bogotá: Banco Popular, Fondo de Promoción de la Cultura.
- Butzer, K. W. (1989). *Arqueología, una ecología del hombre*. Barcelona: Ediciones Bellaterra S.L.
- Cacho, S., & Camara, J. (2009). *Proyecto MAPA Modelo Andaluz de Predicción Arqueológica*. Sevilla: Junta de Andalucía, Concejería y Cultura.
- Criado, F. (1993). Límites y posibilidades de la arqueología del paisaje. *SPAL revista de prehistoria y arqueología*, 9-55.
- DANE. (2013). *Geoportal, Descarga del Marco Geoestadístico Nacional (MGN)*. Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Geoportal, Descarga del Marco Geoestadístico Nacional (MGN): <https://geoportal.dane.gov.co/v2/?page=elementoDescargaMGN>
- Duque, L. (1970). *Los Quimbayas. Reseña etnohistórica y arqueológica*. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología.
- Espinal, S. (1991). *Apuntes Ecológicos*. Medellín: LEALON.

- ESRI. (1995). *ESRI Conservation Program Statement, Environmental Systems Research Institute, Inc.* Copyright.
- Gonzalez, J., Buriticá, Yiset, Hernandez, M., López, A., Carlos, R. J., y otros. (2014). *Prospección arqueológica suroeste antioqueño*. Bogotá: ICANH.
- Granger, K. (1990). Process modelling and geographic information systems:breathing life into spatial analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* 32 , 243-247.
- Hodder, I., & Orton, C. (1990). *Análisis espacial en arqueología*. Baecelona: Crítica, D.L.
- Hoder, I., & Orton, C. (1990). *Análisis espacial en arqueología*. Barcelona : Crítica.
- ICANH. (12 de 02 de 2010). *Instituto Colombiano de Antropología e Historia* . Recuperado el 17 de 10 de 2018, de LINEAMIENTOS CONSTITUCIONALES Y LEGALES PARA LA PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO COLOMBIANO: <http://www.icanh.gov.co/?idcategoria=5768>
- ICANH. (27 de Febrero de 2015). *Arqueología y Patrimonio, Sistema de información de Arqueología y Patrimonio de Colombia*. Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Sistema de información de Arqueología y Patrimonio de Colombia: <http://geoparques.icanh.gov.co/geoparques/#%C2%A0>
- IGAC. (22 de Noviembre de 2017). *Datos Abiertos IGAC*. Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Datos Abiertos IGAC: <http://datos.igac.gov.co/>
- IGAC. (22 de Noviembre de 2017). *Datos abiertos, subdirección de agrología*. Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Datos abiertos, subdirección de agrología: <http://datos.igac.gov.co/pages/agrologia>
- Kintigh, K., & Ammerman, A. (1982). Archaeology Heuristic Approaches to Spatial Analysis in Archaeology. *American Antiquity*, Vol. 47, No. 1 , 31-63.
- Kvamme, K. (2006). There and Back Again: Revisiting Archaeological Locational Modeling. En M. Mehrer, & K. Wescott, *GIS and Archaeological Site Location Modeling* (págs. 2-35). Taylor & Francis e-Library.
- Lock, G., & Harris, T. (2006). Enhancing Predictive Archaeological Modeling: Integrating Location, Landscape, and Culture. En M. Mehrer, & K. L. Wescott, *GIS and Archaeological Site Location Modeling* (págs. 36-55). Taylor & Francis Group.
- Matteucci, S. D., & Scheinsohn, V. (2004). Procesamiento de imágenes, SIG y modelos ecológicos aplicados a la arqueología. *GeoFocus (Artículos)*, nº 4, 93-109.
- Montejo, F., & Ladino, A. (2010). *Informe final de actividades. Convenio interadministrativo de cooperación suscrito entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-, el*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC, y el Instituto Colombiano de Antropología e Historia-ICAH-. Bogotá D.C.

- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Copyright.
- Posada, W. (2010). *Atlas arqueológico de Caldas*. Manizales: Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH, Universidad de Caldas.
- Posada, W. (2010). *Atlas arqueológico de Caldas. Informe final Inédito*. Manizales: Universidad de Caldas – Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Posada, W., & Duque, C. (2018). Modelamiento espacial para la gestión del patrimonio arqueológico un estudio de caso en el departamento de Caldas, Colombia. *NOVUM, revista de ciencias sociales aplicadas*, 24-42.
- Renfrew, C. &. (1993). *Arqueología, Teorías, Metodos y practica*. (M. J. Rial, Trad.) Madrid, España: Ediciones Akal, S.A.
- Renfrew, C., & Bahn, P. (1993). *Arqueología. Terorias, métodos y práctica*. Madrid, España: Ediciones Akal S.A.
- Roel, B., Bert, G., & Kenneth, K. (1992). An Experiment in Archaeological Site Location: Modeling in the Netherlands using GIS Techniques. *World Archaeology*, Vol. 24, No. 2, 268-282.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* No48, 9-26.
- USGS. (27 de Enero de 2017). *Global Data Explorer (Powered by GeoBrain)*. Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Global Data Explorer (Powered by GeoBrain): <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>
- Vaughn, S., & Crawford, T. (2009). A predictive model of archaeological potential: An example from northwestern Belize. *Applied Geography*, 1-14.
- Villafañez, A. (2011). Entre la Geografía y la Arqueología: el espacio como objeto de representación. *Revista de Geografía Norte Grande*, 50:135-150.
- Zeanah, D. W. (2004). Sexual division of labor and central place foraging: a model for the Carson Desert of western Nevada. *Journal of Anthropological Archaeology* 23 , 1-32.