

**ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO EN LA
COMUNIDAD INDIGENA DE LOS YANAICONAS PARA LA INSTALACION DE
REDES INALAMBRICAS**



Universidad
del Cauca

**JORGE ALBERTO MEDINA VALDERRAMA
JAIME TEJADA PAZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES
PROGRAMA DE GEOGRAFÍA
POPAYÁN
2011**

**ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO EN LA
COMUNIDAD INDIGENA DE LOS YANACONAS PARA LA INSTALACION DE
REDES INALAMBRICAS**



Universidad
del Cauca

**JORGE ALBERTO MEDINA VALDERRAMA
JAIME TEJADA PAZ**

Trabajo de grado para optar al título de
Geógrafo

Directora Trabajo de Grado

CAROLINA CASTRILLÓN OJEDA MSC.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES
PROGRAMA DE GEOGRAFÍA
POPAYÁN
2011**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Directora Trabajo de grado

Jurado 1

Jurado 2

Jurado 3

Popayán, Enero de 2011

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN EJECUTIVO	13
INTRODUCCIÓN	14
1 GENERALIDADES.....	15
1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	15
1.2 COMUNIDAD INDÍGENA DE LOS YANACONAS	18
2 OBJETIVOS	22
2.1 GENERAL	22
2.2 ESPECÍFICOS	22
3 MARCO CONCEPTUAL	23
3.1 ESPECIALIDADES DE LA GEOGRAFÍA RELACIONADAS CON EL OBJETO DE ESTUDIO	23
3.1.1 Relieve y Topografía: toma decisiones para diseñar una red inalámbrica.....	24
3.1.3 Distribución espacial	26
3.1.4 Análisis espacial.....	27
3.2 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS	28
3.2.1 Redes Inalámbricas.....	28
3.2.2 Radio Enlace por línea de vista Directa	30
3.3 ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO PARA LA PROSPECCIÓN DE SITIO EN LA INSTALACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS.....	30
3.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	31
3.4.1 Modelo de datos tipo Vector.....	31

3.4.2	Modelo de datos tipo Ráster	32
3.5	Modelos digitales de terreno	33
4	ANÁLISIS Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN BASE	36
4.1	DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES.....	36
4.1.1	Inclusión de las restricciones	37
4.1.2	Rasterización de la base de datos digital	37
4.2	Definición de las alternativas.....	37
4.2.1	Línea de Vista o Line of Sight (LoS).....	37
4.2.2	Crestas, crestones y cuchillas.....	39
4.2.3	Vías y caminos (accesibilidad)	39
4.2.4	Casas, escuelas, etc:	39
4.3	PROCESO DE LAS RESTRICCIONES ASOCIADAS	40
4.3.1	Áreas no visibles	40
4.3.2	Zonas bajas.....	41
4.3.3	Distancia a crestas	42
4.3.4	Distancia a las vías de Acceso.....	43
4.3.5	Zonas deshabitadas o desprovistas de infraestructura y equipamiento colectivo.	43
5	DISEÑO DEL MODELO ESPACIAL	45
6	ANÁLISIS ESPACIAL E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO CON TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO	48
6.1	Evaluación Multicriterio (EMC)	48
6.1.1	Componentes principales.....	49
6.1.2	Métodos de EMC	51
6.2	MÉTODO DE JERARQUÍAS ANALÍTICAS DE SAATY	51
6.3	SUPERPOSICIÓN TEMÁTICA DE VARIABLES	53

6.4	ALGEBRA DE MAPAS.....	54
6.5	LÓGICA BOOLEANA.....	54
6.6	SUMATORIA LINEAL PONDERADA.....	55
7	EL MODELO DE CAPACIDAD DE ACOGIDA; RESULTADOS PRELIMINARES.....	58
7.1	VERIFICACIÓN DEL MODELO DE CAPACIDAD DE ACOGIDA A TRAVÉS DE TRABAJO DE CAMPO.....	63
8	COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON EL ESTUDIO REALIZADO PARA EL MUNICIPIO DE PURACE.....	75
9	CONCLUSIONES.....	84
10	BIBLIOGRAFÍA.....	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Factores que intervienen en el cálculo de visibilidad (A: punto de observación; B: altura del punto de observación; C: ángulo vertical que limita la exploración y azimut).	25
Figura 2. Representación de datos espaciales: vector y ráster.	32
Figura 3. Modelo digital de elevaciones.....	33
Figura 4. Imagen ráster modelo digital de elevación.....	34
Figura 5. Imagen ráster de pendiente.	35
Figura 6. Imagen ráster de exposición.....	35
Figura 7. Cálculo de visibilidad "viewshed".....	38
Figura 8. Perfiles Altitudinales elaborados a partir del Software Global Mapper....	39
Figura 9. Áreas no visibles (0 áreas no visibles; 1 áreas visibles)	41
Figura 10. Zonas bajas (0 áreas 1300 m. y los 3411 m; 1 áreas = >3411).....	42
Figura 11. Distancia a crestas (0 áreas > 100 m; 1 áreas < 100 m)	42

	Pág.
Figura 12. Distancia a vías (0 áreas > 300 m; 1 áreas < 300 m)	43
Figura 13. Zonas desprovistas de infraestructura. (0 áreas > 100 m; 1 áreas < 100 m).....	44
Figura 14. Modelo de Representación para la Instalación de Redes Inalámbricas.	45
Figura 15. Modelo de Procedimiento para el análisis espacial en la instalación de redes inalámbricas.....	47
Figura 16. Procedimiento Multicriterio Multiobjetivo.....	50
Figura 17. Sumatoria Lineal Ponderada (jerarquías de Saaty), EMC y Lógica Booleana.....	56
Figura 18. Esquema de Sumatoria Lineal Ponderada para la instalación de redes inalámbricas.....	57
Figura 19. Superficie de la capacidad de acogida.	60
Figura 20. Porcentaje por categoría.....	60
Figura 21. Perfil altitudinal desde punto de capacidad de acogida hacia lugar más cercano de energía eléctrica.....	70
Figura 22 Punto de visibilidad establecido en modelo digital de elevación.....	71

	Pág.
Figura 23 Modelado 3D del área de estudio.	72
Figura 24 Esquema de Sumatoria Lineal Ponderada para obtener modelo de capacidad de acogida.	76
Figura 25. Superficie de la capacidad de acogida..	78
Figura 26. Porcentaje por categoría.....	79
Figura 27. Comparación de capacidad de acogida del área de estudio y el Municipio de Puracé..	79

LISTA DE MAPAS

	Pág.
Mapa 1. Localización del Área de estudio.	16
Mapa 2 Localización del Territorio Yanacona	21
Mapa 3. Capacidad de Acogida para la Instalación de Redes Inalámbricas..	59
Mapa 4. Capacidad de Acogida en el Territorio Yanacona.....	61
Mapa 5.Capacidad de Acogida Muy Alta dentro del Territorio Yanacona.....	62
Mapa 6. Ubicación del sitio con mayor con mayor capacidad de acogida en el resguardo indígena de Guachicono Municipio de la Vega.....	68
Mapa 7. Modelo capacidad de acogida para la instalación de redes inalámbricas municipio de Puracé.	77
Mapa 8.Capacidad de Acogida en el municipio de Puracé.....	80
Mapa 9. Validación del modelo de capacidad de acogida en el sitio donde se encuentra ubicada la antena municipio de Puracé.	81
Mapa 10. Localización del sitio de capacidad de acogida para el municipio de Puracé.	83

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Imágenes de la radio comunitaria FM Stereo.	64
Fotografía 2. Imagen de reunión con la comunidad de Guachicono.....	65
Fotografía 3. Imagen sobre las indicaciones por parte de la comunidad indígena de Guachicono.	66
Fotografía 4. Imagen de mapa elaborado para la salida de campo.	67
Fotografía 5. Páramo de Bellones.	69
Fotografía 6. Imagen de brújula verificando el rumbo y azimut de cajete.	70
Fotografía 7. Conectividad visual desde el sitio candidato por el modelo de capacidad de acogida.	71
Fotografía 8. Vivienda en donde encuentra el área de capacidad de acogida.	73

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción de la información base.	36
Tabla 2. Inclusión de las restricciones asociadas	40
Tabla 3. Clasificación de Decisiones.	48
Tabla 4. Categorías, puntaje y superficies del modelo de capacidad de acogida. .	58
Tabla 5 Categorías, puntaje y superficies del modelo de capacidad de acogida...	76

RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO

Palabras Clave: Análisis Espacial, Sistemas de Información Geográfica, Tecnologías Inalámbricas, Condiciones del Terreno.

Esta aplicación SIG hace parte del macroproyecto: **“Análisis, uso, adecuación y apropiación de servicios sobre tecnologías inalámbricas en zonas de difícil acceso de las poblaciones indígenas del Cauca andino”**, ejecutado por la Universidad del Cauca y financiado por el Fondo Regional para la Innovación Digital en América Latina y el Caribe (FRIDA).

Se propone el diseño de un modelo espacial, en donde las representaciones corresponden principalmente a la relación entre las condiciones óptimas necesarias para la Instalación de Redes Inalámbricas y las condiciones topográficas e infraestructurales de la Comunidad Indígena de los Yanaconas, realizando un análisis espacial del relieve y la infraestructura civil a partir de los atributos localizados que se han medido en el terreno (elevaciones, distancias, línea de vista, geoformas, infraestructura vial). Por otro lado la transición entre los procedimientos y análisis elementales (con cartografía análoga) y los SIG para la toma de decisiones espaciales en el área de las comunicaciones inalámbricas, se convierte en un gran aporte de la ciencia geográfica a proyectos con equipos multidisciplinarios.

El modelo propuesto ha sido diseñado para determinar la localización óptima de una red inalámbrica, de tal manera, que se obtenga un mejor análisis espacial que comprende un conjunto de conceptos y procedimientos utilizados para abordar el estudio de las relaciones geográficas a partir del conocimiento de las entidades espaciales y las características de las variables seleccionadas para su estudio, con el fin de obtener una mejor utilización concertada de los sistemas de información geográfica y las técnicas de evaluación multicriterio que se constituyen en herramientas muy útiles para su aplicación en los procesos de evaluación territorial; el trabajo está basado en el desarrollo metodológico de un modelo de capacidad de acogida para la instalación de redes inalámbricas con el fin de determinar cuál es el sitio idóneo donde se puede instalarlas, con lo cual se logra incurrir en costos mínimos sobre estudios de factibilidad enmarcados en la prospección de sitio en la instalación de infraestructura de comunicaciones inalámbricas.

INTRODUCCIÓN

Es evidente la inequidad existente al acceso de tecnologías de información y comunicación en las zonas rurales debido a las complejas condiciones del terreno en que estas se encuentran; es por esto que es importante realizar un análisis espacial comprendiendo el territorio el cual presenta particularidades geográficas que se convierten en características primordiales para adelantar un estudio de la zona. Es allí donde se requiere de la organización de la información la cual contribuye en la elaboración de modelos digitales del terreno para el estudio de factibilidad.

Es así como las Tecnologías de Información Geográfica permiten desde su amplia gama de herramientas para el análisis espacial y de procedimientos metodológicos, encamina a los planificadores hacia la toma de decisiones de localización en la cual se minimicen los riesgos de seleccionar un lugar inadecuado que se hace posible a través de la aplicación de uno de los procesos de mayor selectividad al momento de utilizar la tecnología SIG, como es el trabajar con **mapas de restricciones**¹. Del mismo modo, el manejo de la información territorial y en particular, de la información referente a elevaciones, se ha realizado mediante el uso de modelos analógicos tales como los mapas y planos por todos conocidos, situación que en los últimos tiempos, y en relación con las técnicas que atañen al desarrollo de ésta aplicación, ha variado sensiblemente con la introducción de modelos de naturaleza digital, y en particular los denominados Modelos Digitales del Terreno o de Elevaciones (MDT - MDE), por eso si la cartografía de curvas de nivel hasta hace algunos años constituía la base para el estudio de factibilidad y la prospección de sitio en las comunicaciones inalámbricas, ahora son los MDT y MDE los cuales, bajo los conceptos y formulaciones existentes hoy en día para la generalidad de la cartografía en soporte digital, se encargarán de proporcionar la información altitudinal detallada que servirá de base a la práctica de la totalidad de los análisis de visibilidad posteriores.

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta la infraestructura y el equipamiento público presente en el área, el objetivo es realizar un análisis espacial del terreno a fin de escoger la alternativa más apropiada lo cual se convierte en un gran aporte de la ciencia geográfica a proyectos con equipos multidisciplinarios procurando una solución diferente a la problemática de prospección de sitio para la instalación de redes inalámbricas.

¹BUZAI, Gustavo D; BAXENDALE, Claudia A. Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Buenos Aires, 2006, 397p.

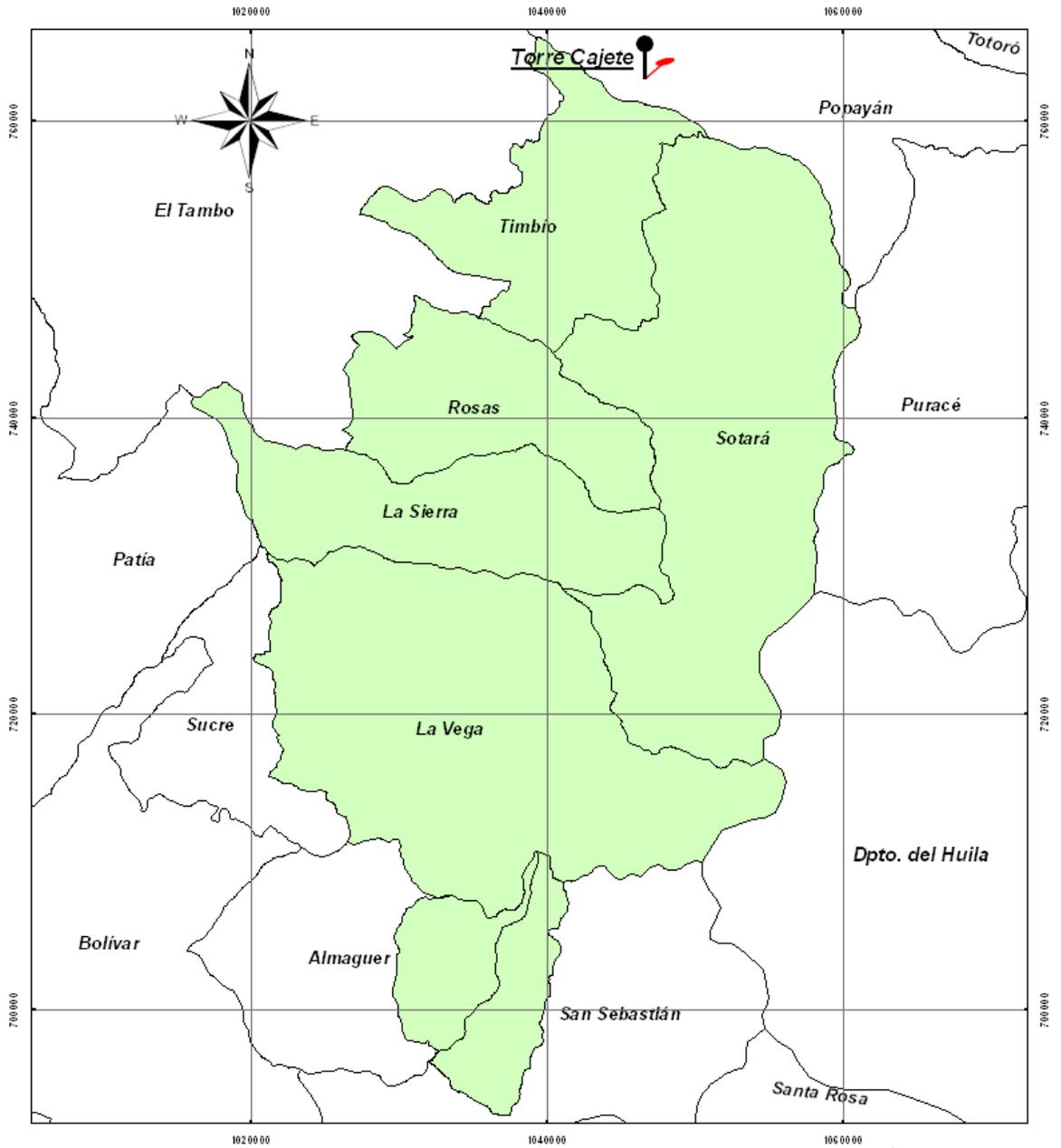
1 GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Por el norte, el Territorio Yanacona limita con el Corregimiento de Chapa, Municipio de Sotará, en el extremo noroccidental con el Corregimiento de Párraga, Municipio de Rosas, la cabecera municipal de la Sierra y la Vereda de San Pedro, Municipio de la Sierra; descendiendo hacia el sur por el flanco occidental del territorio Yanacona sus confines tocan los linderos de los corregimientos de Arbela, San Miguel y Altamira y la cabecera municipal de La Vega, Municipio de La Vega; de all hacia el extremo suroccidental la frontera se prolonga con el corregimiento de La Herradura y la cabecera municipal del Municipio de Almaguer. Como se observa en la localización del área de estudio (Ver figura 1).

En el extremo sur, que se muestra de manera de punta, es contiguo con el Corregimiento de Santiago, Municipio de San Sebastián, y emprendiendo el camino hacia el norte por el flanco oriental del territorio Yanacona las cotas territoriales son descritas por el Valle de las Papas hasta llegar al Páramo del mismo nombre en el Municipio de San Sebastián; y de allí hasta encontrar el punto nororiental en el Volcán Sotará; linda con el Departamento del Huila. Los Yanaconas ocupan una parte significativa del Macizo Colombiano en términos de extensión de tierras de resguardo, influencia cultural acumulada desde hace 3.000 años de presencia humana en la zona, por la densidad demográfica, y por la producción de recursos naturales y mano de obra; los Yanaconas alcanzan una cifra cercana a los 20.000 habitantes².

² ZAMBRANO, Carlos Vladimir. Geografía Humana de Colombia Región Andina Central. Bogotá .Instituto Colombiano de Cultura Hispánica. 2000. (Tomo IV, Volumen I)



	LEYENDA: Area de Estudio Antena Instalada	FUENTE CARTOGRAFICA: INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI	
	CONTIENE: UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO	ELABORADO POR: JORGE ALBERTO MEDINA VALDERRAMA JAIME TEJADA PAZ ESCALA: 1:340.000 	

Mapa 1. Localización del Área de estudio. Fuente IGAC. Modificado Por: Elaboración Propia.

El área de estudio propuesta comprende los municipios de: Timbío, Sotará, Rosas, La Sierra, La Vega y los resguardos de Caquiona y San Sebastián en los municipios de Almaguer y San Sebastián respectivamente. Se ha optado por la ampliación del área de análisis en donde esté contenida en términos geográficos la Comunidad Indígena de los Yanaconas, con el fin de aumentar las posibilidades de resultados satisfactorios, previendo una posible inexistencia de lugares con línea de vista directa en el territorio indígena con respecto a la torre ubicada en la vereda de Cajete en el municipio de Popayán.

Gran parte del área abarca el Macizo Colombiano el cual se conoce también con el nombre de Nudo de Almaguer, el calificativo de Estrella Fluvial Colombiana, y de la Esponja Hídrica de Colombia; es un complejo hidrológico de 65 cuerpos Lagunares, 13 Páramos, 5 arterias fluviales de singular importancia a escala nacional: Los Ríos Cauca, Magdalena, Caquetá, Patía y Putumayo.

La parte norte Timbío y Sotará:

La mayor parte del territorio de estos dos municipios es de superficie ondulada, su parte más alta sobre el nivel del mar está en la vereda Cristalares al oriente de Timbío en límites con el Municipio de Sotará y la zona más baja sobre el nivel del mar comprende la vereda Pan de Azúcar al occidente en límites con el municipio del Tambo. En general, la altura promedio sobre el nivel del mar es de 1850 m. El municipio de Timbío es atravesado por una serie de estructuras (o fallas geológicas), paralelas de dirección nor-este perteneciente al sistema de Fallas de Romeral; las fallas más importantes son Bolívar - Almaguer y Rosas - Julumito.

La parte central Rosas, La Sierra y La Vega:

Estos municipios presentan una geomorfología montañosa muy quebrada cuya máxima altura es de 3.000 msnm. Es de relevancia en la región por ser un punto de encuentro vial y se considera la puerta de entrada al Macizo Colombiano. El paisaje es en general de laderas empinadas, donde sobresalen los filos de las montañas que corresponden a las divisorias de agua, que son zonas estrechas, alargadas y onduladas.

La Parte sur, Almaguer y San Sebastián:

Estos Municipios en su extensión cuentan con los pisos térmicos de páramo, frío, templado y en una mínima parte cálido, condiciones que influyen directamente en el desarrollo del componente biofísico (edáficos, hidrológicos, climáticos, vegetación y fauna), creando de esta manera ecosistemas estratégicos como el páramo que por sus características exclusivas y ser reservorio de agua, es muy

frágil. También su geomorfología le permite contar con una zona de valle plana a ligeramente plana, de gran fertilidad y una zona montañosa con un relieve fuertemente quebrado, cimas redondeadas, laderas largas e irregulares cubiertas en su mayoría por rastrojos y minifundios, que limitan el óptimo desarrollo de prácticas agropecuarias.

1.2 COMUNIDAD INDÍGENA DE LOS YANACONAS

En el Macizo Colombiano así definido, actualmente se encuentra el Territorio Yanacona, en las comúnmente llamadas zonas frías, en forma de cinco resguardos y tres comunidades indígenas, constituyendo un área significativa con fuerte incidencia en el manejo de los páramos y de los nacimientos de los ríos.

Los Yanaconas quienes en la actualidad recuperan su identidad y buscan el reconocimiento cultural, social, económico y político, para justificar la herencia que reclaman propia, se distribuyen en las comunidades indígenas civiles de Frontino, El Moral y El Oso, en el Municipio de la Sierra, y en los resguardos de Río Blanco en el Municipio de Sotará, Guachicono y Pancitará en el Municipio de La Vega; Caquiona en el Municipio de Almaguer y San Sebastián en el Municipio del mismo nombre³.

A continuación se describe cada resguardo perteneciente a la comunidad indígena de los yanaconas tomada como referencia de estudios realizados por antropólogos en el macizo colombiano; estos resguardos dominan como se puede distinguir, una parte significativa de la región en términos de extensión de tierras.

Frontino

Sobre la falda del imponente nudo cordillerano cruza la carretera que de Popayán conduce a los distintos lugares del Macizo. A la altura de La Sierra, bajo un clima de agradable temple, propicio para la siembra de café, caña y frutas.

El Moral

Por el ramal de la carretera que se desprende para ascender rumbo a Río Blanco, a medio camino hacia el suroriente, entre éste y La Sierra, muy cerca del majestuoso y profundo cañón del Guachicono, encontramos, en tierras de clima templado, el área de la comunidad indígena civil de El Moral.

³ZAMBRANO, Carlos Vladimir. Geografía Humana de Colombia Región Andina Central. Bogotá .Instituto Colombiano de Cultura Hispánica. 2000. (Tomo IV, Volumen I)

El Oso

Se encuentra al oriente de la cabecera municipal de La Sierra, entre ésta y El Moral. Es una comunidad indígena civil que comprende las veredas de Naranjal, La Meseta y Providencia. Cuenta con 242 habitantes que se distribuyen en 44 familias. El arribo de familias que residían en Caquiona, San Sebastián, Guachicono y Río Blanco corresponde a la búsqueda de mayor bienestar, sin que esta situación los haya desprendido de las relaciones parentales con sus resguardos de origen, las que se mantienen a través de intercambios económicos, fiestas patronales y fuerza de trabajo.

Río Blanco

Se encuentra ubicado al sur del municipio de Sotará, muy cerca del volcán del mismo nombre. El resguardo se extiende hasta las zonas de páramo y sus partes más bajas coinciden con la confluencia de los ríos Guachicono y Blanco. Para llegar a su cabecera es preciso bordear los precipicios del cañón del Guachicono, que semeja un túnel de acceso de lo caliente a lo frío y a un tiempo distinto. Cuenta con 3.898 habitantes distribuidos en 752 familias.

Guachicono

De Río Blanco continúa la carretera que a menos de una hora de camino comunica con este resguardo. Es el más grande de todo el actual territorio Yanacona, con una extensión de 13.605 hectáreas que abarcan las veredas de El Pueblo, Buenavista, Alto de la Playa, El Arado, La Esperanza, Bellones, Cajibío, Barbillas, Río Negro, Nueva Providencia y Alto de las Palmas. Cuenta con 3.420 habitantes distribuidos en 565 familias.

Pancitará

Se puede llegar a Pancitará por la carretera central del Macizo, que viene de Popayán. Pasando la cabecera municipal de La Vega y ascendiendo hacia el crucero del valle de Las Papas, se encuentra la vereda de El Pueblo. Además de ésta comprende las veredas de Julián, Rodrigos, Ledezma, La Zanja, El Potrero, Chaupiloma, Ciruelos, El Higuerón, La Bajada, Bellones, Barbillas y Pradera. Es, junto con Guachicono y Caquiona, de los pueblos más antiguos de la región.

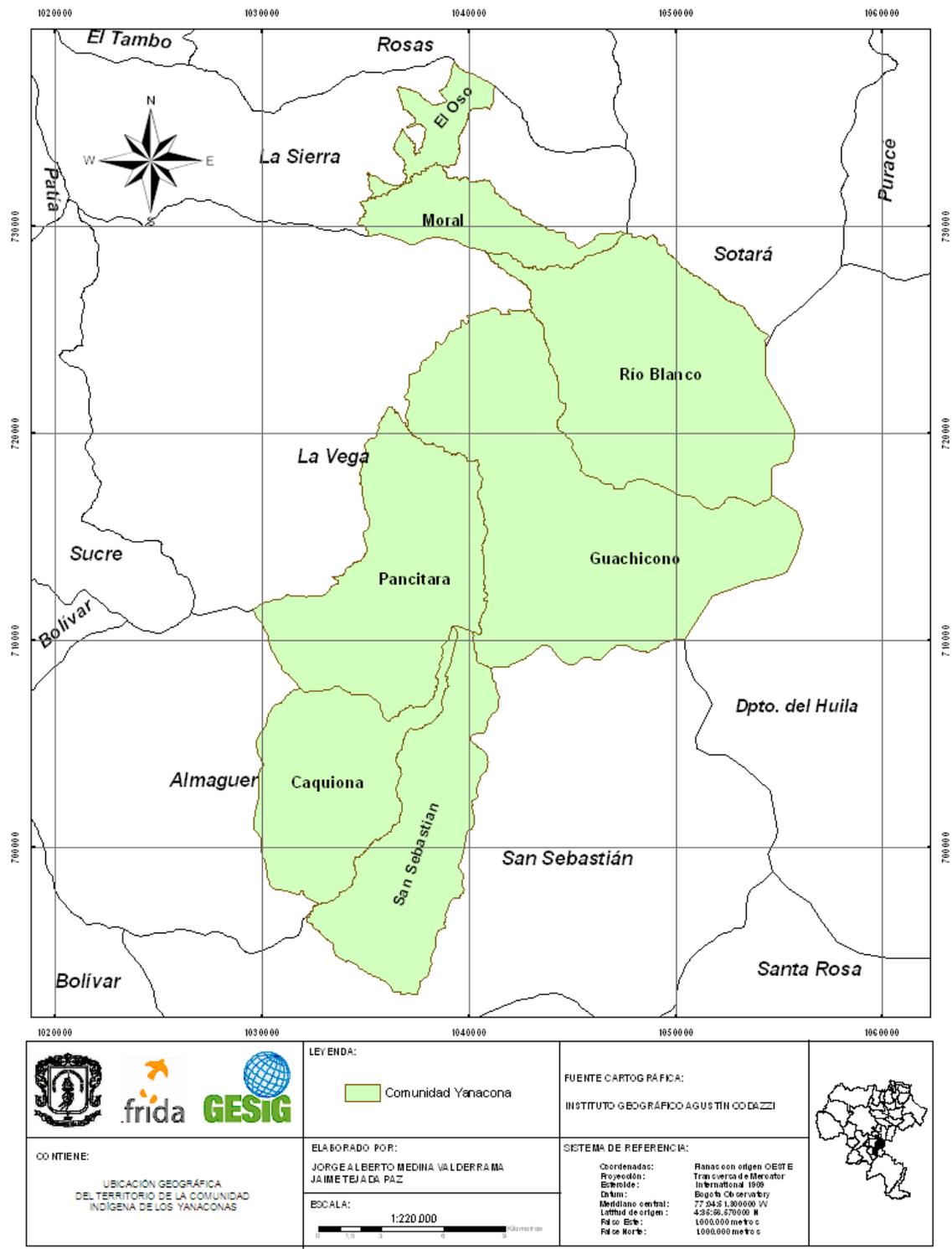
Caquiona

Está ubicada en el municipio de Almaguer, en su parte oriental. Es una zona surcada por los ríos Humus y Caquiona. Cuenta con 3.800 habitantes que viven en las veredas de Quebradillas, Balcón Cruz, Cerro Alto, Estoraque, El Pueblo, Guambial, Domingullo, Rosapamba, Gabrielas, Loma Larga, Hato Viejo, Hato Humus, Potrero y El Pindio.

San Sebastián

El resguardo convive con el pueblo de San Sebastián, cabecera municipal que se encuentra dentro del área de resguardo. Esta situación ha generado seculares tensiones con el cabildo, que por distintas causas se ha visto relegado, incluso encarcelado por las autoridades del municipio, dentro de su propia jurisdicción. Cuenta con 2.180 habitantes y 460 familias que se reparten en las veredas de Lomaseca, Cruz Chiquita, Cerrillos, Marmato, Campoalegre, Florida, Samango, Barbillas y Minas⁴.

⁴ VLADIMIR ZAMBRANO, Carlos. Hombres de Páramo y Montaña. Los Yanaconas del Macizo Colombiano. Santafé de Bogotá. Instituto Colombiano de Antropología. URL: [www. Banrepcultural.org/derautor.htm](http://www.Banrepcultural.org/derautor.htm).



Mapa 2 Localización del Territorio Yanacona. Fuente: IGAC. Modificado por: Elaboración Propia.

2 OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Analizar espacialmente las condiciones topográficas y de infraestructura del terreno de la comunidad indígena de los yanaconas para la instalación de redes inalámbricas.

2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de los métodos existentes de análisis espacial para la toma de decisiones de localización.
- Diseñar un modelo espacial que permita integrar las variables topográficas y de infraestructura que intervienen en la planificación, diseño e implementación de redes de comunicación inalámbrica.
- Implementar el modelo espacial en la comunidad indígena de los yanaconas para la prospección de sitios en la instalación de redes inalámbricas.
- Crear cartografía temática que contribuya con la toma de decisiones espaciales para el diseño e instalación de infraestructura para las comunicaciones inalámbricas en la comunidad indígena yanaconas.

3 MARCO CONCEPTUAL

A continuación se describen los elementos conceptuales que están diseñados con el fin de articular lógicamente el desarrollo temático y que tienen como resultado el proceso y la explicación de la temática de la tesis; por esto el conocimiento de estos conceptos son claves para la comprensión del tema como parte fundamental de nuestro proceso de investigativo.

3.1 ESPECIALIDADES DE LA GEOGRAFÍA RELACIONADAS CON EL OBJETO DE ESTUDIO

Actualmente existen regiones en varias partes del mundo que aún no tienen acceso a servicios de comunicaciones de internet inalámbrico y Colombia no es la excepción. Una de las razones por las que se origina ésta situación obedece a las características geográficas; que presentan restricciones con respecto a la tecnología inalámbrica de telecomunicaciones que requiere la existencia de línea de vista. La caracterización de la zona de estudio desarrollando un modelo óptimo basado en las particularidades geográficas de dicha zona, las cuales soporten la toma de decisiones de localización en zonas de difícil acceso y que proporcionen una alternativa derivada de las tecnologías de la información geográficas.

En la actualidad Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido la principal herramienta que ha abordado de manera diferente el manejo de la información geoespacial. En un corto período, los SIG han tenido una difusión amplia tanto dentro de la propia geografía como en el conjunto de estudios y aplicaciones en donde el componente espacial y territorial es un aspecto clave en el análisis. En particular, se sabe que este tipo de herramientas son de uso reciente en el campo de las telecomunicaciones; Por esto cualquier estudio de esta índole conlleva implícitamente un conjunto de características que se deben tener en cuenta y que en algunos casos apoyan las capacidades de análisis de los investigadores, entonces puede resultar ventajoso, en el estudio de un caso en concreto; la aplicación y uso de herramientas que nos ayuden a la toma de decisiones de forma acertada.

3.1.1 Relieve y Topografía: toma decisiones para diseñar una red inalámbrica

Algunos problemas se derivan de las condiciones geográficas que en la región del Cauca andino se tiene a nivel topográfico, las cuales dificultan notablemente el establecimiento de sistemas de comunicación de alta confiabilidad y poder establecer zonas aptas para la instalación de antenas en redes inalámbricas.

Para contrarrestar estos problemas se han diseñado algunos métodos utilizados por los especialistas en los SIG con el fin de escoger y limitar las zonas aplicando modelos que requieren información topográfica teniendo en cuenta el cálculo de los principales parámetros del enlace. Es aquí, en donde se pone en juego la cartografía digital provista por los SIG, para brindar una visión extensa y más precisa de las condiciones geográficas de la zona en estudio, así como también reducir los tiempos de diseño de enlaces y evaluar parámetros para la selección del sitio más óptimo para la instalación de antenas.

Los SIG se han convertido en una herramienta imprescindible para la planificación estratégica del desarrollo; permitiéndonos analizar y tomar decisiones sobre todo en el auge de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones inalámbricas en entornos rurales, con relieve escarpado, lo cual exige disponer de herramientas adecuadas que incluyan toda la información geográfica relevante a través de un modelo digital del terreno del área de estudio.

Las condiciones de visibilidad o existencia de línea de vista directa entre transmisor y receptor es un requisito fundamental en el diseño de un enlace. Por otro lado, en la proyección de redes inalámbricas, el planificador debe maximizar el área de puntos de la zona de despliegue que tienen visibilidad directa con el punto donde está ubicado el transmisor; es decir, debe asegurar de que no existan obstrucciones importantes como elevaciones del terreno, entre la estación base y la zona objetivo, para de esta manera maximizar el área de cobertura.

El SIG puede representar las condiciones de visibilidad y el perfil entre dos puntos o bien analizar la visibilidad entre un punto y un área cualquiera. De esta manera los mapas de visibilidad permitirán encontrar localizaciones adecuadas para las antenas transmisoras y determinar las zonas aptas.

3.1.2 Conectividad o Cuenca Visual (viewshed)

Un viewshed es creado a partir de un DEM (Digital Elevation Model), usando un algoritmo que calcula la diferencia de altura de un pixel (punto de vista) al próximo (meta).

Para determinar la visibilidad del pixel meta, cada pixel entre el punto de vista y meta es revisado. Donde los pixeles del valor más alto son entre el punto de vista y pixeles de meta, la línea del sitio es bloqueada. Si la línea del sitio es bloqueada entonces, estos pixeles de meta no van a ser incluidos en el viewshed.

La variable visibilidad consiste pues en la cuenca visual accesible desde un punto de partida, que se registra a través de la distancia máxima visible sin interferencia de una altitud superior. (Ver figura 1). En el cálculo de la visibilidad desde un punto, se realiza mediante la utilización de programas de Sistemas de Información Geográfica y en él intervienen una serie de factores⁵:

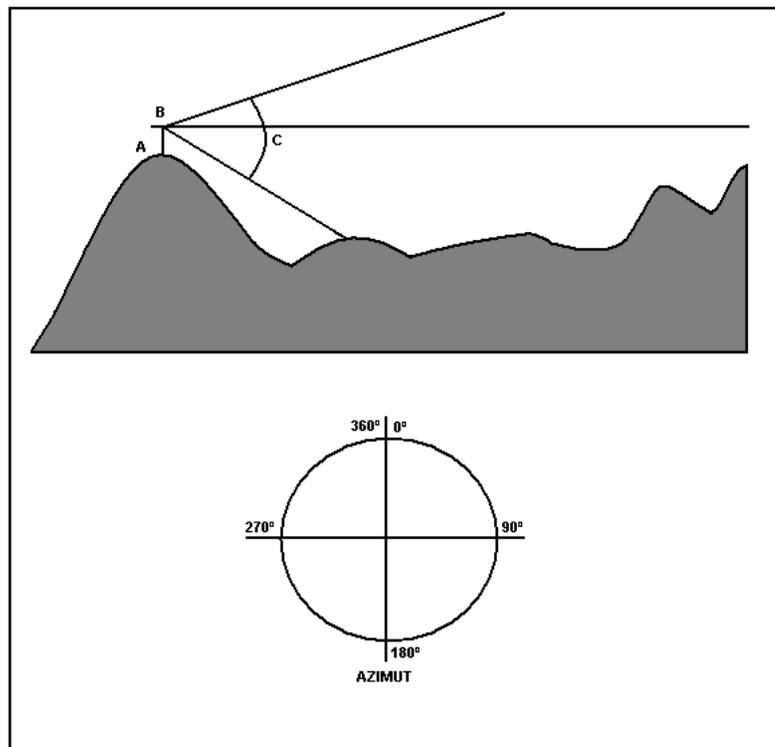


Figura 1. Factores que intervienen en el cálculo de visibilidad (A: punto de observación; B: altura del punto de observación; C: ángulo vertical que limita la exploración y azimut). Fuente: *Análisis de visibilidad y patrones de asentamiento protohistóricos*.

⁵ GONZALES ACUÑA, D. Análisis de visibilidad y patrones de asentamiento protohistóricos. Los yacimientos del bronce final y período orientalizante en el sureste de la campaña sevillana. En: *Archeología e Calcolatori*. Sevilla, Diciembre 2001. p. 123 - 142

La **altitud** sobre la que está situado un determinado punto y su relación con el entorno que le rodea. Este factor se obtiene del modelado digital del terreno (del que hablaremos más adelante) sobre el que se sitúa el punto.

El **azimut**, ángulo horizontal que limita la exploración, que en este trabajo se ha establecido en 360°.

Los **radios mínimos y máximos** que restringen la búsqueda de áreas visibles para el caso nuestro y basado en la asesoría de los ingenieros en telecomunicaciones de la universidad del cauca participantes del proyecto, se dejó un rango de 60 km de cobertura que corresponde a la capacidad máxima de los dispositivos de radioenlace.

La **altura del punto de observación**. Ésta se encuentra referida a la altura sobre el terreno en la que se localiza el punto de observación. En este estudio la hemos situado a 5 metros de altura; ya que esta es la altura media que puede alcanzar cada dispositivo instalado tanto el emisor como el receptor.

El resultado del cálculo viewshed es una cobertura digital compuesta por píxeles en los que cada uno de ellos contiene información acerca de la superficie visible desde el punto de observación.

3.1.3 Distribución espacial

Las propiedades del territorio en cuanto a la distribución espacial de sus elementos geográficos y cómo estos influye en el desarrollo de las comunidades que lo habitan, deben de ser analizadas y más aún cuando la topografía del terreno es escarpada y presenta las características geográficas del macizo colombiano; por eso para poder hacer una prospección de sitios aptos para la instalación de redes inalámbricas se debe tener en cuenta que se cumplan una serie de parámetros que facilitan la instalación de nueva infraestructura, como vías de acceso y edificaciones de equipamiento privado o colectivo. Por eso consideradas estas variables en su conjunto, para la zona de estudio y sus posibles acciones, se define la capacidad de acogida que tiene el área para desarrollar dichas obras; así el significado de capacidad de acogida del territorio se entiende como el grado de aptitud o idoneidad que presenta el territorio para una actividad teniendo en cuenta a la vez, la disposición con la que el medio cubre sus requisitos de localización espacial y de infraestructura que debe poseer un lugar para poder acoger una determinada actividad y los efectos de dicha actividad sobre el medio.

3.1.4 Análisis espacial

El análisis espacial es utilizado como una metodología para comprender el conjunto de conceptos y procedimientos para abordar el estudio de la distribución y las relaciones territoriales a partir del conocimiento de la posición de los componentes geográficos y las características de las variables seleccionadas para su estudio; para ello se identifica los componentes del espacio, utilizando una serie de técnicas que buscan separar, procesar y clasificar los datos, para contribuir a la búsqueda de respuestas del problema de investigación y se centra en el estudio, de manera separada, de los componentes del espacio, definiendo sus elementos constitutivos y la manera como éstos se comportan bajo ciertas condiciones. Para esto, el análisis espacial se vale de un conjunto de herramientas técnicas (cualitativas, cuantitativas y graficas)⁶ que sólo pueden dar respuesta a una parte de la dinámica del espacio, mas no a su totalidad; ya que está en manos del investigador la elección de las herramientas a utilizar, para posteriormente encontrar en sus resultados las relaciones adecuadas para llegar a una visión integral.

El análisis espacial dentro del SIG representa un conjunto de técnicas basadas en la localización de los objetos o hechos geográficos que se analizan, requiriendo el acceso simultáneo al componente locacional y temático de la información. Esta posibilidad y sobre todo la amplia capacidad de tratamiento de los datos geográficos ofrecen una gran ventaja en su utilización ya que conduce de forma más rápida a la consecución de resultados para la toma de decisiones.

A pesar de la gran facilidad que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica al análisis espacial, podría decirse que es una herramienta subutilizada, ya que en gran medida es empleada para la recolección de información ordenada a manera de inventarios y/o consulta, esto debido a que son pocas las personas que manejan verdaderamente las funciones de análisis espacial y los procedimientos técnicos que lleva implícitos el SIG para llegar a resultados concretos.

⁶ GOODCHILL, Michael f; HAININIG, Robert. SIG y Análisis Espacial de Datos: Perspectivas Convergentes. En: Investigaciones regionales. No. 006, (2005); p 175-201

3.2 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

La cartografía siempre ha estado ligada a los estudios de factibilidad para la instalación de redes de telecomunicaciones, cumpliendo dos objetivos principales: ofrecer la información necesaria para la elaboración de perfiles topográficos, la identificación y localización tanto en zonas urbanas como rurales de infraestructura civil que facilite la instalación de equipos de telecomunicaciones. Acercamientos al tratamiento de datos geográficos en formato digital, se han dispuesto para proyectos de este tipo en todo el mundo, la información utilizada se enmarca en la forma vectorial, es decir datos discretos representados en curvas de nivel, sin embargo esto se sigue utilizando para los mismos objetivos principales que se describieron con anterioridad. La Información de aplicaciones complejas en el ámbito de las Telecomunicaciones es prácticamente inaccesible, debido a que las grandes empresas cuya capacidad financiera les permite aplicar tecnología de punta para el diseño e instalación de redes inalámbricas, no liberan este tipo de información a la comunidad científica. Teniendo en cuenta la información disponible en internet, se puede concluir que en proyectos similares tanto en Colombia como en el resto del mundo la intervención de métodos rigurosos de análisis espacial, soportados por herramientas de SIG o lo que hoy se denomina **Tecnologías de la Información Geográfica** o **Geoinformática** son poco utilizados.

3.2.1 Redes Inalámbricas

El primer acercamiento que se tuvo con respecto a experiencias sólidas en proyectos de diseño y construcción de redes inalámbrica fue la proporcionada por el Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías de Telecomunicaciones GNTT adscrito a la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, en donde la información cartográfica utilizada se refiere a la digitalización de curvas de nivel y datos puntuales como casas, escuelas entre otros, en donde identifican posibles sitios candidatos en el mapa, mediante el trazado de perfiles altitudinales (sobre las curvas de nivel) entre éstos sitios y las coordenadas exactas de la infraestructura ya instalada en la vereda de Cajete en el Municipio de Popayán para posteriores análisis de parámetros técnicos especiales y detallados propios de las comunicaciones inalámbricas. Aunque las variables tenidas en cuenta están directamente relacionadas con las de la presente aplicación, el tratamiento de la información dista mucho con el que se puede llevar a cabo mediante un SIG y los métodos propios del análisis espacial aportado por la Geografía.

Teniendo en cuenta la experiencia de la Universidad del Cauca en estos proyectos se procedió a la revisión bibliográfica aportada en primera instancia por los

Ingenieros en Telecomunicaciones participantes en el proyecto, en donde encontramos que los procedimientos llevados a cabo por la Universidad correspondían a las indicaciones aportadas por la experiencia de los autores de dicha bibliografía, es decir que la utilización de la cartografía análoga para estos fines es de amplia difusión en el contexto de la ingeniería de la telecomunicaciones y con excelentes resultados. Cabe mencionar que el presente estudio no pretende desfavorecer los métodos actuales, sino complementarlos y automatizarlos, desde el punto de vista de los Sistemas de Información Geográfica y la Geografía como ciencia.

Posterior a la primera revisión bibliográfica, la intención fue la de encontrar experiencias relacionadas con el tema alrededor del mundo, donde fuese comprobable la incorporación de los SIG y sus métodos complementarios. Como resultado se encontró una gran diversidad de aplicaciones que van desde la utilización de cartografía digital y bases de datos geográficas hasta el análisis y combinación de variables espaciales. Algunos de estos casos agregaron el cálculo de visibilidad derivado de Modelos Digitales de Elevación de varios tipos, en general la interpolación de curvas de nivel para la obtención de un Triangulated Irregular Network (Red de Triángulos Irregulares) así como también el cálculo de distancias entre puntos de observación. Tal es el caso de la aplicación preliminar elaborada por Ben Knutson en diciembre de 2007 titulada ***Cartografía Rural y Comunicaciones Inalámbricas***⁷ en el Salar de Bear y Cache Creek áreas al oeste de Fort St. John, Columbia Británica.

Según el autor la idea principal detrás de este proyecto fue desarrollar un proceso de creación de un mapa de torres de comunicación que pueden utilizarse para proporcionar servicios de Internet para una determinada zona rural. El proceso tuvo en cuenta la línea de vista, las torres de sitios ideales, la topología, y la ubicación de los hogares. La combinación de las variables se hizo con datos ráster a través de álgebra de mapas. En este caso el autor conocía a priori la ubicación ideal de las antenas pero buscaba conocer el alcance y la cobertura de la señal inalámbrica en la zona estudiada, situación inversa a nuestro proyecto, pues como ya se mencionó el principal objetivo es la identificación de sitios idóneos para la instalación de la red inalámbrica.

⁷ KNUTSON, Ben. Rural Wireless Communications Mapping. En: GIS & Remote Sensing Lab. GEOG 413/613, (December, 2007).

3.2.2 Radio Enlace por línea de vista Directa

A partir de los atributos analizados anteriormente que brindan una serie de parámetros y características para establecer un radio enlace que cumpla con las particularidades exigidas, con el fin de mejorar el desempeño de conectividad. Previo a desplegar o instalar la red inalámbrica, se debe conocer de antemano los prospectos de sitio para su instalación. Si bien esto parece ser un proceso relativamente simple, el factor topográfico entre otros puede complicar el modelo a diseñar y plantear varias alternativas hasta encontrar la solución.

La experiencia del proyecto constató que si bien es posible estimar el radio enlace a obtener entre dos puntos, usando herramientas de simulación; es necesario al menos hacer una revisión visual del entorno donde se situarán los nodos de la red porque estas redes requieren visibilidad directa o trayectoria libre de obstrucción (LOS line of sight) entre transmisor/receptor y receptor/transmisor.

3.3 ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO PARA LA PROSPECCIÓN DE SITIO EN LA INSTALACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS.

Aplicando técnicas que permitan mejorar el análisis y modelación de la información espacial que se necesita para obtener la base del conocimiento acertado y eficiente del terreno en el que interactúan un sin número de factores de tipo geográfico y técnicos, generando alternativas de estudio y modelamiento de los datos, brindando opciones de carácter espacial con respecto a la ubicación de los mejores sitios para la instalación de redes inalámbricas.

Es necesario llevar a cabo un estudio de la infraestructura disponible en el área en términos generales donde se va hacer un emplazamiento de esta categoría, para esto y teniendo en cuenta las características del terreno se deben evaluar otros factores que van a formar parte significativa en el estudio; por eso se adquirió información de cartografía disponible de la cual se extrajo la información de interés como casas y vías; así mismo las crestas y las elevaciones se generaron del uso de modelos digitales de terreno, asegurándose de obtener un análisis detallado de la zona de interés, para lo cual que se realizaron visitas técnicas a cada sitio candidato resultante del modelo de capacidad de acogida posterior al análisis realizado en el laboratorio SIG.

3.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en una herramienta esencial para el manejo y tratamiento de los datos geográficos en multitud de aplicaciones y problemas prácticos: gestión de grandes infraestructuras físicas, realización y explotación de grandes bases de datos catastrales, planificación urbana, ordenación del territorio, manejos del problemas de transporte etc.

La definición para Sistemas de Información Geográfica es variada, por tanto ellas están condicionadas según el autor. Sin embargo, en la actualidad todas las definiciones de SIG apuntan a incluir los mismos componentes:

- Personal capacitado
- "Hardware", "Software"
- Datos Geográficos o
- Información que pueda tener una referencia geográfica

Los SIG son de gran importancia y de gran uso, debido a que integran información espacial y no espacial ofreciendo un marco consistente para el análisis de los datos geográficos. Algunos de los objetivos específicos de un SIG es manejar bases de datos grandes y heterogéneas referenciadas geográficamente, interrogar bases de datos sobre la existencia de ciertos fenómenos e incrementar el conocimiento sobre el fenómeno estudiado.

Entre las principales ventajas con respecto a otros sistemas no digitales, se puede contar con gran capacidad de almacenamiento de datos, el hecho que estos se almacenen y presenten en forma separada y el que se pueda presentar múltiples niveles de datos. Igualmente ofrecen una gran capacidad de manejo de la información, lo que permite editarla y actualizarla de forma rápida y eficiente, proporciona velocidad en la operación del sistema, gran capacidad para establecer una relación coherente entre datos espaciales y sus atributos así como para manipularlos simultáneamente y una amplia capacidad de análisis y de implementación de modelos que representan la realidad.

Los SIG manejan datos tipo vector y ráster.

3.4.1 Modelo de datos tipo Vector

Está basado en entidades u objetos geométricos definidos por coordenadas sus nodos y sus vértices. En este modelo los atributos del terreno se presentan mediante puntos líneas o polígonos con sus respectivos atributos, (ver figura 2). Los atributos se definen mediante un par de valores de coordenadas con un

atributo de localización, el formato vectorial con este tipo de organización, genera una gran cantidad de archivos que relacionan las coordenadas con los distintos elementos además de sus relaciones topológicas.⁸

3.4.2 Modelo de datos tipo Ráster

La estructura ráster consiste en la representación del mundo real o la representación de este en una grilla compuesta de celdas (píxel). Esta serie de datos ráster, basado en celdas, está orientado para representar fenómenos tradicionalmente geográficos que varían continuamente en el espacio, como la elevación, inclinación o precipitación. Pero además pueden ser utilizadas para representar tipos de información menos tradicionales, tales como densidad de población, comportamiento del consumidor y otras características demográficas. Las celdas también son datos ideales de representación para el modelo espacial, el análisis de flujos y tendencias sobre los datos representados como superficies continuas como el modelado de vertientes o los cambios dinámicos de población sobre el tiempo.⁹

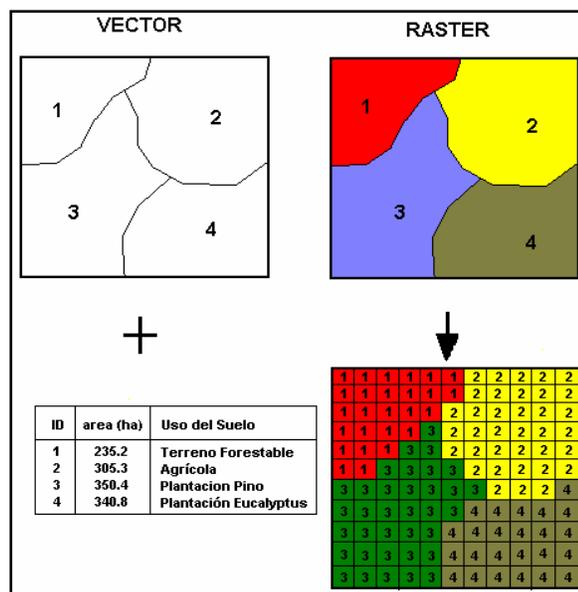


Figura 2. Representación de datos espaciales: vector y ráster. Fuente: Manual curso análisis espacial arcview 8.2.

⁸ Manual: curso análisis espacial arcview 8.2. Proyecto regional “ordenamiento territorial rural sostenible” (Proyecto Gcp/Rla/139/Jpn). Santiago, Chile, Mayo, 2003.

⁹ Op.cit.

3.5 MODELOS DIGITALES DE TERRENO

Uno de los elementos básicos de la representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno. Se denomina así al conjunto de mapas que representan distintas características de la superficie terrestre que se derivan de un mapa de elevaciones (Modelo Digital de Elevaciones).

Un modelo digital de elevaciones es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. (Ver figura 3).

Los modelos de elevación digital son la base para todo sistema de información geográfica, son imprescindibles en estudios geomorfológicos, hidrológicos, geológicos, de vulnerabilidad, telecomunicaciones, entre otros¹⁰.

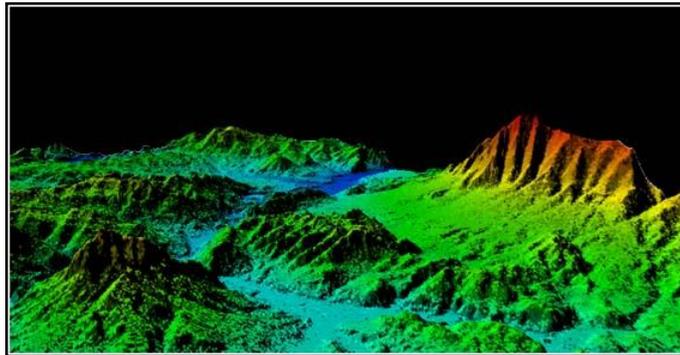


Figura 3. Modelo digital de elevaciones elaborado a Partir del Software Global Mapper. Fuente de Datos: SRTM NASA. Elaboracion propia.

Los modelos digitales de elevación contienen información de dos tipos diferentes:

- Información explícita: recogida en los datos concretos del atributo del modelo, como el de la altitud en el caso del MDE.
- Información implícita: relativa a las relaciones espaciales entre los datos como la distancia o la vecindad.

Ambos tipos de información son complementarios y permiten obtener información sobre la morfología del relieve de forma objetiva y exhaustiva. La objetividad se deriva del carácter digital de los datos y de los procesos de análisis, configurados por algoritmos. La exhaustividad se refiere a que estos procesos son aplicables a

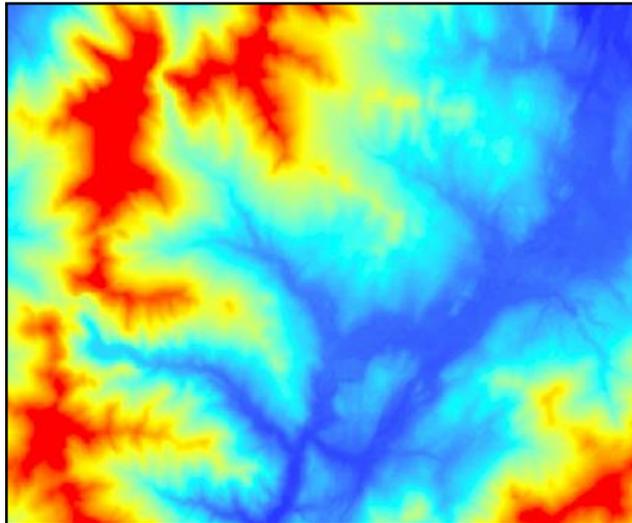
¹⁰ ROFFE, Tatiana Geler y DE LA TORRE, Reynier Fernández. Modelo digital de elevación de la zona emergida del ecosistema Sabana Camaguey. En: Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Vol 9, (2004).

la totalidad del área analizada¹¹. Un terreno real puede describirse de forma genérica como una relación bivariable continua (x, y) donde z representa la altitud del terreno en un punto de coordenadas.

Un MDT suele incluir:

1. Modelo Digital de Elevaciones
2. Pendiente
3. Orientaciones o exposiciones.
4. Variables asociadas al terreno.

Los sectores más altos aparecen en tonos de rojo, los sectores menos elevados, se representan en tonos azulosos. (Ver Figura 4).



*Figura 4. Imagen ráster modelo digital de elevación.
Fuente de Datos: SRTM - NASA. Elaboracion propia.*

Los sectores con mayores pendientes aparecen en tonos de rojo, los sectores con menor relieve, se representan en tonos verdes. (Ver Figura 5).

¹¹ FERREIRA, Luis. La utilización de los MDT en los estudios del medio físico. (Abril de 1999); URL : http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/ITGE_150a.pdf

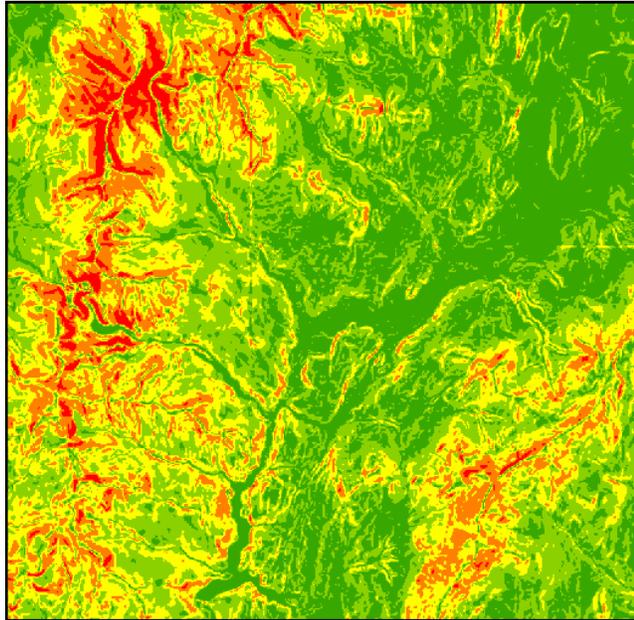


Figura 5. Imagen ráster de pendiente. Fuente de Datos: SRTM - NASA. Elaboración propia.

La exposición es la dirección donde mira la cuesta o la dirección de la pendiente empinada, definida por la celda y sus ocho vecinos circundantes. (Ver Figura 6).

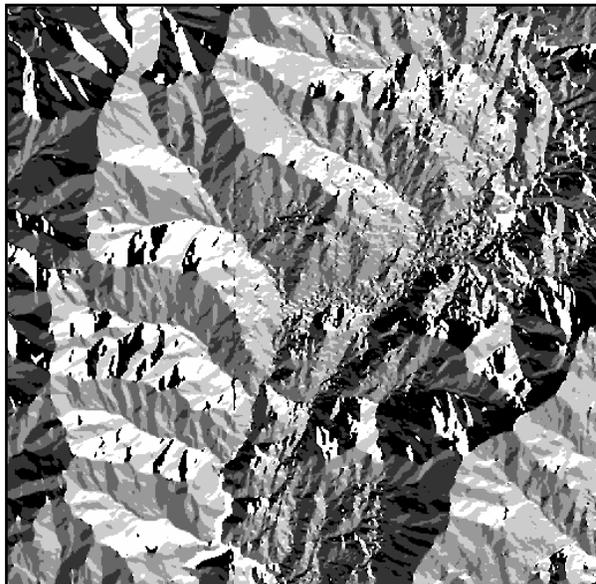


Figura 6. Imagen ráster de exposición. Fuente de Datos: SRTM - NASA. Elaboración propia.

4 ANÁLISIS Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN BASE

Comprende la evaluación y análisis del fenómeno estudiado para emprender la recopilación de la información cartográfica disponible para el caso, considerando al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y su plataforma SIGOT (Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial.) como fuente principal de dicha información, ya sea en formato analógico o digital, además de la adquisición del Modelo Digital de Elevaciones (DEM por sus siglas en inglés) de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM por sus siglas en inglés), con el fin de consolidar una base de datos geográfica, para evaluarla, editarla y seleccionarla.

4.1 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables que se tomaron en cuenta cumplen con la condicionante de la representatividad espacial, por lo que se consideraron las siguientes: Línea de Vista, Crestas, Crestones y Cuchillas, Altimetría, Caminos y Vías de acceso, construcciones habitacionales y de equipamiento público (Casas, escuelas, hospitales etc.).

Fuente	Escala/resolución	Variables	Representación Final
Shuttle Radar Topography Mission, SRTM. NASA	90X90	Modelo de relieve en sombras: Crestas, Crestones y Cuchillas	Línea, Polígono
		Viewshed (Cuenca visual – línea de vista)	Polígono
		Perfiles Topográficos	Gráfica
		Hipsometría	Polígono
Cartografía base	1:25.000	Vías	Línea
		Escuelas	Punto
		Casas	Punto

Tabla 1. Descripción de la información base. Fuente: Elaboración Propia.

4.1.1 Inclusión de las restricciones

Corresponden a un cierto tipo de criterio que restringe en forma permanente la disponibilidad del sitio para la evaluación de las alternativas¹². Para este caso, las restricciones incluyen: áreas no visibles directamente entre el punto de referencia del corregimiento de Cajete y la comunidad Indígena de los Yanaconas; crestas, crestones y cuchillas cuya altitud no corresponda al intervalo máximo en el área de estudio, zonas deshabitadas y sin presencia de construcciones habitacionales y equipamiento colectivo.

4.1.2 Rasterización de la base de datos digital

El modelo espacial junto con la metodología de Evaluación Multicriterio exige el procesamiento cuantitativo de la información espacial a través de álgebra de mapas, lo que tiene como principal requerimiento trabajar con capas temáticas o **mapas de tratamiento** en formato de matrices (ráster) conformadas por píxeles de que contienen números digitales de valores que facilitan las operaciones algebraicas que conllevan a la obtención de **mapas de síntesis**¹³, resultado derivado de la combinación de dos o más mapas de tratamiento.

4.2 DEFINICIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Se constituyen en la contraparte de las restricciones, lo que significa que la información espacial involucrada tiene un alto grado de pertenencia a las condiciones óptimas que requiere la instalación de redes inalámbricas en lo que respecta al relieve y la infraestructura civil presente en el territorio indígena de los Yanaconas. A continuación se detallan las capas temáticas (layers) utilizadas como criterios de selección y sus características principales:

4.2.1 Línea de Vista o Line of Sight (LoS):

De acuerdo con los asesores en Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca la línea de vista es una de las condiciones más importantes para crear enlaces inalámbricos confiables debido a que todas las señales inalámbricas se atenúan cuando encuentran objetos que las obstruyen. Uno de los requerimientos en el diseño de redes inalámbricas es reducir la atenuación implementando enlaces con Línea de Vista clara. A este respecto algunos programas de Sistemas de Información Geográfica contienen una herramienta

¹² FRAU MENA, Carlos; VALENZUELA FAJARDO, Jhon, y ROJAS ORMAZABAL, Yony. Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. En: Revista facultad de Ingeniería Civil. Vol. 14, No 001 (Abril 2006); p. 81- 89

¹³ BUZAI, Gustavo D; BAXENDALE, Claudia A. Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Buenos Aires, 2006, 397p.

para el cálculo de visibilidad tomando como referencia un punto en el espacio geográfico con coordenadas en X, Y y Z, en donde se puede representar cartográficamente y no a través de perfiles todas las zonas visibles alrededor del dicho punto.

El **viewshed**” o “**cuenca visual** como es denominado en el ámbito de los SIG hace referencia a la conectividad visual concepto relativamente nuevo en el campo del análisis cartográfico, si bien siempre ha ocupado un lugar importante en el pensamiento de los paisajistas. Ello ha sido así porque es ahora cuando la tecnología SIG permite una aproximación cartográfica al tema, cosa que antes no ocurría¹⁴. En las figuras 7 y 8 se muestra la diferencia entre los procedimientos para el cálculo de visibilidad que se logra a través del Modelo Digital de Elevaciones y el que se logra utilizando los valores de las curvas de nivel.

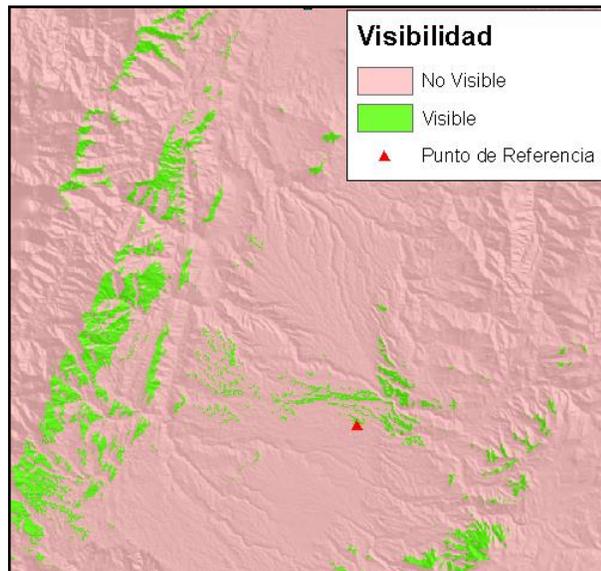


Figura 7. Cálculo de visibilidad "viewshed". Fuente: Elaboración propia.

¹⁴ BEERY, Joseph K. Beyond mapping concepts algorithms and issues in gis. En : Gis world books. (1993); p. 223



Figura 8. Perfiles Altitudinales elaborados a partir del Software Globalmapper. Fuente: elaboración propia.

4.2.2 Crestas, crestones y cuchillas:

Son nombres asignados a ciertas geoformas presentes un paisaje montañoso altamente irregular. El término topográfico de “cuchillas” se utiliza porque éstas sobresalen netamente por su altura en un sistema de montañas y colinas plegadas¹⁵. La clase excluyente en el área de estudio se fijó para distancias mayores a 100 metros de la parte más alta de las crestas, crestones o cuchillas.

4.2.3 Vías y caminos (accesibilidad):

La importancia de la infraestructura vial como criterio en la planificación, diseño e implementación de redes inalámbricas está dada por la facilidad que aporta a la hora de acceder a sitios candidatos para el alojamiento de las antenas.

4.2.4 Casas, escuelas, etc:

La instalación de una antena que reciba y retransmita la señal emitida desde el corregimiento de Cajete necesita un sitio donde alojarse, seguridad y energía eléctrica para su funcionamiento. En el diseño del modelo espacial preliminar podemos asumir que cada casa o escuela cuenta con el servicio de energía eléctrica, información que se verifica con una visita técnica a las casas y escuelas candidatas.

¹⁵ VILLOTA, Hugo. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierra. 2 ed. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2005. 228P.

4.3 PROCESO DE LAS RESTRICCIONES ASOCIADAS:

Representan las limitaciones dentro de las capas temáticas estas a su vez contienen sólo dos valores numéricos: el código 1, que indica aquel lugar candidato para cierta actividad, y el valor 0, que indica la anulación total de dicho sector para la actividad evaluada. A continuación, se mencionan las restricciones aplicadas y los sectores que fueron considerados como potenciales o restrictivos¹⁶:

RESTRICCIÓN	ALTERNATIVA
0 Anulación del sector para la actividad evaluada	1 Lugar candidato para la actividad

Tabla 2. Inclusión de las restricciones asociadas Fuente: elaboración propia.

La Lógica Booleana es especialmente útil en el cálculo (o modelado) de nuevos atributos en procesos topológicos de Superposición, tanto para sistemas ráster como vectoriales, ya que pueden aplicarse a todo tipo de datos, sean booleanos, proporción, intervalos, ordinales o nominales. El Álgebra Booleana usa los operadores lógicos AND, OR, NOT para determinar si una condición es verdadera o falsa.

4.3.1 Áreas no visibles:

La clase excluyente se identifica como las áreas no visibles del área de estudio desde la antena ubicada en el corregimiento de Cajete Municipio de Popayán. Las áreas visibles se codificaron con el valor 1, por otro lado áreas sin conectividad visual se codificaron con el valor 0. (Ver Figura 9).

¹⁶ FRAU MENA, Carlos; VALENZUELA FAJARDO, Jhon, y ROJAS ORMAZABAL, Yony. Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. En: Revista facultad de Ingeniería Civil. Vol. 14, No 001 (2005); p. 81- 89

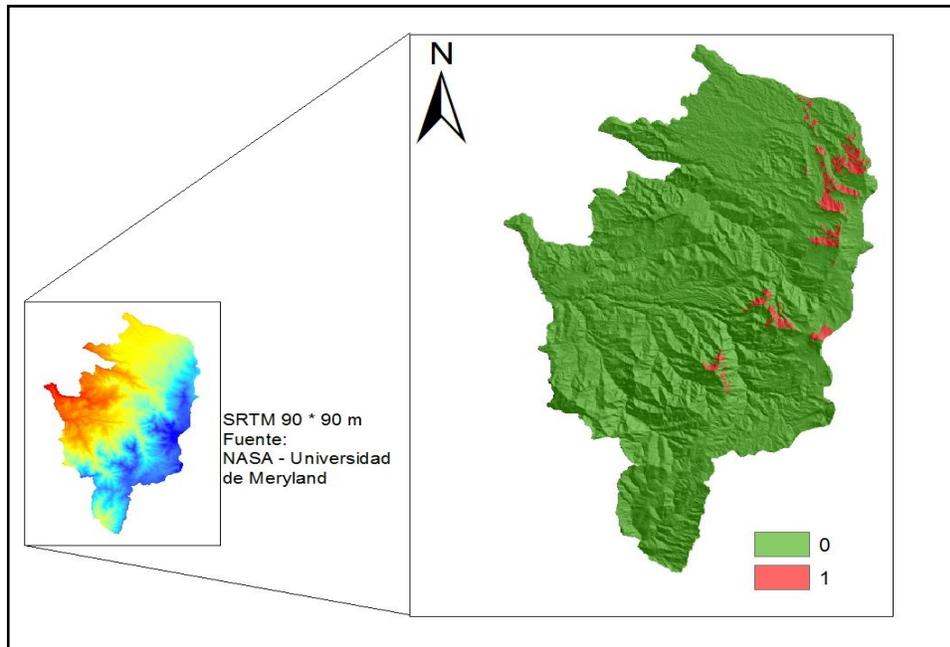


Figura 9. Áreas no visibles (0 áreas no visibles; 1 áreas visibles) Fuente: elaboración propia.

4.3.2 Zonas bajas:

En el área de estudio se presenta un amplio rango de altitud sobre el nivel del mar entre los 1300 m. y superiores a 4000 m. Se establecieron 2 intervalos de altitud en donde la codificación 0 es asignada a aquellos intervalos entre los 1300 m. y los 3411 m. elevaciones iguales superiores a los 3411 serán evaluadas con valor 1. (Ver Figura 10)

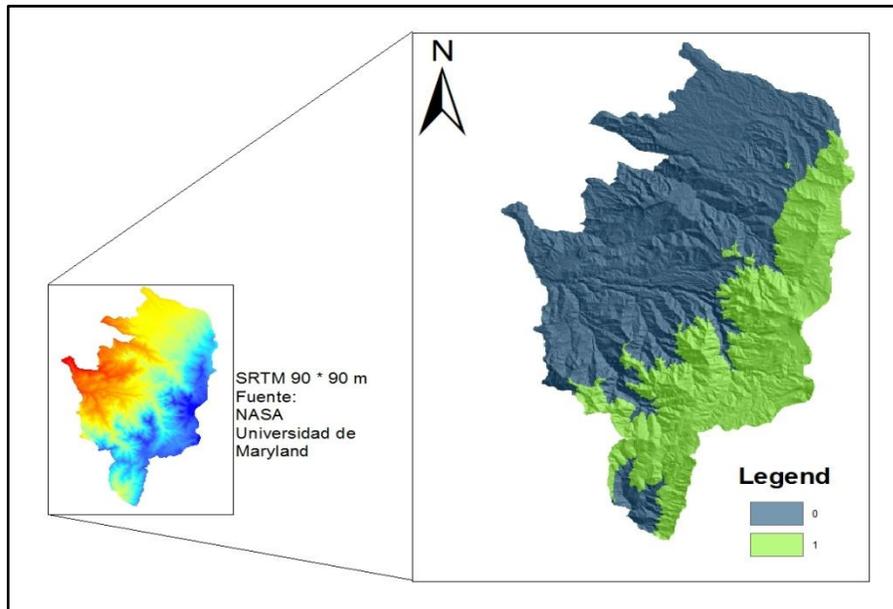


Figura 10. Zonas bajas (0 áreas 1300 m. y los 3411 m; 1 áreas =>3411) Fuente: elaboración propia.

4.3.3 Distancia a crestas:

La restricción está relacionada a las áreas cuya distancia a las crestas es mayor a 100 metros, cuyo valor digital para la evaluación es de 0. (Ver figura 11)

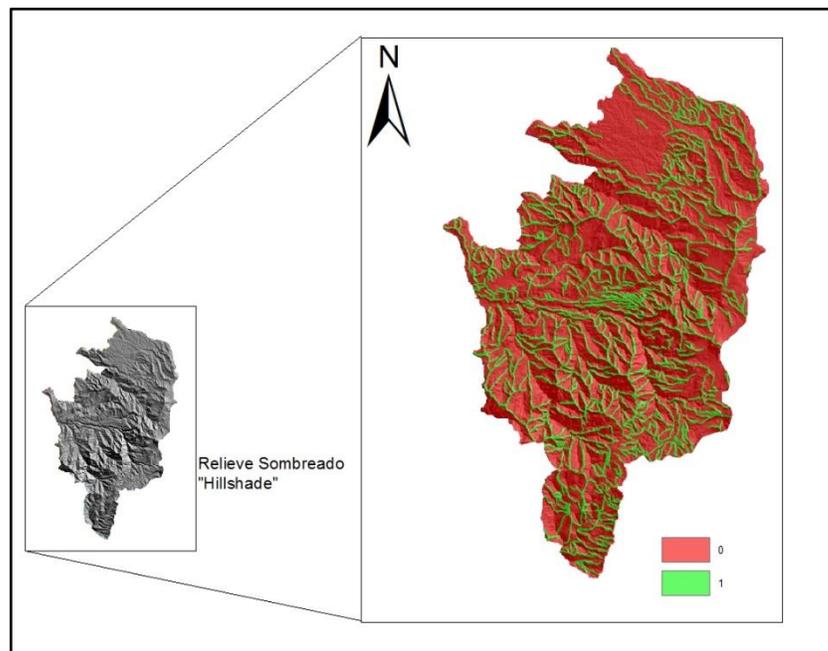


Figura 11. Distancia a crestas (0 áreas > 100 m; 1 áreas < 100 m) Fuente: elaboración propia.

4.3.4 Distancia a las vías de Acceso:

La restricción se fijó a distancias mayores de 300 metros de las vías o caminos cuya codificación equivale a 0 en tanto las áreas en rango de 300 metros con respecto a las vías de acceso tienen valor igual a 1. (Ver figura 12)

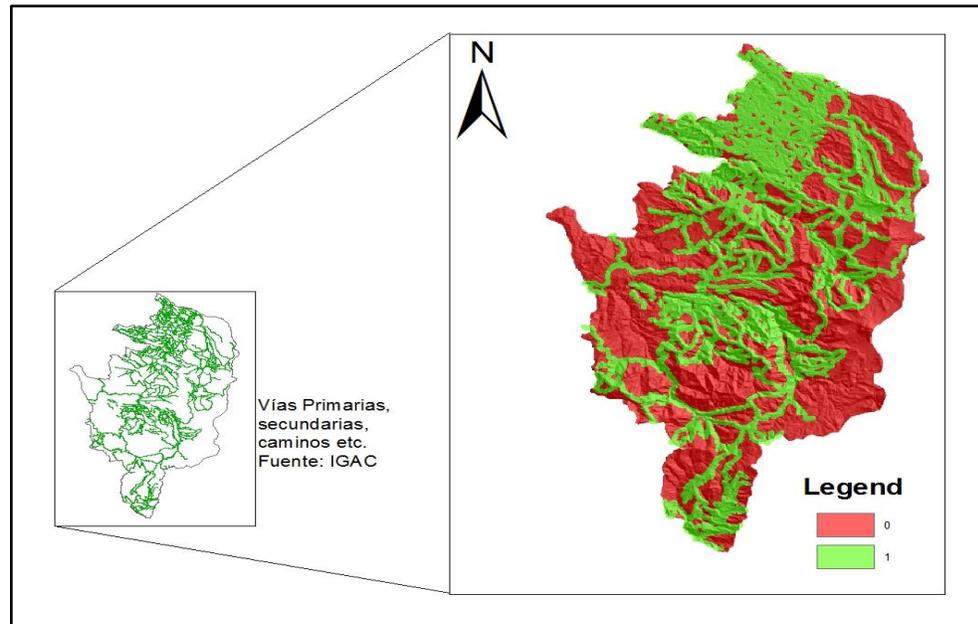


Figura 12. Distancia a vías (0 áreas > 300 m; 1 áreas < 300 m) Fuente: elaboración propia.

4.3.5 Zonas deshabitadas o desprovistas de infraestructura y equipamiento colectivo:

En el modelo espacial se excluyen las áreas cuyas distancias sean mayores a 100 metros con respecto a cada casas, escuelas etc., y se les asigna el valor 0 así mismo las distancias menores a 100 metros son codificadas con valor 1. Con esta restricción estamos de manera implícita descartando Zonas de Parques Naturales Nacionales, Áreas de Interés Ambiental entre otras que están protegidas por la legislación ambiental colombiana. En la figura 13 se ilustran de color rojo la restricción para la instalación de redes inalámbricas.

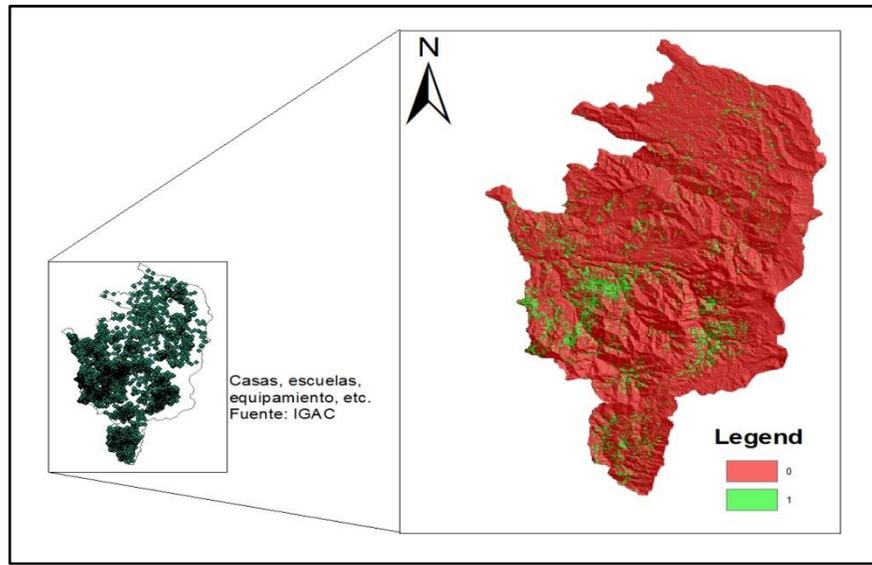


Figura 13. Zonas desprovistas de infraestructura. (0 áreas > 100 m; 1 áreas < 100 m) Fuente: elaboración propia.

5 DISEÑO DEL MODELO ESPACIAL

En términos generales, un modelo espacial es una representación de la realidad. Por las complejidades inherentes del mundo y su interacción, los modelos crean una simplificada y manejable vista de la realidad. Los modelos ayudan a comprender, describir o predecir cómo funcionan las cosas en el mundo real, entonces es posible identificar dos tipos principales de modelos espaciales: los que representan los objetos en el paisaje “modelos de representación” y otros que tratan de simular los procesos en el paisaje “modelos de procedimiento”¹⁷.

Con claridad los modelos de representación describen los objetos en un paisaje abstraídos de la realidad (Ver Figura 14), como construcciones, ríos o bosques a través de capas temáticas de información sobrepuesta.

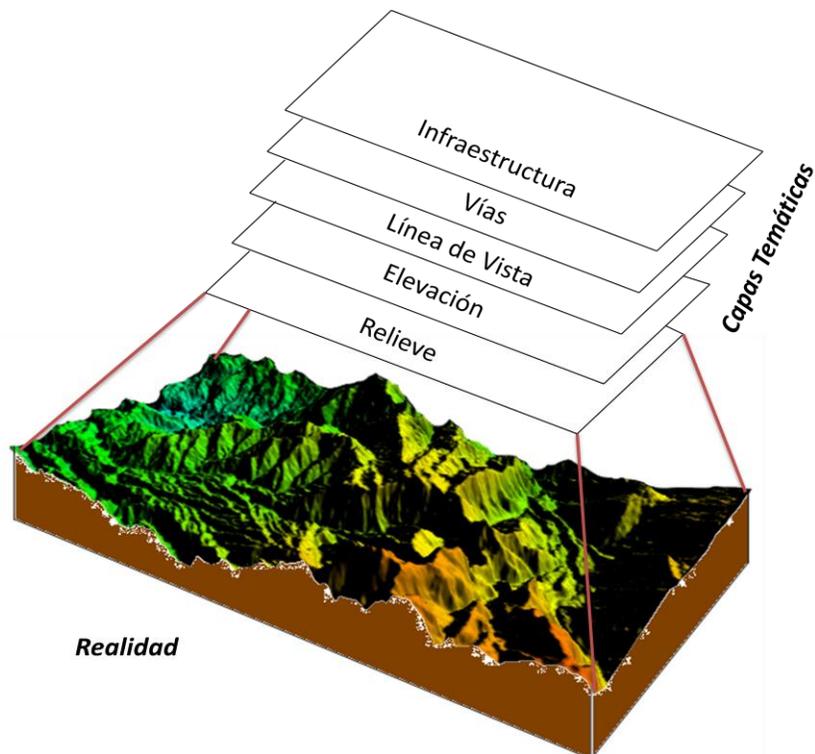


Figura 14. Modelo de Representación para la Instalación de Redes Inalámbricas. Fuente: Elaboración Propia.

¹⁷ MCCOY, Jill; JOHNSTON, Kevin; KOOPP, Steve; BORUP, Brett; WILLISON, Jason; PAYNE, Bruce. Using Arcgis Spatial Analyst. Argis 9 Tutorial. Esri. (2002); p. 46

Con base en un modelo de representación se puede captar la relación espacial que presenta un objeto y su forma, y entre éste y otros objetos distribuidos en la superficie, conformándose una referencia con el modelo de datos y representando una descripción de la realidad.

Un modelo propio para la representación de las relaciones de las entidades geográficas que intervienen en la problemática de éste estudio estaría integrado por los siguientes temas abstraídos de la realidad que guardan relación con las variables mencionadas en el capítulo 4. Se ilustran de abajo hacia arriba desde el relieve hasta la infraestructura presente en el área de estudio (Ver Figura 14).

Por otro lado, un modelo de procedimiento intenta describir la interacción de los objetos que se incorporan en el modelo de representación, a través de operaciones sencillas o complejas y funciones especializadas.

Para modelar las relaciones entre las variables que condicionan el diseño y construcción de redes inalámbricas en zonas rurales de difícil acceso (Ver Figura 15), se analizó en detalle la complejidad del fenómeno del enlace radioeléctrico por línea de vista, además del entorno que debe presentarse en el sitio candidato para la mejor ubicación de esta infraestructura, lo que indica que este tipo de procesos arroja como resultado un modelo de idoneidad, o en este caso especial un modelo de capacidad de acogida del terreno frente a la actividad evaluada. Las relaciones de los objetos distribuidos en el terreno se combinan mediante operaciones algebraicas, la fórmula utilizada se denomina sumatoria lineal ponderada basada en los valores reclasificados de cada pixel dentro de las capas temáticas.

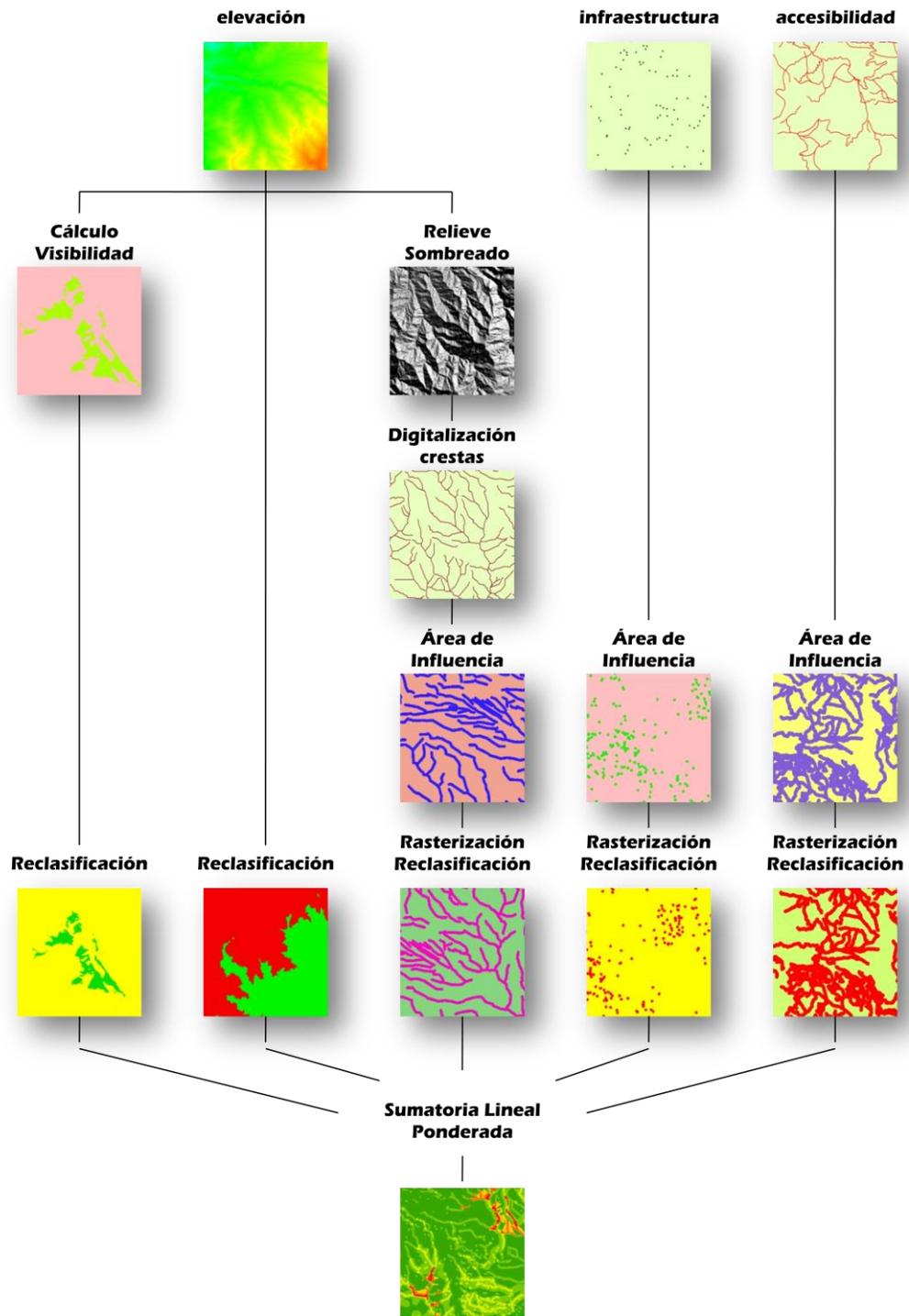


Figura 15. Modelo de Procedimiento para el análisis espacial en la instalación de redes inalámbricas. Tomado de: elaboración propia.

6 ANÁLISIS ESPACIAL E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO CON TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Conforme a la revisión bibliográfica, el análisis espacial propuesto se apoya en diferentes métodos y teorías que soportan científicamente el proceso y los resultados. Es así como el análisis espacial de las condiciones topográficas y de infraestructura para la instalación de redes inalámbricas empieza con la evaluación de varios criterios que están involucrados y relacionados con la futura toma de decisiones, estos criterios son ponderados jerárquicamente y combinados a través de la superposición temática de variables cuya principal herramienta es el álgebra de mapas que en este caso específico se basa en los preceptos de la lógica booleana, estas operaciones se apoyan en la sumatoria lineal ponderada. Para mayor claridad en el proceso de análisis espacial que se llevó a cabo se mencionarán los conceptos según el orden establecido en la metodología propuesta.

6.1 EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

Los métodos de análisis multicriterio se utilizan para agregar la información necesaria y elegir la solución más adecuada, teniendo en cuenta las preferencias de los tomadores de decisiones¹⁸. La utilización de capas temáticas de información geográfica (layers) en forma de criterios como apoyo a problemas de localización espacial impone, por un lado, la posibilidad de que la decisión puede basarse en la consideración de uno a varios criterios (unicriterio o multicriterio), y por el otro la capacidad de solucionar uno o varios objetivos simultáneamente (uniobjetivo o multiobjetivo). Como se describe en el esquema (Ver Tabla 3). En este sentido, la clasificación de las decisiones se basa en la combinación de las siguientes cuatro posibilidades.

	Unicriterio	Multicriterio*
Uniobjetivo*	Un layer – Una alternativa	Varios Layer – Una alternativa
Multiobjetivo	Un layer – Varias alternativas	Varios Layers – Varias alternativas

Tabla 3. Clasificación de Decisiones. Fuente Buzai, Baxendale 2006.

¹⁸ SENDRA, Joaquín Bosque, y GARCIA, Rosa C. El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. En : Anales de Geografía de la Universidad complutense. No. 20 (2000); p. 49-67

Como se ha descrito en el presente documento, el proceso de toma de decisiones para el caso de estudio de las comunicaciones inalámbricas que consiste en hallar los sitios más adecuados para la instalación de redes de tipo inalámbrico (multiobjetivo), además de contar con diversos criterios que reducen la posibilidad de evaluar sitios inadecuados (Multicriterio), estos a su vez son aquellas capas temáticas (layers) que aportan la información espacial para su respectivo análisis.

El propósito de la Evaluación Multicriterio (EMC) es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto y según eso generar soluciones y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo a su grado de atracción. La toma de decisiones multicriterio se puede entender como conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para favorecer a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, sobre la base de una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios¹⁹.

6.1.1 Componentes principales

Para Thomas Saaty²⁰ existen varias componentes dentro de la EMC, siendo las principales: objetivos, criterios (factores y limitantes), regla de decisión, funciones y evaluación. El autor define las componentes de la EMC de la siguiente manera:

Los Criterios: Son aquellos que dan la base para la toma de una decisión, la cual puede ser medida y evaluada. Pueden ser de dos tipos: factores y limitantes.

Factor: Es un criterio que realza o descalifica la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración, este por lo tanto debe ser medido en una escala continua.

Objetivo: En la EMC, un objetivo se puede entender como una función a desarrollar; aquí el objetivo indica la estructuración de la regla de decisión o el tipo de regla de decisión a utilizar. Los objetivos pueden ser múltiples en determinados problemas de planificación, decisión o localización/asignación de actividades, con lo cual se puede plantear una evaluación multiobjetivo. En evaluaciones de este tipo, los objetivos pueden ser complementarios o conflictivos.

Limitante: Es un criterio que restringe la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada; con este tipo de criterio se excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación; es decir, se genera una capa binaria (0 ó

¹⁹ Barredo, J. I.; y J. Bosque. 1996. Sistemas de Información Geográfico y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del territorio. Universidad Alcalá de Henares. RA - MA. 263 p.

²⁰ Saaty, T. 1980. Evaluación y Decisión Multicriterio. Reflexiones y Experiencias. Universidad de Pittsburg, U.S.A. Editorial Universidad de Santiago. 219 p.

1) en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad, y otro, la no disponibilidad para la actividad.

La Regla de Decisión: Es el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular, pudiendo también comparar a través de ella distintas evaluaciones con el fin de variar alguno de sus aspectos en el caso de ser necesario. Esto es posible ya que una regla de decisión está estructurada a partir de una serie de procedimientos (aritmético estadísticos) que permiten integrar los criterios establecidos en un índice de simple composición; asimismo, puede proporcionar la manera de comparar las alternativas utilizando dicho índice. Todo este proceso se describe (ver figura 16).

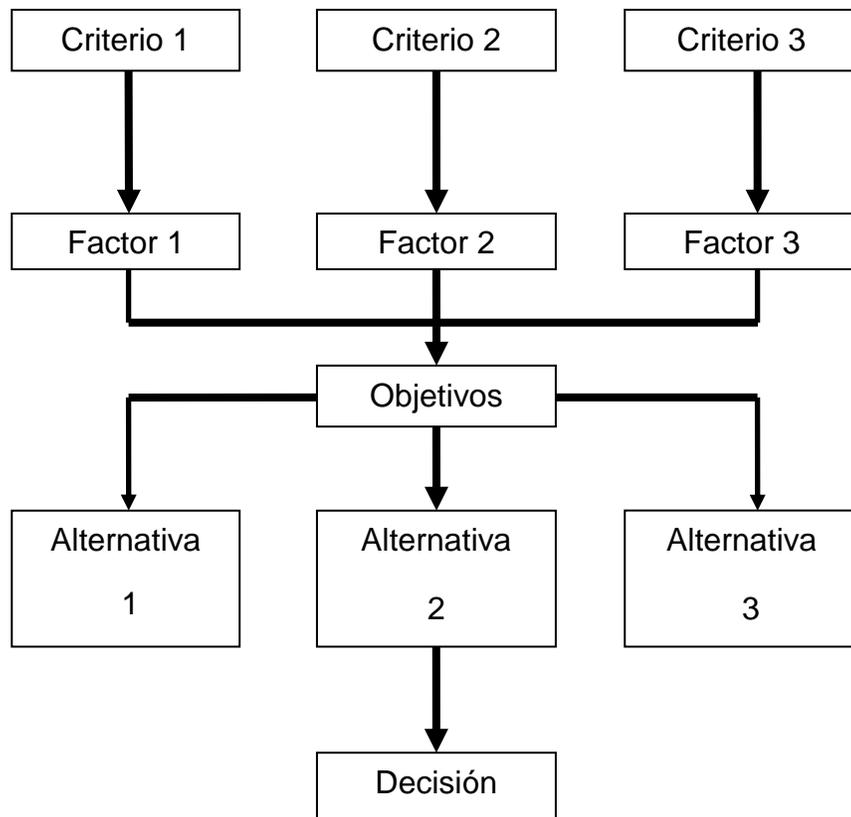


Figura 16. Procedimiento Multicriterio Multiobjetivo. Modificado de Buzai 2006.

En el Análisis de Evaluación Multicriterio tomado para esta aplicación se describe por la inclusión de varios Layers para la consecución de distintas alternativas que difieren entre sí dependiendo de su capacidad de acogida (muy alta, alta, media, baja, muy baja y excluyente).

6.1.2 Métodos de EMC

Los distintos métodos o técnicas de EMC se diferencian básicamente en los procedimientos aritmético-estadísticos que realizan sobre las matrices. Según el método empleado, se efectúan distintas operaciones aritméticas.

En relación con dicha clasificación, se diferencian dos grupos de técnicas de EMC: compensatorias y no-compensatorias; siendo las técnicas compensatorias las que demandan un mayor proceso cognitivo. Dado que requieren que el centro decisor especifique los pesos de los criterios como valores cardinales o funcionales de prioridad, mientras que las no-compensatorias demandan un menor proceso cognitivo del centro decisor, ya que por lo general requieren una jerarquización ordinal de los criterios basada en las prioridades del centro decisor.

Esto es, en el primer grupo de técnicas deben establecerse los pesos de los criterios (W_j) de manera numérica en escala de razón, lo que puede llevarse a cabo a través de algún procedimiento para tal fin. Por otra parte, en el grupo de las no compensatorias, los procedimientos se pueden llevar a cabo indicando un valor ordinal o bien el orden de importancia de los criterios, sin establecer un peso de manera cuantitativa.

Desde el punto de vista operativo y de tratamiento de los datos, se considera de mayor relevancia, las técnicas compensatorias que se basan en la suposición de que un valor alto de una alternativa en un criterio puede compensar un valor bajo de la misma alternativa en otro criterio.

Por otra parte, en las técnicas no-compensatorias, un valor bajo en un criterio no puede ser compensado o equilibrado por un valor alto en otro criterio; aquí las alternativas son comparadas en todos los criterios, sin realizar operaciones entre los criterios.

6.2 MÉTODO DE JERARQUÍAS ANALÍTICAS DE SAATY

Desarrollado por Thomas Saaty a principios de los ochenta, consiste esencialmente en formalizar nuestra comprensión intuitiva de problemas complejos utilizando una estructura jerárquica. El propósito del MJA es permitir que el decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, dándole la forma de una jerarquía de atributos.

Es frecuente en estudios del territorio la necesidad de establecer jerarquías y pesos (W_j) para los factores que determinan el uso, asignando así a cada uno de ellos un valor relativo de ponderación frente a los demás. El objetivo de la ponderación se define como llegar a expresar, en términos cuantitativos, la

importancia de los distintos elementos para acoger o ser afectados por una determinada actuación. Si bien es frecuente la asignación de pesos a los factores del territorio, la especificación de los mismos es una cuestión en la que no existe un método generalmente aceptado para su determinación, pudiéndose considerar asimismo este proceso como un aspecto que puede crear controversias acerca de la asignación de dichos pesos.²¹

El procedimiento parte de establecer una matriz cuadrada (Tabla 4) en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de factores a ponderar, así se establece una matriz de comparación entre pares de factores, comparando la importancia de uno sobre cada uno de los demás (e_{ij}), posteriormente se determina el principal, el cual establece los pesos (w_j), y, que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores²².

Abordadas todas las variables y definidos los criterios, se procedió a estructurar la matriz de evaluación con doble entrada que contiene en las filas las alternativas disponibles, y en las columnas cada uno de los criterios que se consideran relevantes para valorar las alternativas como soluciones al problema. Por lo anterior se hace preciso obtener alguna medida o magnitud resumen que permita ponderar la importancia relativa de cada una de las variables o indicadores que entran en juego²³ en el proceso de diseño e instalación de redes inalámbricas.

Para asignar los juicios de valor a los criterios es indispensable consultar la opinión de los expertos en el tema de estudio. Siendo esta aplicación SIG parte de un macro proyecto ejecutado por la Universidad del Cauca, se entrevistó al equipo de profesionales en telecomunicaciones inalámbricas compuesto principalmente por Ingenieros docentes y estudiantes de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

		Criterios (j) Pesos (W_j)					
		Relieve	Elevación	Línea de Vista	Accesibilidad	Equipamiento	Total
		0.09%	0.10	0.51	0.15	0.15	1
Alternativas (i)	A	1	1	1	1	1	1
	B	0	0	0	0	0	0

Valoraciones e_{ij}

Tabla 4. Matriz de Ponderación. Fuente: Joaquín Bosque Sendra. Modificado por: Elaboración Propia.

²¹ Saaty, T. 1980. Evaluación y Decisión Multicriterio. Reflexiones y Experiencias. Universidad de Pittsburg, U.S.A. Editorial Universidad de Santiago. 219 p.
²² THOMAS, Satty . Método Analítico jerárquico (AHP) principios básicos en evaluación y decisión Multicriterio, reflexiones y experiencias. Editorial universidad de Santiago, 1998. P 17–46.
²³ RAMIREZ, Mirta Liliana. Comunicaciones científicas y Tecnológicas. En: método de jerarquías analíticas en la ponderación de variables aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad de la provincia del chaco. (2004)

Basados en la tabla anterior y teniendo en cuenta una previa estandarización del tamaño del pixel, en la superposición de capas temáticas pueden presentarse 3 tipos de coincidencia espacial de localización. En primer lugar, espacialmente puede coincidir la localización de pixeles del valor 0 para los 5 criterios, cuya síntesis se vería reflejada en un nuevo pixel que indica la exclusión de dicha área para la instalación de redes inalámbricas, así mismo al presentarse el caso contrario en donde la coincidencia espacial de pixeles del máximo valor para los 5 criterios indica que dicha área cuenta con todos los requerimiento para establecer la actividad evaluada, es decir una capacidad de acogida muy alta, por último, la coincidencia espacial de pixeles de distinto valor puede arrojar un valor intermedio con tendencia a 0 o 1, con lo que se puede evaluar la capacidad de acogida de dicha área entre baja y alta.

6.3 SUPERPOSICIÓN TEMÁTICA DE VARIABLES

Este procedimiento se considera como una aplicación básica realizada a través de tecnología SIG y para ello cada mapa de una misma área de estudio debe tener la misma escala y proyección, a fin de lograr la superposición perfecta de los datos espaciales. Este requisito cartográfico se cumplió a través de la asignación del sistema de referencia anterior establecido por el IGAC, para el área de estudio²⁴:

Coordenadas: **Planas con origen OESTE**
Proyección: **Transversa de Mercator (Gauss-Krüger)**
Esferoide: **International 1909**
Datum: **Bogota Observatory**
Factor de Escala: **1**
Longitud del meridiano central: **77:04:51.300000 W**
Latitud del origen de proyección: **4:35:56.570000 N**
Falso Este: **1.000.000 metros**
Falso Norte: **1.000.000 metros**

Como condición indispensable para la superposición de las capas temáticas, se debe identificar cada área en base a un número digital (*digital number - ND*) que le proporciona identidad, generalmente como variable de nivel cuantitativa. En este caso específico, el número digital corresponde a la valoración e_{ij} es decir el valor que se le asigna a cada pixel dentro de un criterio.

²⁴ BUZAI, Gustavo D; BAXENDALE, Claudia A. Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Buenos Aires, 2006,

6.4 ALGEBRA DE MAPAS

En este caso, se considera el mismo pixel de los distintos mapas fuente; es decir los pixeles que se encuentran en la misma posición (tienen la misma fila y la misma columna). Esto genera un conjunto de valores temáticos sobre los cuales se puede realizar una serie de operaciones cada una de las cuales genera el valor característico en ese pixel, en esa posición, del mapa de salida. En el Álgebra de Mapas se define una ecuación algebraica que relaciona la nueva variable temática (definida en el recién creado mapa de salida) en función de las variables temáticas de los mapas fuente. Estas expresiones algebraicas se calculan en cada uno de los pixeles en función de los valores que adoptaban las variables temáticas iniciales en los de los mapas fuente.

A menudo es necesaria la manipulación de múltiples capas de datos para conseguir el objetivo de la operación de superposición. Esto se hace mediante un proceso por pasos, en el que dos capas de entrada se combinan para formar una capa intermedia, la cual se combina entonces con una tercera capa para formar otra capa intermedia, y así hasta que se consiga la capa resultante deseada²⁵.

6.5 LÓGICA BOOLEANA

El álgebra de mapas necesita de un apoyo teórico que aporte la lógica algebraica que se requiere y de la cual se sustenta el análisis espacial con datos tipo ráster. Cada caso de estudio posee requerimientos especiales para su análisis y está determinado por la naturaleza de sus variables, el problema que se pretende resolver, las necesidades que se quieren suplir y los objetivos a alcanzar. Por mucho tiempo los primeros análisis compensatorios con base en modelo de datos ráster, se fundamentaron casi exclusivamente en la lógica booleana, en la cual se clasifican los valores distribuidos en el territorio y representados en cada capa temática en 2 categorías: una para evaluar y otra para excluir. Es decir que si analizamos una capa de información que representa cierto atributo presente en la superficie, basta con identificar los lugares que nos interesan y crear una categoría específica que los reúna, el resto de la superficie es sencillamente descartada. Una de las desventajas de la implementación de la lógica booleana es la condición que impone al investigador o decisor de descartar siempre una gran cantidad de superficie, que si bien carece de los atributos requeridos es susceptible de evaluar, por tanto en su proporción es relativamente apropiado o inapropiado, problema que aborda con gran habilidad la lógica difusa.

²⁵ HERRERA FRANCES, I; ESCOBAR MARTINEZ, F.J. ; SALADO GARCIA, M.J.;DELGADO GOMEZ, M. Evaluación de una Herramienta de Autoaprendizaje SIG en la Universidad de Alcalá.

¿Por qué la implementación de la lógica booleana en el presente estudio?

El principal requerimiento que se valora dentro de la planificación, diseño e implementación de redes de comunicación inalámbrica es la línea de vista para establecer enlaces radioeléctricos. La línea de vista independientemente del método que se utilice considera solo 2 posibilidades: que exista o que no exista. Espacialmente el cálculo de visibilidad se representa distribuido en la superficie en áreas visibles o no visibles desde un punto de referencia, y se acopla perfectamente con los parámetros del álgebra booleana y se dificulta su análisis sobre la lógica difusa debido a que no se pueden establecer categorías adicionales. Esto encaminó el proceso de análisis a la estandarización de solo 2 categorías en las leyendas de las capas temáticas, excluyendo así gran porcentaje de la superficie analizada.

La Lógica Booleana es útil para realizar operaciones en los atributos temáticos de cada pixel (los cuales pueden ser posicionales o descriptivos) adjuntos a entidades geográficas en un SIG. La Lógica Booleana es especialmente útil en el cálculo (o modelado) de nuevos atributos en procesos topológicos de Superposición, tanto para sistemas ráster como vectoriales, ya que pueden aplicarse a todo tipo de datos, sean booleanos, proporción, intervalos, ordinales o nominales. El Álgebra Booleana usa los operadores lógicos **AND**, **OR**, **NOT** para determinar si una condición es verdadera o falsa²⁶.

6.6 SUMATORIA LINEAL PONDERADA

Se trata de una técnica de las denominadas compensatorias, en las que los valores bajos alcanzados por una alternativa en un determinado factor, pueden ser compensados por los valores altos alcanzados por esa misma alternativa en otro factor²⁷. La ecuación que describe el método de la Sumatoria Lineal Ponderada es la siguiente:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (w_j * e_{ij})$$

²⁶ HERRERA FRANCES, I; ESCOBAR MARTINEZ, F.J. ; SALADO GARCIA, M.J.;DELGADO GOMEZ, M. Evaluación de una Herramienta de Autoaprendizaje SIG en la Universidad de Alcalá.

²⁷ SENDRA BOSQUE, J; GÓMEZ DELGADO, M; MORENO JIMENEZ, A.; y POZZO, f.dal. Hacia un Sistema de Ayuda a la Decisión Espacial para la localización de Equipamientos. 2000. P. 5567-598 (Tomo LXI, N. 241)

Donde:

r_i : capacidad del terreno para la ubicación de antenas inalámbricas.

w_j : peso del criterio j .

e_{ij} : valor normalizado de la alternativa i en el criterio j .

n : número de criterios involucrados en la investigación.

En la Figura 17 se ilustra la sumatoria lineal ponderada hasta el nivel de análisis de píxeles.

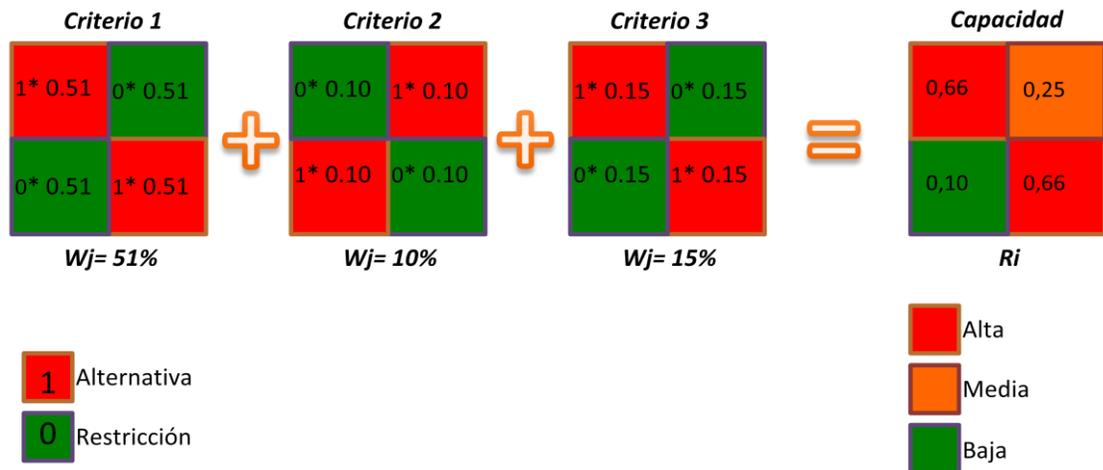


Figura 17. Sumatoria Lineal Ponderada (jerarquías de Saaty), EMC y Lógica Booleana. Fuente: Elaboración Propia.

Los valores (r_i) más altos indican sectores potencialmente adecuados para la ubicación de infraestructura para las comunicaciones inalámbricas. La aplicación de las restricciones (Áreas no Visibles, Zonas bajas, Distancia a las vías de Acceso y Zonas deshabitadas o desprovistas de infraestructura y equipamiento colectivo) se realizó a través de un proceso de álgebra de mapas, en donde cada restricción o capa (1/0) es multiplicada con la cobertura que contiene los valores de capacidad de acogida (r_i), extrayendo de esta forma las zonas restrictivas. Una vez realizada las operaciones de álgebra de mapas, (ver figura 18), se obtuvo el modelo de capacidad de acogida preliminar²⁸.

²⁸FRAU MENA, Carlos; VALENZUELA FAJARDO, Jhon, y ROJAS ORMAZABAL, Yony. Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. En : Revista facultad de Ingeniería Civil. Vol. 14, No 001 (2005); p. 81- 89

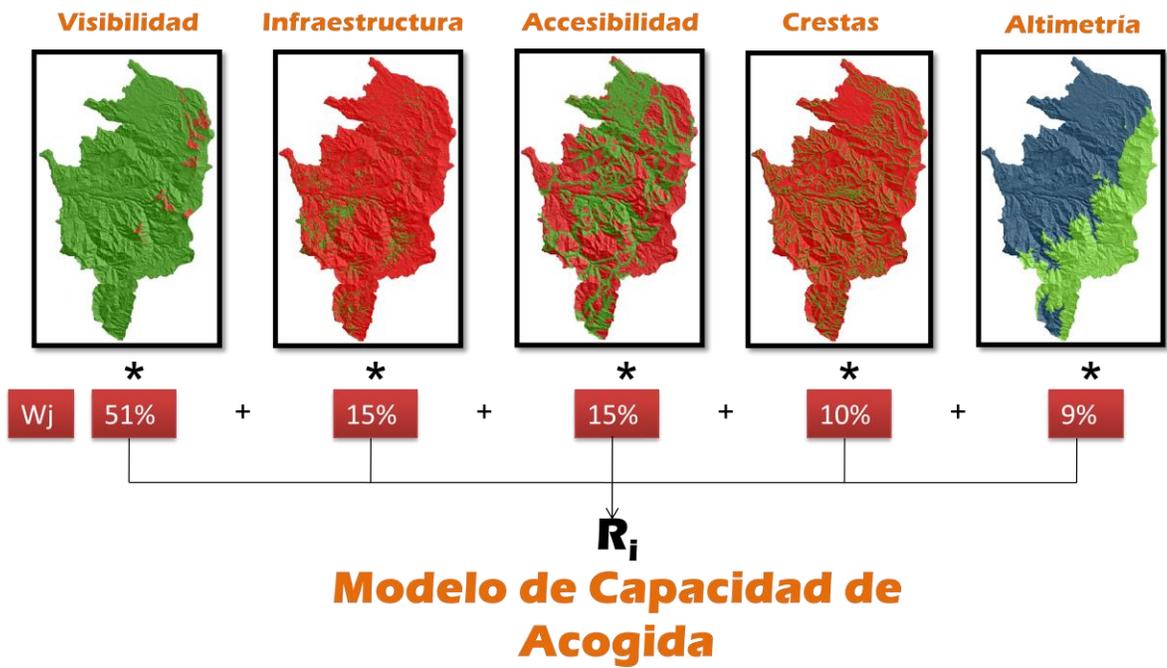


Figura 18. Esquema de Sumatoria Lineal Ponderada para la instalación de redes inalámbricas. Fuente: Elaboración Propia.

7 EL MODELO DE CAPACIDAD DE ACOGIDA; RESULTADOS PRELIMINARES.

En éste capítulo se detallarán los resultados que se desprenden de los procedimientos de la Evaluación Multicriterio, entre los cuales está la espacialización y cuantificación de las áreas idóneas para la instalación de redes inalámbricas.

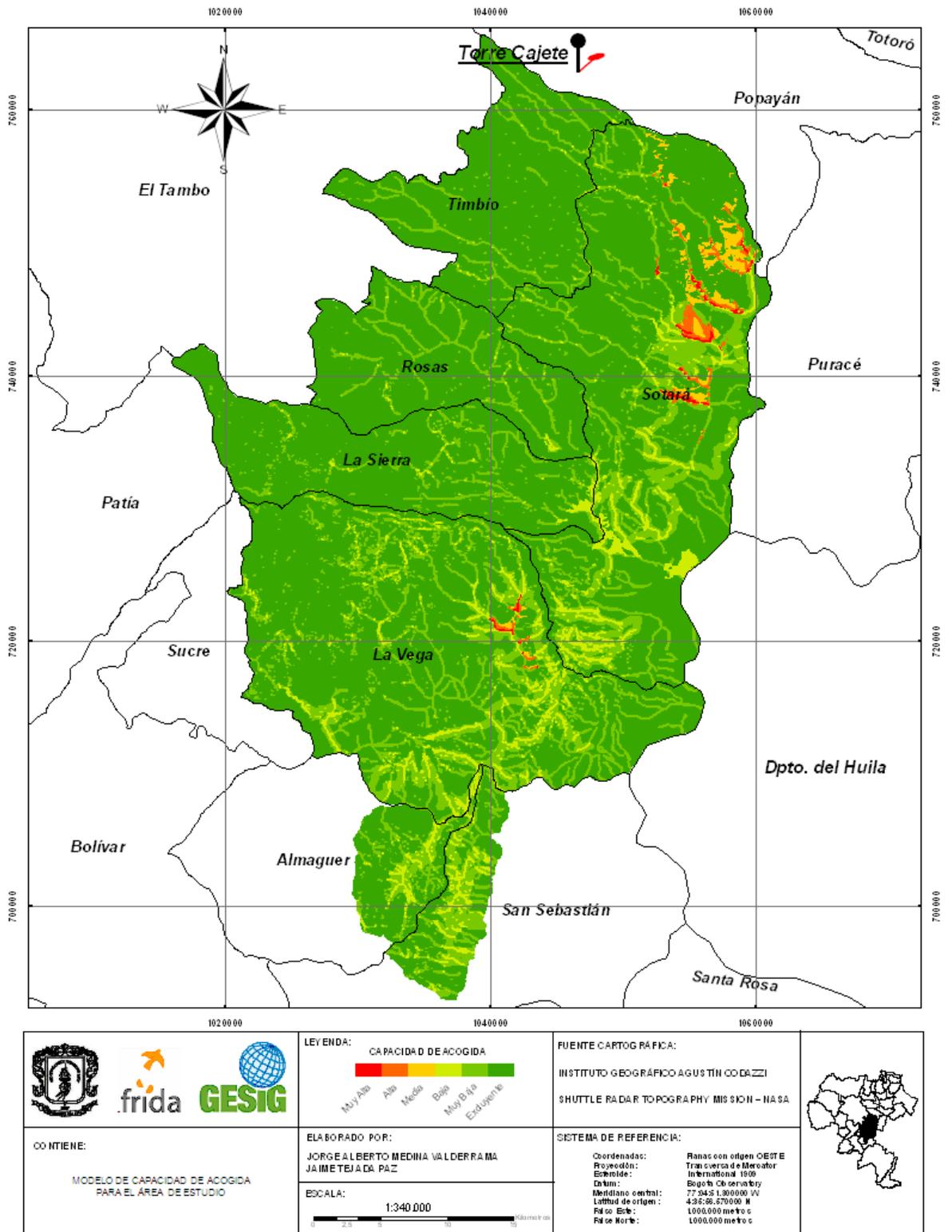
La categoría Muy Alta en el Modelo de Capacidad de Acogida incorpora la reunión de todas las condiciones que un lugar candidato debe tener para la instalación de infraestructura para las comunicaciones inalámbricas. (Ver mapa 3).

En este caso el lugar idóneo para realizar dicha actividad debe tener las siguientes características:

- Ser visible desde el punto de referencia de la vereda Cajete en el Municipio de Popayán.
- Disponibilidad de una construcción, sea casa, escuela, hospital, etc.
- Que dicha construcción sea de fácil acceso para los expertos y que facilite el transporte de los equipos.
- El Sitio debe ubicarse en una cresta para maximizar su rendimiento.

Categoría	Puntuación	Superficie Km²	Porcentaje Total
Muy Alta	49 - 100	4,9	0,3
Alta	34 – 49	12,5	0,72
Media	19 – 34	19,7	1,1
Baja	9 – 19	72,7	4,2
Muy Baja	0 - 9	349,6	20,1
Excluyente	-	1277,8	73,5
Total		1738,31	100

Tabla 4. Categorías, puntaje y superficies del modelo de capacidad de acogida.



Mapa 3. Capacidad de Acogida para la Instalación de Redes Inalámbricas. Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la tabla 4 y en los (mapas 4 y 5), el proceso de análisis territorial es muy selectivo y la naturaleza de la evaluación indica que cierta actividad tiene una gran cantidad de restricciones desde el punto de vista geográfico, legal y técnico, lo que se traduce en la distribución espacial de zonas que excluyen tajantemente la opción de emplazamiento, siendo esta categoría la mayor porción de la superficie evaluada con 74% de presencia y un área de 1277.8 km² de 1738.31 km² del total del área de estudio.

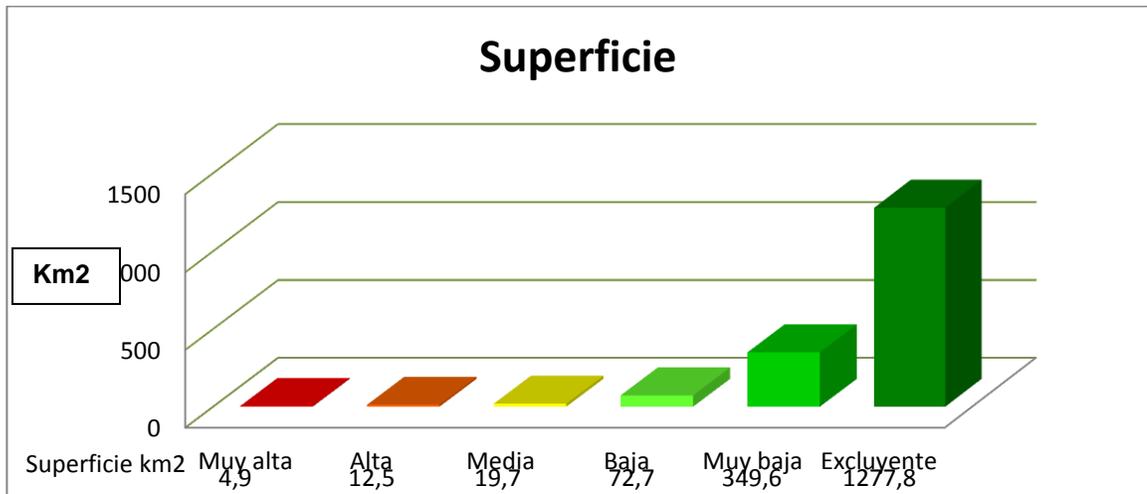


Figura 19. Superficie de la capacidad de acogida. Fuente: Elaboración Propia.

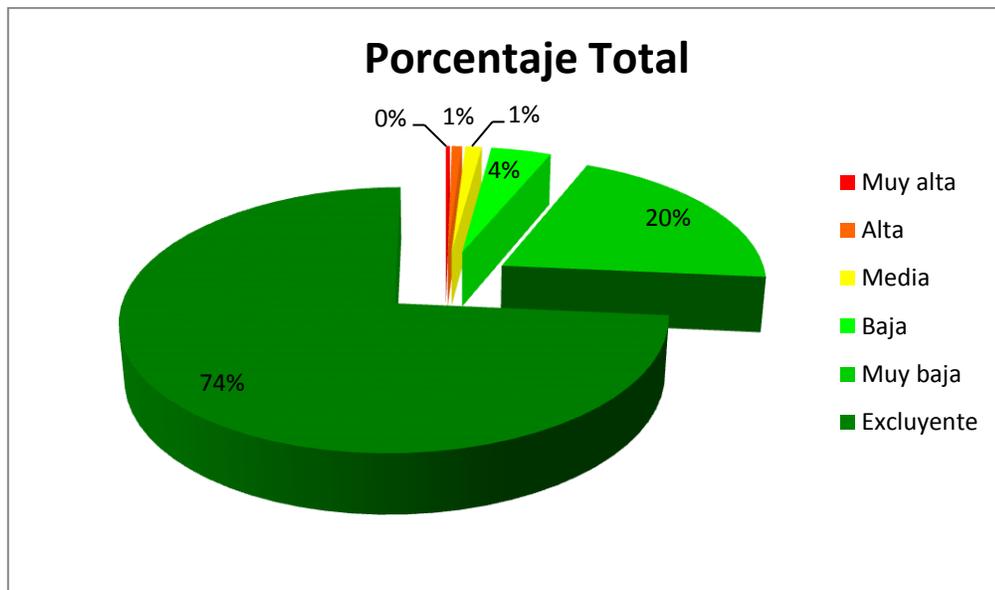
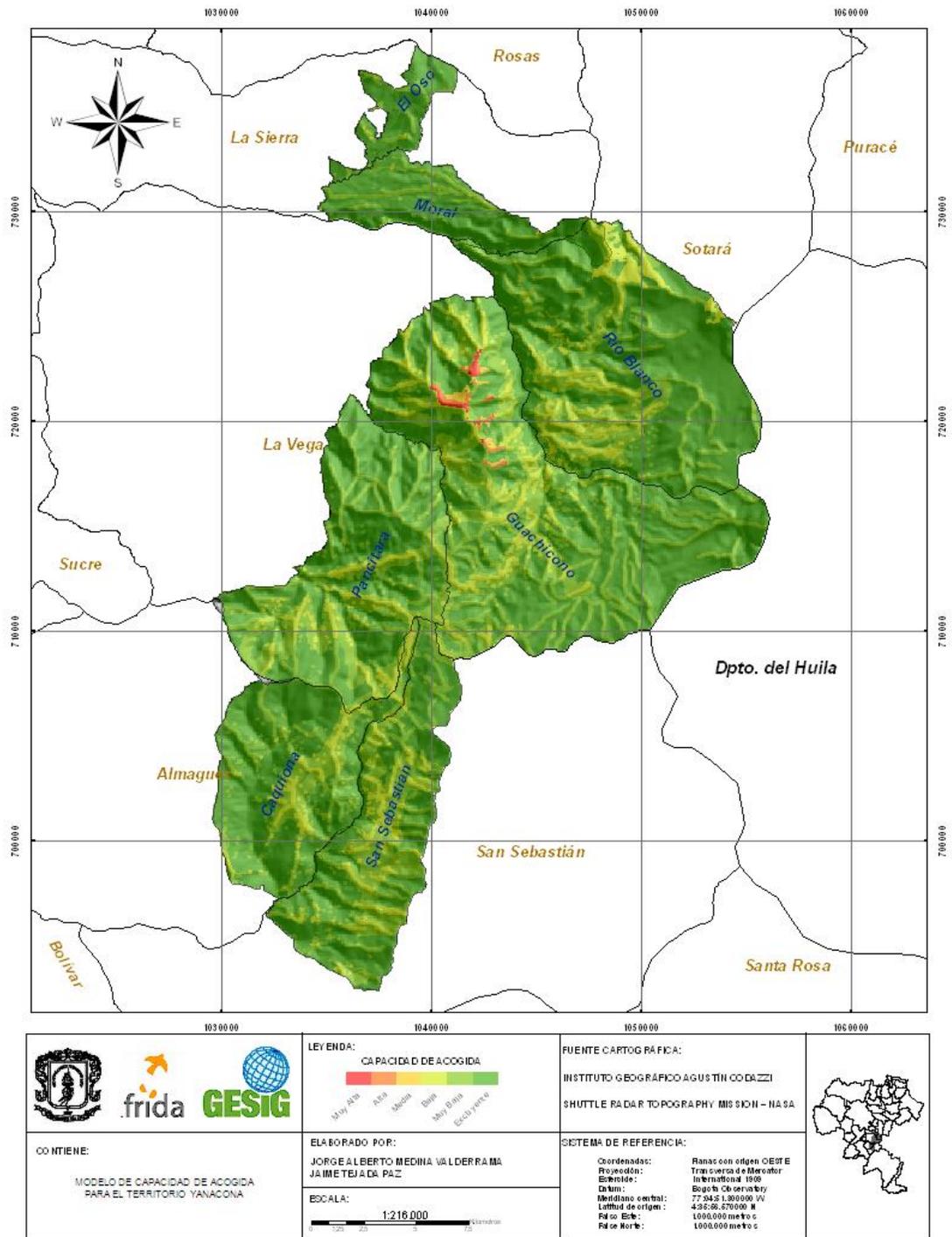
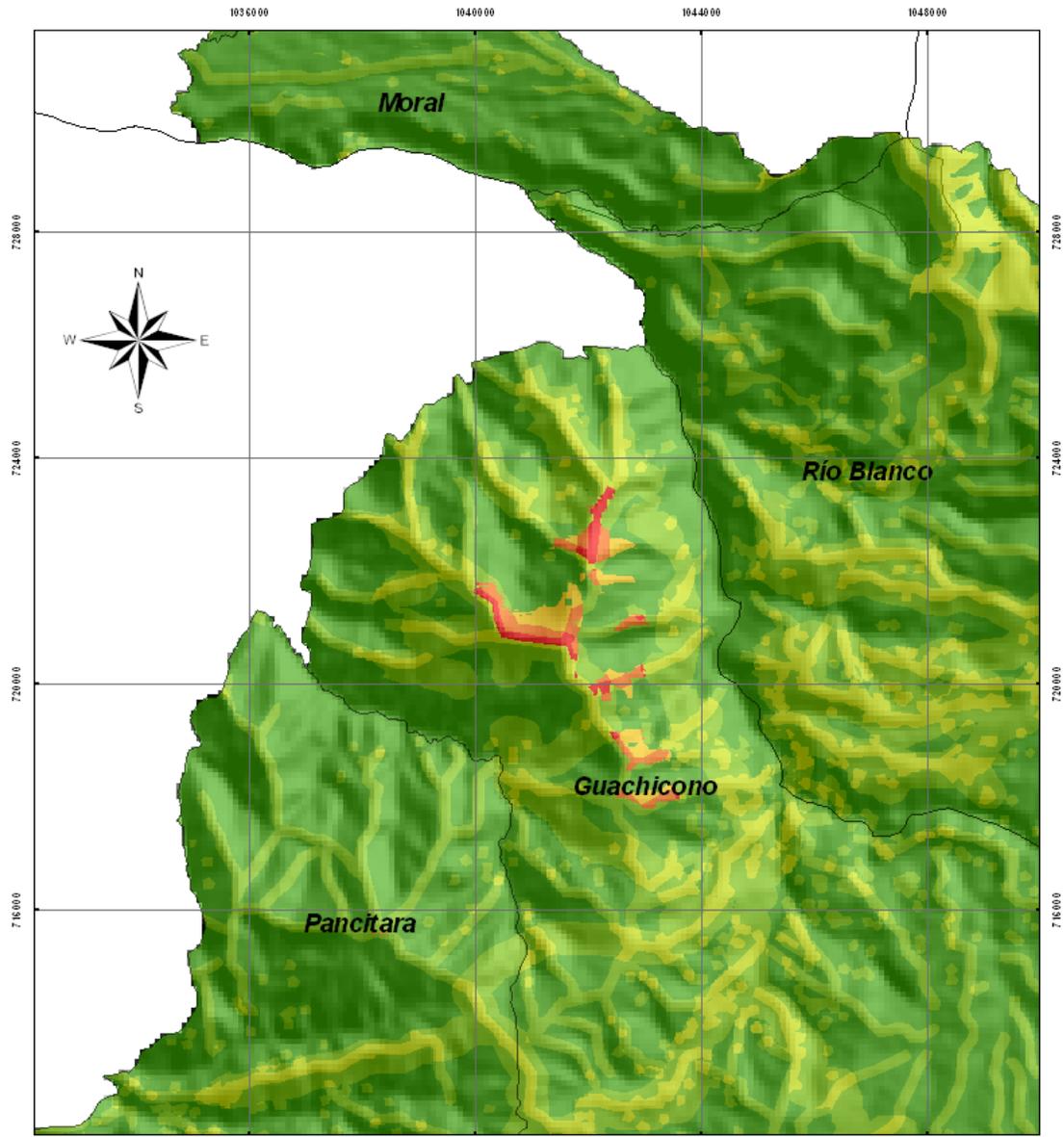


Figura 20. Porcentaje por categoría. Fuente: Elaboración Propia.



Mapa 4. Capacidad de Acogida en el Territorio Yanacuna. Fuente: Elaboración Propia.



	LEYENDA: CAPACIDAD DE ACOGIDA 	FUENTE CARTOGRAFICA: INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION - NASA	
	CONTIENE: LOCALIZACIÓN DE LAS ÁREAS CON MAYOR CAPACIDAD DE ACOGIDA	ELABORADO POR: JORGE ALBERTO MEDINA VALDERRAMA JAIME TEJADA PAZ ESCALA: 1:90 000 	

Mapa 5. Capacidad de Acogida Muy Alta dentro del Territorio Yanacona. Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta las condiciones del terreno, se puede afirmar que es escasa la presencia de sitios dentro del territorio Yanacona con capacidad muy alta de acogida para la instalación de redes inalámbricas. El análisis espacial arrojó resultados satisfactorios, y se reconocieron 2 zonas candidatas para el emplazamiento de la actividad evaluada, así mismo para la ejecución de visitas de comprobación en campo y determinar las características reales y posteriormente generar un Modelo de Capacidad de Acogida ajustado a las condiciones de la realidad.

7.1 VERIFICACIÓN DEL MODELO DE CAPACIDAD DE ACOGIDA A TRAVÉS DE TRABAJO DE CAMPO

Para realizar el trabajo de campo de verificación en la zona, se concertó con la comunidad indígena yanacona comunicar la descripción del proyecto y cuáles serían los beneficios para la comunidad; esta socialización contó con el apoyo de un líder del cabildo, con quien se hizo una breve descripción al cabildo de los alcances del proyecto a través de uno de los principales medios de comunicación, la **RADIO COMUNITARIA YANACONA FM STEREO**, (Ver fotografía 1) la cual cuenta con gran cobertura en la zona.

Para el desarrollo de la investigación es de vital importancia el apoyo y el acompañamiento por parte de la comunidad, para lo cual se dio a conocer lo que hasta el momento se pretendía realizar en la salida de campo y se comprometió por parte del grupo del trabajo del proyecto a entregar un informe acerca del estudio de pre factibilidad para la instalación de redes inalámbricas ya q la comunidad cuenta con los recursos para su implementación.



Fotografía 1. Imágenes de la radio comunitaria FM Stereo. Tomada por Jorge Medina y Jaime Tejada.

En el recorrido programado en la salida de campo en conjunto con el líder del cabildo indígena y los guías, en concertación y acompañamiento de la comunidad de la vereda Alto de la Playa perteneciente al resguardo indígena de Guachicono, se identificaron cuales eran los sitios que contaban con mas aptitud para la instalación de redes inalámbricas y llevar a cabo un muestreo de puntos GPS de vital importancia para la verificación del modelo de capacidad de acogida, es decir, confrontar si estos puntos están emplazados en zonas de capacidad de acogida muy alta o alta.

En la vereda Alto de la Playa se convocó a una reunión con las personas que mejor conocen la zona para preguntar por estos sitios candidatos apoyados en un mapa elaborado para la salida de campo; en donde se reconocieron los polígonos que contaban con la más alta capacidad. En las fotografías 2 ,3 ,4 se observa la participación de la comunidad para el reconocimiento previo de la zona y los sitios que se visitaron.

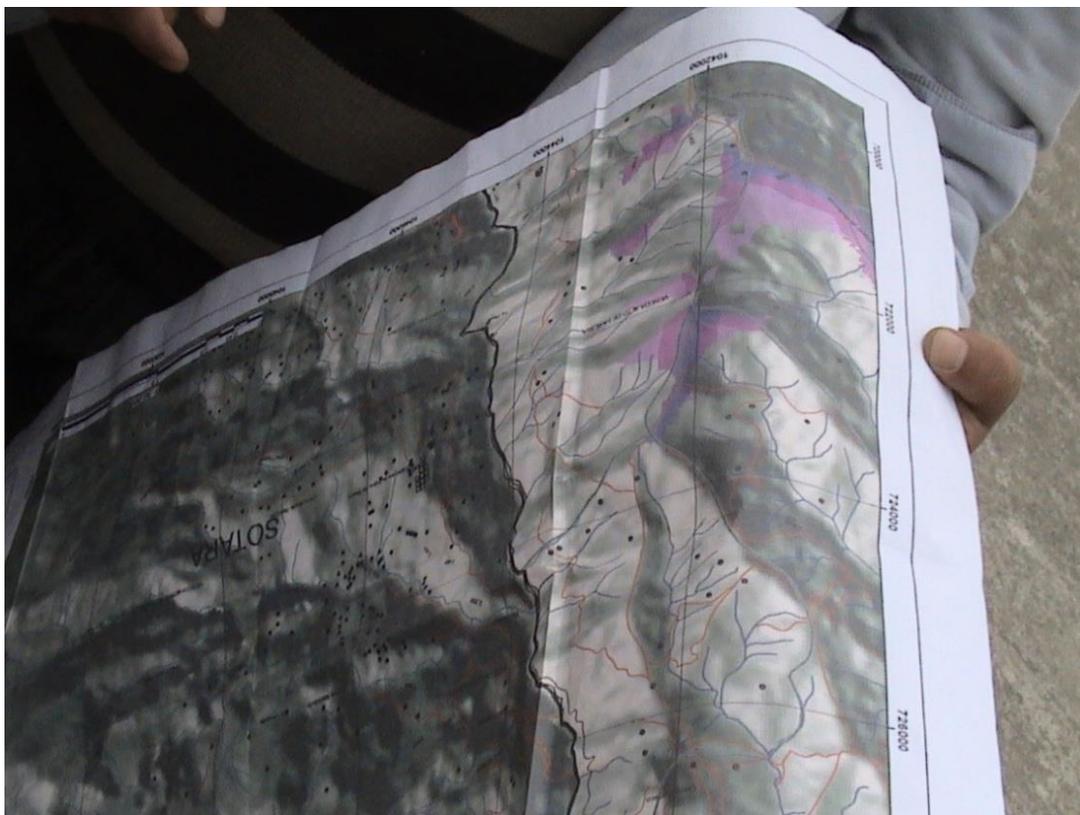


Fotografía 2. Imagen de reunión con la comunidad de Guachicono. Tomada por Jorge Medina y Jaime Tejada.

La comunidad del sector compartió algunas indicaciones que soportaron la descripción de algunas características de los sitios que iban a ser visitados, en donde se advirtió que la cobertura del servicio de energía eléctrica no llegaba hasta lo más alto del páramo de Bellones, pero la comunidad sugiere algunas alternativas que podrían ser consideradas por los ingenieros en telecomunicaciones, para solucionar los inconvenientes de energía en la zona.



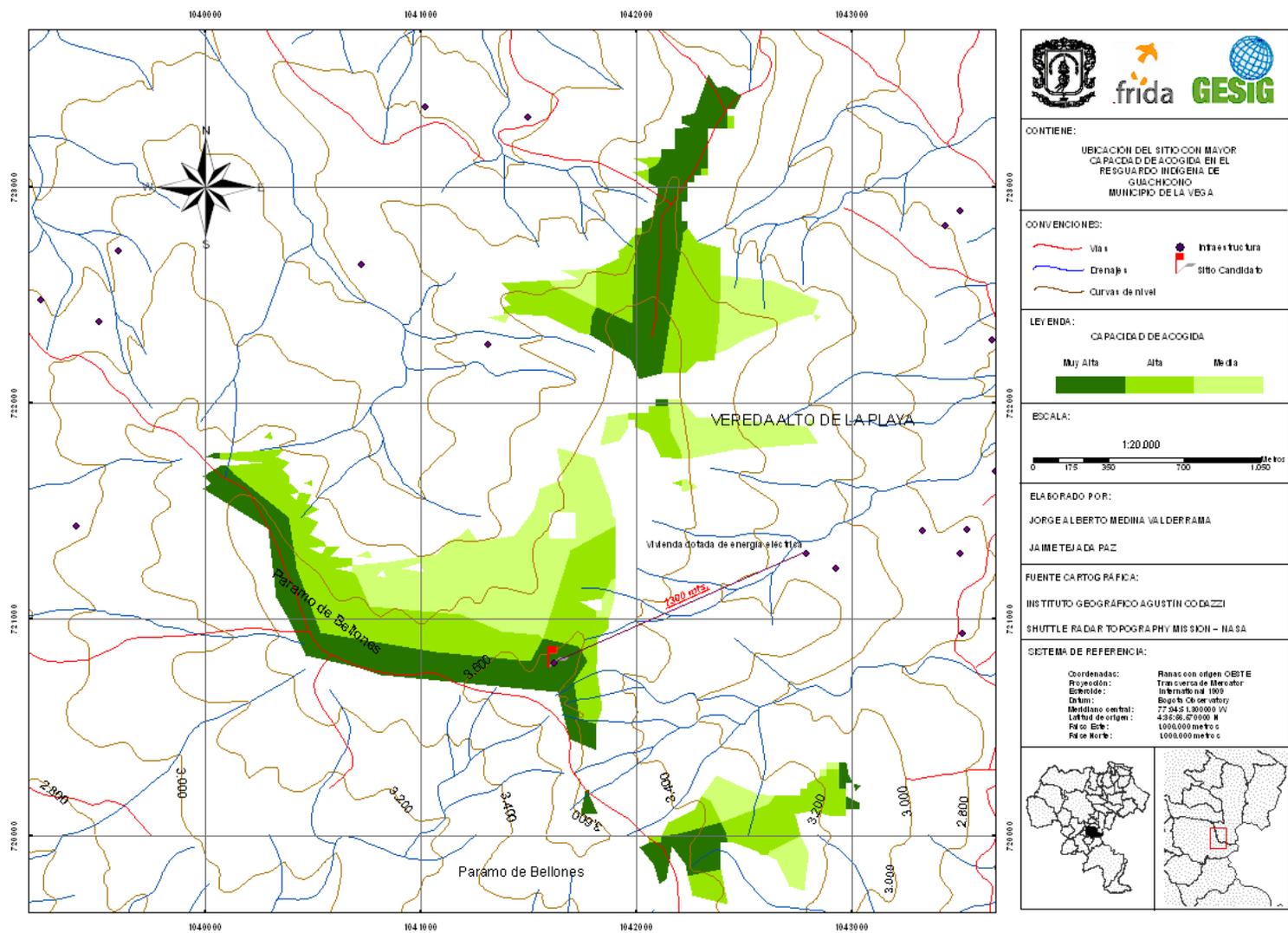
*Fotografía 3. Imagen sobre las indicaciones por parte de la comunidad indígena de Guachicono.
Tomada por Jorge Medina y Jaime Tejada.*



Fotografía 4. Imagen de mapa elaborado para la salida de campo. Tomada por Jorge Medina y Jaime Tejada.

Conocidos los resultados preliminares del análisis espacial, se visitó el lugar candidato con mayores posibilidades de acogida de la actividad evaluada, dicho lugar se encuentra a una distancia en línea recta de 44 km aproximadamente del emplazamiento de la antena instalada en el corregimiento de Cajete del municipio de Popayán. Este sitio conocido como **Páramo de Bellones** con una elevación sobre el nivel del mar superior a los 3600 metros se encuentra en el Resguardo de Guachicono municipio de La Vega (Ver fotografía 5), a donde es posible llegar por carretera pasando por el Resguardo de Río Blanco en el sur del municipio de Sotará hasta llegar a la cabecera del Resguardo en mención como se puede observar en el mapa 6, a partir de ahí los medios de transporte y las vías de acceso dificultan la llegada al sitio candidato.

Según la información cartográfica ingresada en el modelo, en el páramo de Bellones se encuentra al menos una vivienda que se emplaza a menos de 100 metros de distancia de la cumbre de la montaña, cuya distancia a la carretera más próxima es de 200 metros aproximadamente, y que según el cálculo de visibilidad cuenta con la ventaja de tener conectividad visual con la infraestructura ubicada en el corregimiento de Cajete en el municipio de Popayán.



Mapa 6. Ubicación del sitio con mayor con mayor capacidad de acogida en el resguardo indígena de Guachicono Municipio de la Vega.



Fotografía 5. Páramo de Bellones. Tomada por Jorge Medina y Jaime Tejada.

La información recolectada a través de la visita al sitio candidato permitió verificar si dichas condiciones eran reales o no, además de identificar posibles inconvenientes relacionados con el estado de las vías, la infraestructura y energía eléctrica disponible; para lo cual se tomó el siguiente punto de su localización en el lugar de capacidad de capacidad de acogida muy alta: 1041615.078 E 720793.450N (Lat/Lon: 2° 04' 26.62" N, 76° 42' 24.68" W).

Para el caso de la información cartográfica a escala 1:25.000 que se dispuso para el proyecto, se constató que dicha vivienda si existe, que es posible llegar a ella a caballo o lomo de mula en un trayecto que dura alrededor de una hora desde la vereda El Arado o la Inspección de Policía de Bellones y a diez minutos a pie cuesta abajo desde la cima del páramo del mismo nombre.

A pesar de esto se plantean algunas alternativas para captar la energía eléctrica desde el lugar más cercano a una distancia de 1211 metros y una altimetría de 3450 metros, (Ver figura 21), la localización del punto donde esta la energía mas cercana: 1042334.230 721761.242 (Lat/Lon: 2° 04' 58.12" N, 76° 42' 01.40" W),

siendo esta una solución considerable; también existen diferentes fuentes de energía en la zona, que se encuentran dentro del mismo polígono de estudio.

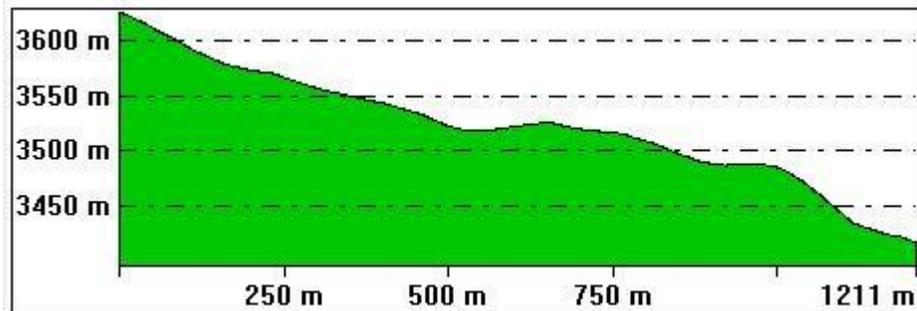


Figura 21. Perfil altitudinal desde punto de capacidad de acogida hacia lugar más cercano de energía eléctrica.

Para la verificación de la conectividad visual, la visita al sitio presento algunas dificultades debido a que la nubosidad impidió que se pudiera lograr una observación directa este proceso se apoyó con el uso de brújula, GPS y mapa en dirección al municipio de Popayán (Ver fotografías 6,7), sin embargo la comunidad residente reportó que en el lugar si existe visibilidad hacia los sectores cercanos al casco urbano de Popayán incluyendo al corregimiento de Cajete. Se realizo una comparación entre lo observado y el modelo del terreno en 3D (Ver figura 22).



Fotografía 6. Imagen de brújula verificando el rumbo y azimut de cajete. Tomada por Jorge Medina y Jaime Tejada.



Fotografía 7. Conectividad visual desde el sitio candidato por el modelo de capacidad de acogida. Tomada por Jorge Medina y Jaime Tejada.

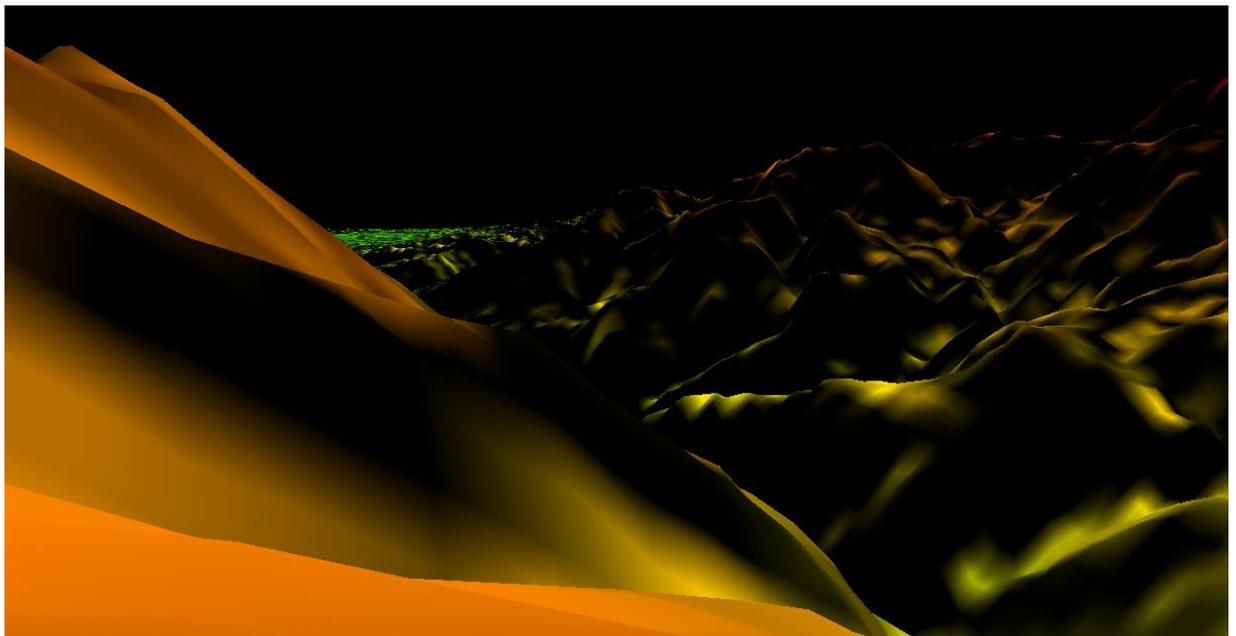


Figura 22 Punto de visibilidad establecido en modelo digital de elevación. Fuente tomada del software global mapper.

Para los atributos adicionales que se buscaban caracterizar, se encontró que la vivienda presenta serias dificultades relacionadas con la solidez de su construcción, altura del techo, y energía eléctrica la cual es inexistente en el sitio, evidenciados en la siguiente (Ver fotografía 8).

Así mismo extrajo una imagen de Google Earth 3D del área de estudio en donde se mostrara de una forma más clara el modelado del terreno como se observa en la figura 23.

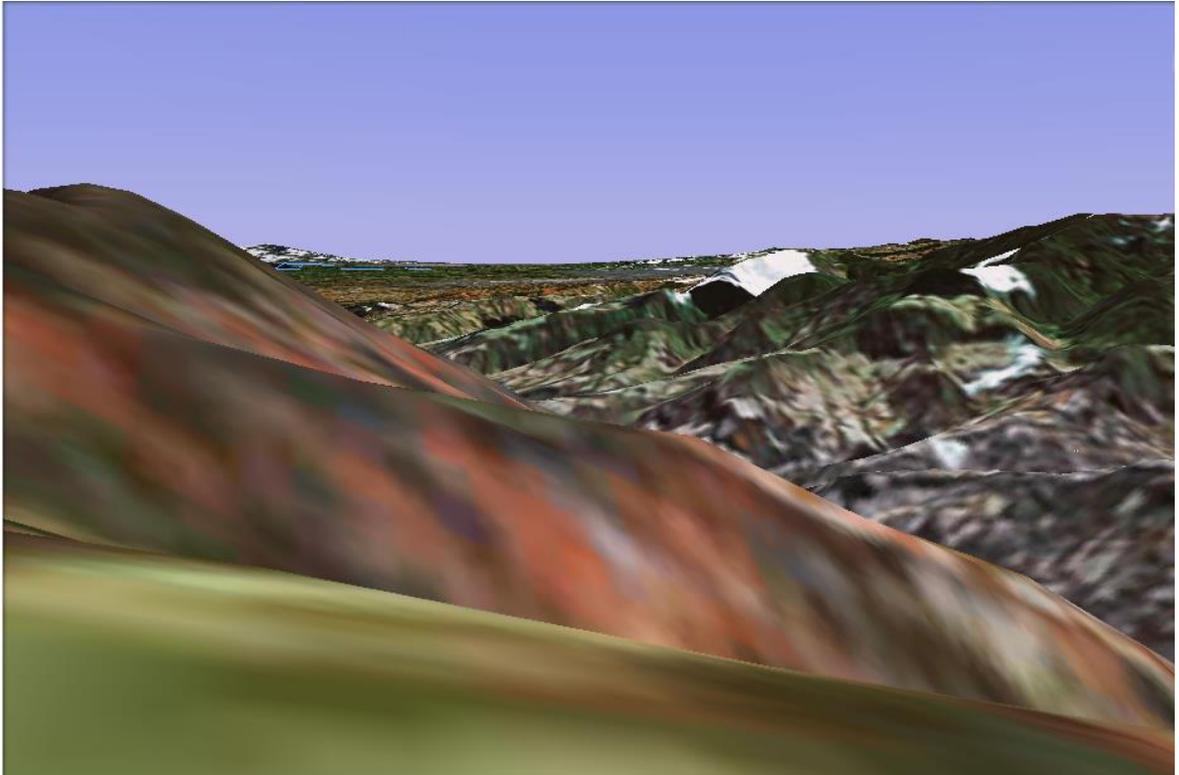


Figura 23 Modelado 3D del área de estudio. Tomado de Google Earth.



Fotografía 8. Vivienda en donde se encuentra el área de capacidad de acogida. Tomada por Jorge Medina y Jaime Tejada.

En las cercanías de la vivienda evaluada, el modelo de capacidad de acogida indicaba otros sitios candidatos con alta y media capacidad, esto debido al valor que tenían los píxeles de la capa de proximidad a crestas, crestones o cuchillas, también por la condicionante de conectividad visual, sin embargo por la ausencia de infraestructura habitacional no se visitaron.

Manteniendo el método utilizado el cual se basa principalmente en la evidencia cartográfica, el resultado es contundente, la información es verídica, su distribución y localización mantiene una relación con la precisión inherente a la cartografía 1:25.000 y la naturaleza del fenómeno se expresa en el análisis con las variables utilizadas sin que esto signifique que no se pueda prescindir de algunas variables o se incluyan otras en futuros estudios de similar naturaleza, sin embargo, es difícil incluir a priori en la información cartográfica las condiciones infraestructurales del sitio candidato, en lo que tiene que ver especialmente con las viviendas cuya distribución es mayoritaria en cualquier espacio geográfico intervenido, así como también de las condiciones de accesibilidad puesto que pueden tener posibles elementos y situaciones que presentaran problemas, como

el deterioro de las vías, deslizamientos etc. El puntaje de cada uno de los polígonos se mantuvo, así como su capacidad, entendiendo esto como la probabilidad de escoger un sitio que carezca de alguna de las condiciones necesarias (que no tienen representación cartográfica o existe pero desactualizada), las cuales pueden ser superadas con miras a realizar con éxito la instalación de la infraestructura de comunicaciones inalámbricas.

A pesar que el único sitio con mayor puntaje y capacidad de acogida posee algunos problemas, como el del fluido eléctrico; no quiere decir que deje de ser candidato, por el contrario, entre todas las posibilidades y variables presentes en el territorio yanacona sigue siendo el mejor sitio para emplazar la actividad evaluada descartándose así gran porción de la superficie estudiada. Por esto por medio de los ingenieros en telecomunicaciones se presenta un estudio de pre factibilidad a la comunidad indígena yanacona para que ellos en conjunto con el cabildo evaluaran los costos de adecuación de la infraestructura y las opciones para el fluido eléctrico.

las probabilidades de encontrar un mejor sitio candidato son mayores en áreas densamente pobladas, lo que significa mayor número y aglomeración de viviendas, más y mejores vías, condiciones con las cuales no se cuenta en el territorio yanacona.

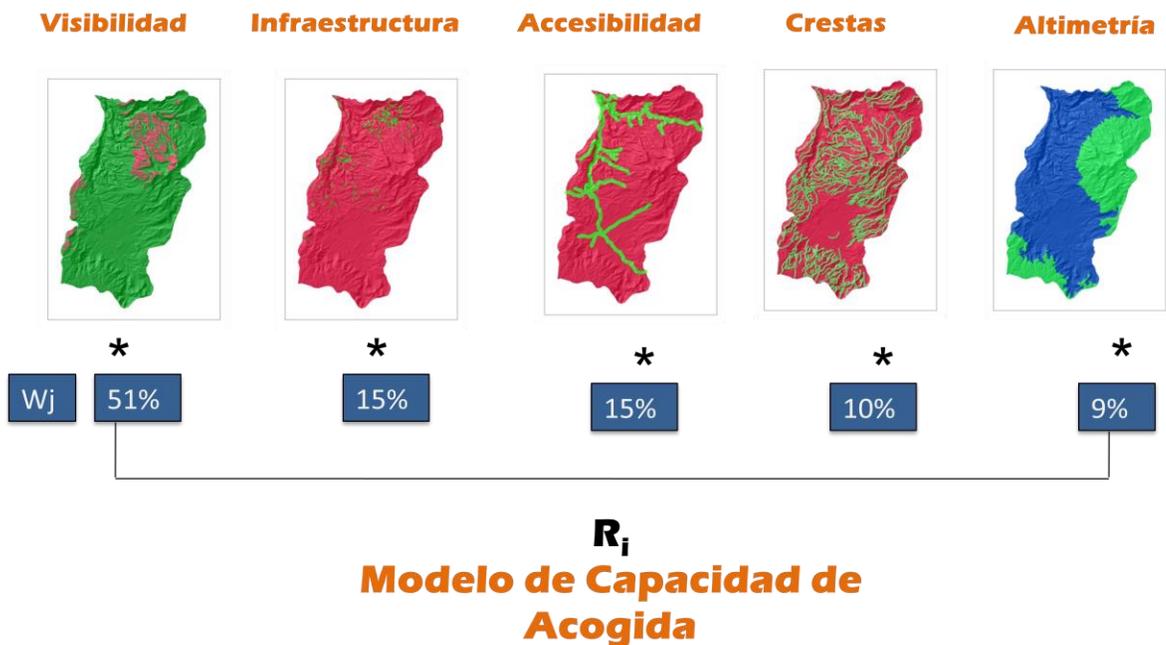
En el capítulo siguiente se describe como sustento al presente estudio una comparación entre el análisis hecho en el territorio Yanacona y el análisis llevado a cabo por los expertos en comunicaciones inalámbricas para el municipio de Puracé. Teniendo en cuenta que la meta principal es la prospección del sitio para la instalación de redes inalámbricas, y que se tienen en cuenta las mismas variables, se aplicó el mismo método de análisis para el municipio de Puracé.

8 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON EL ESTUDIO REALIZADO PARA EL MUNICIPIO DE PURACÉ

En base al trabajo realizado con anterioridad por parte de los ingenieros electrónicos y de telecomunicaciones se optó por realizar un diagnóstico de la antena ya instalada en el área de Puracé donde ya se implementó un estudio de factibilidad arrojando resultados óptimos para el emplazamiento de dicha antena; la cual está conectada cerca de 34 Km de longitud con la antena ubicada en el corregimiento de Cajete del municipio de Popayán.

Para ello se llevó a cabo la selección de variables como paso inicial del proceso de evaluación multicriterio pues son consideradas el punto de referencia para la toma de decisiones en el análisis espacial del territorio. Teniendo en cuenta las variables utilizadas inicialmente en nuestro caso de estudio se recopiló la información que se requería para determinar sitios candidatos para la localización de infraestructura inalámbrica, como lo son las siguientes: Línea de Vista, Crestas, Crestones y Cuchillas, Altimetría, Caminos y Vías de acceso, construcciones habitacionales y de equipamiento público (Casas, escuelas, hospitales etc.) del municipio de Puracé.

Se estableció la misma metodología realizada y descrita con anterioridad para el caso de estudio de la comunidad indígena de los yanacónas. Se realizó a través de un proceso de álgebra de mapas, en donde cada restricción o capa (1/0) es multiplicada con la cobertura que contiene los valores de capacidad de acogida (ri), extrayendo de esta forma las zonas restrictivas. Una vez realizadas las operaciones de álgebra de mapas, se obtuvo el modelo de capacidad de acogida para el municipio de Puracé; en donde se muestra el procedimiento gráficamente ver la figura (23).

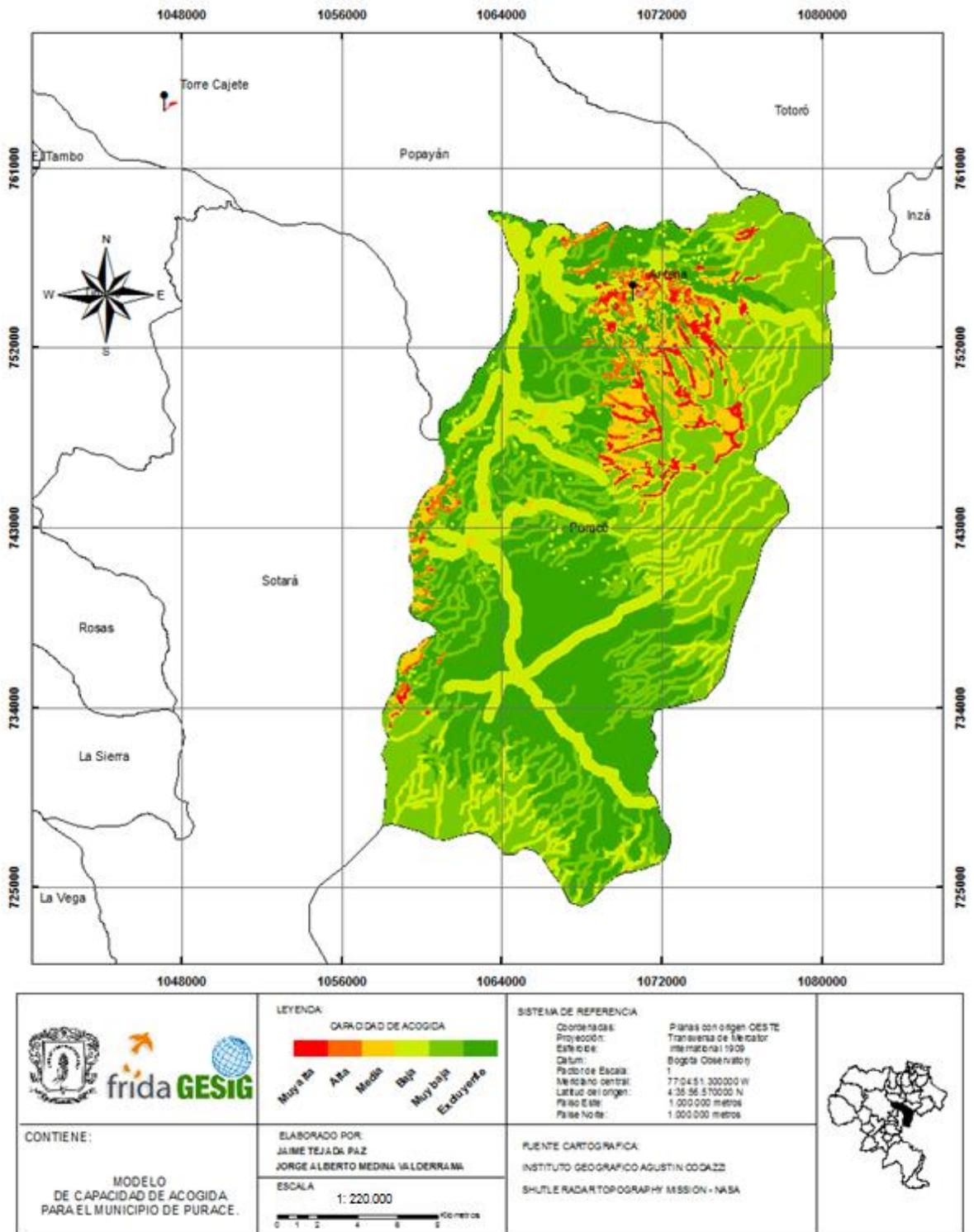


*Figura 24 Esquema de Sumatoria Lineal Ponderada para obtener modelo de capacidad de acogida.
Fuente: Elaboración Propia.*

Como resultado de el modelo de capacidad se representan las areas en las cuales es factible la instalacion de antenas para redes inalambricas con su respectiva descripcion ver tabla (5).

Categoría	Puntuación	Superficie Km²	Porcentaje Total
Muy Alta	49 - 100	11.93	2.4
Alta	34 – 49	7.37	1.5
Media	19 – 34	25.43	5.0
Baja	9 – 19	120.71	23.8
Muy Baja	0 - 9	172.02	34.0
Excluyente	-	168.65	33.3
Total		506.14	100

Tabla 5 Categorías, puntaje y superficies del modelo de capacidad de acogida.



Mapa 7. Modelo capacidad de acogida para la instalación de redes inalámbricas municipio de Puracé. Fuente: Elaboración Propia.

A través del análisis espacial del área de estudio la cual en su superficie en km² es más reducida la capacidad de acogida muy alta la cual aumento en comparación a el área de estudio de la comunidad indígena Yanaconas y para hacerlo más detallado se represento en gráficos los cuales representa la totalidad de capacidad de acogida como se observa (Ver figura 25, 26 y 27)

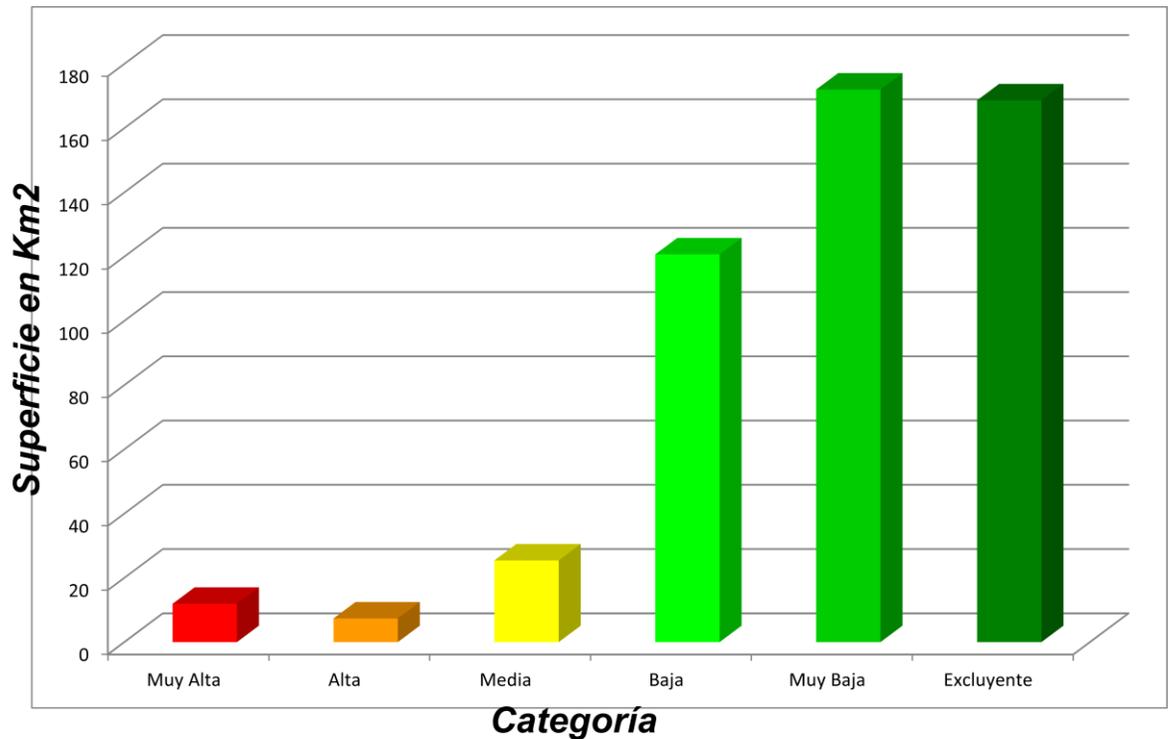


Figura 25. Superficie de la capacidad de acogida. Fuente: Elaboración Propia.

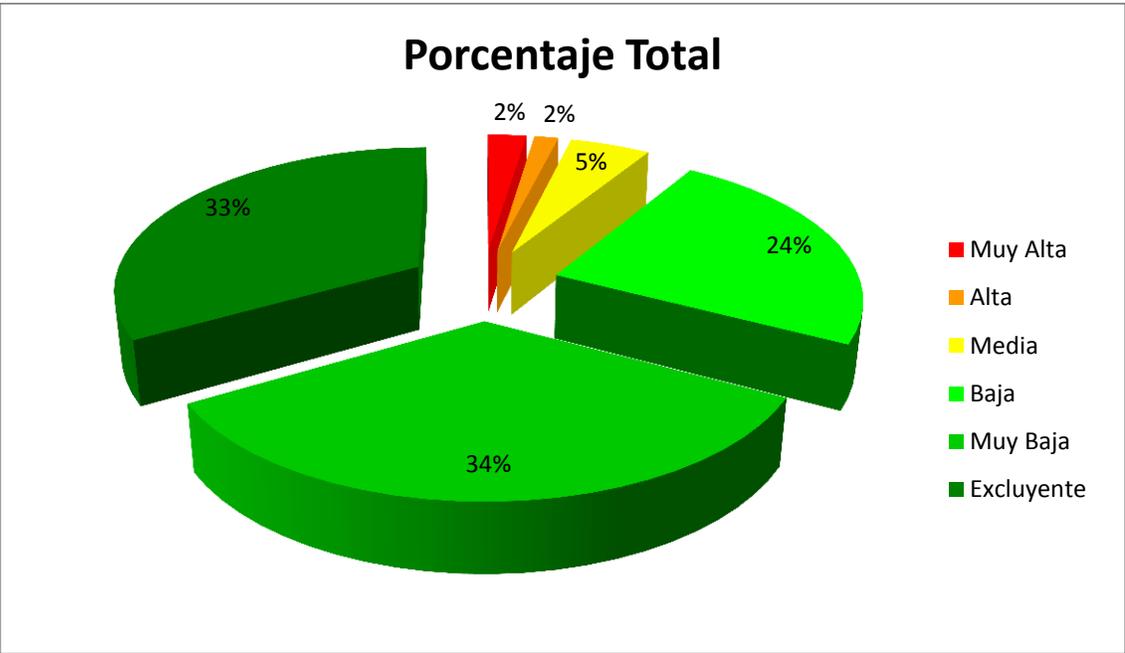


Figura 26. Porcentaje por categoría. Fuente: Elaboración Propia.

Área de Estudio

Municipio de Puracé

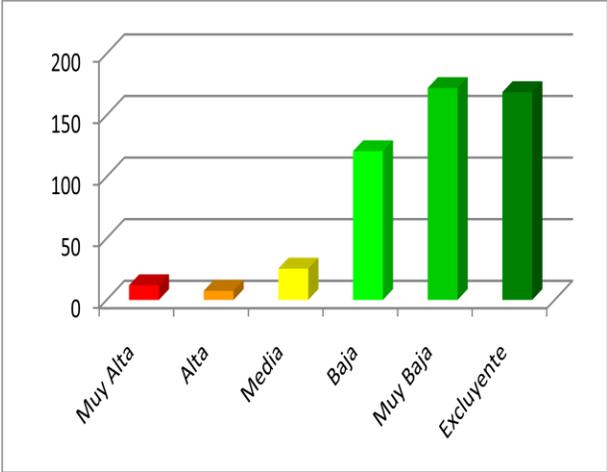
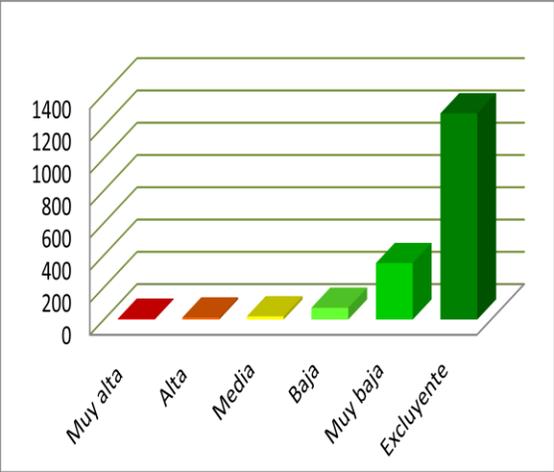
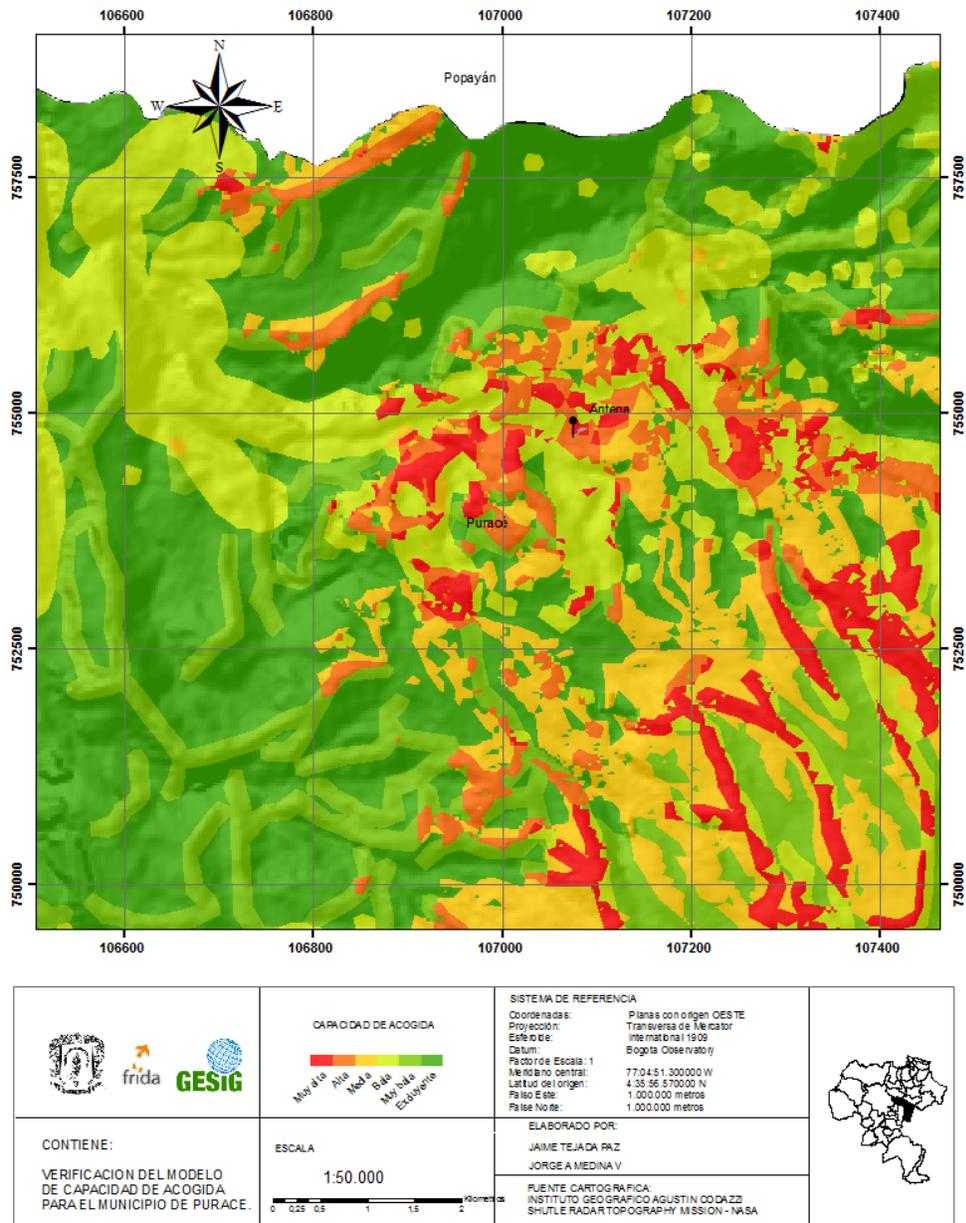


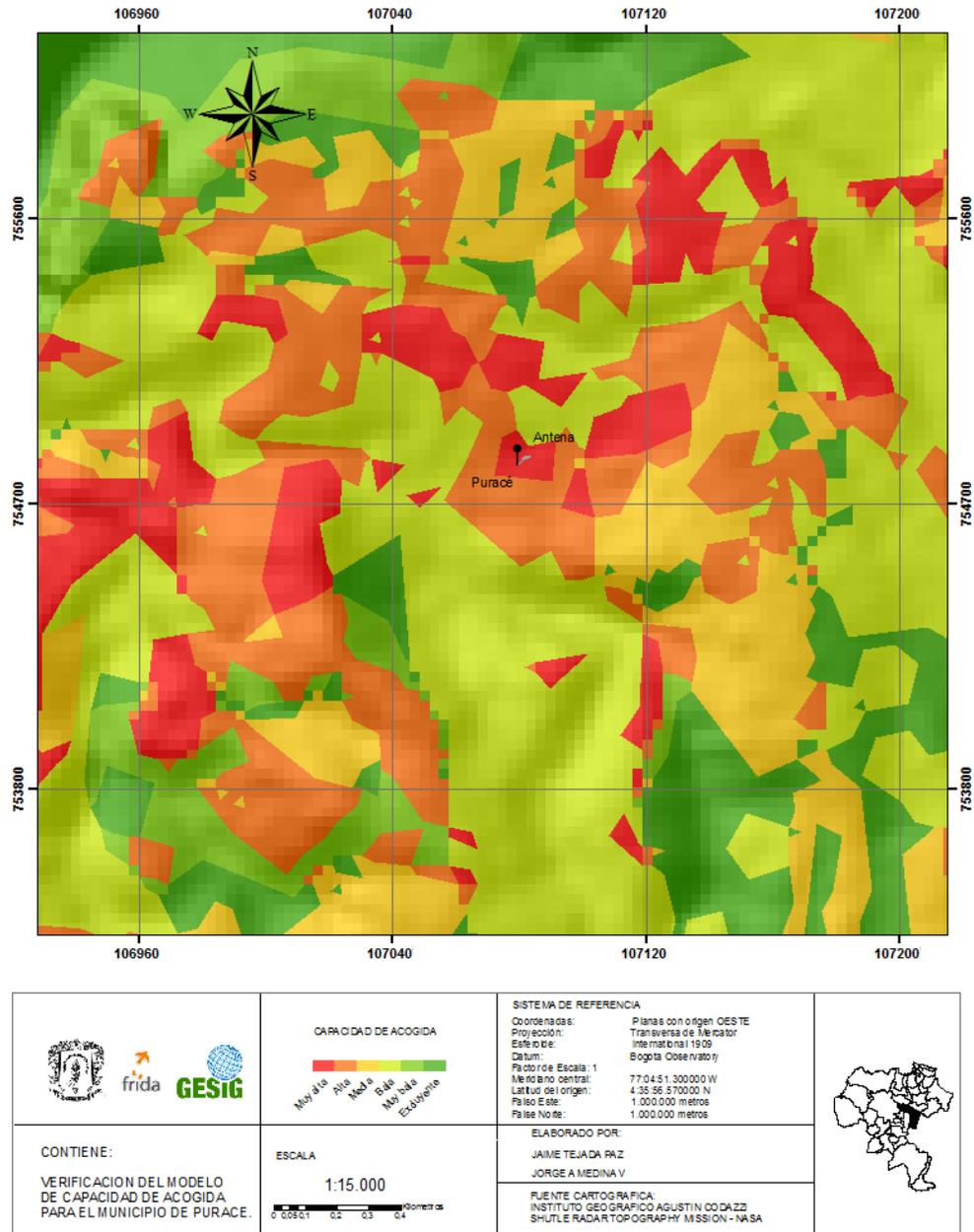
Figura 27. Comparación de capacidad de acogida del área de estudio y el Municipio de Puracé. Fuente: Elaboración Propia.

Según el modelo y constatada la información acerca de donde se encuentra la antena en el municipio de Puracé con unas coordenadas Geográficas 2° 22' 55" N – 76° 26' 39" W; instalada por parte de la Universidad del Cauca y FRIDA (fondo regional para la innovación digital de América latina y el Caribe) a partir de esa información se obtuvieron los siguientes resultados (ver mapas 8,9) posteriormente.



Mapa 8. Capacidad de Acogida en el municipio de Puracé. Fuente: Elaboración Propia.

Al constatar las áreas en el modelo de capacidad de acogida en las que tienen categorías muy alta, alta y media vemos que se puede establecer que son pocas las áreas con estas características.

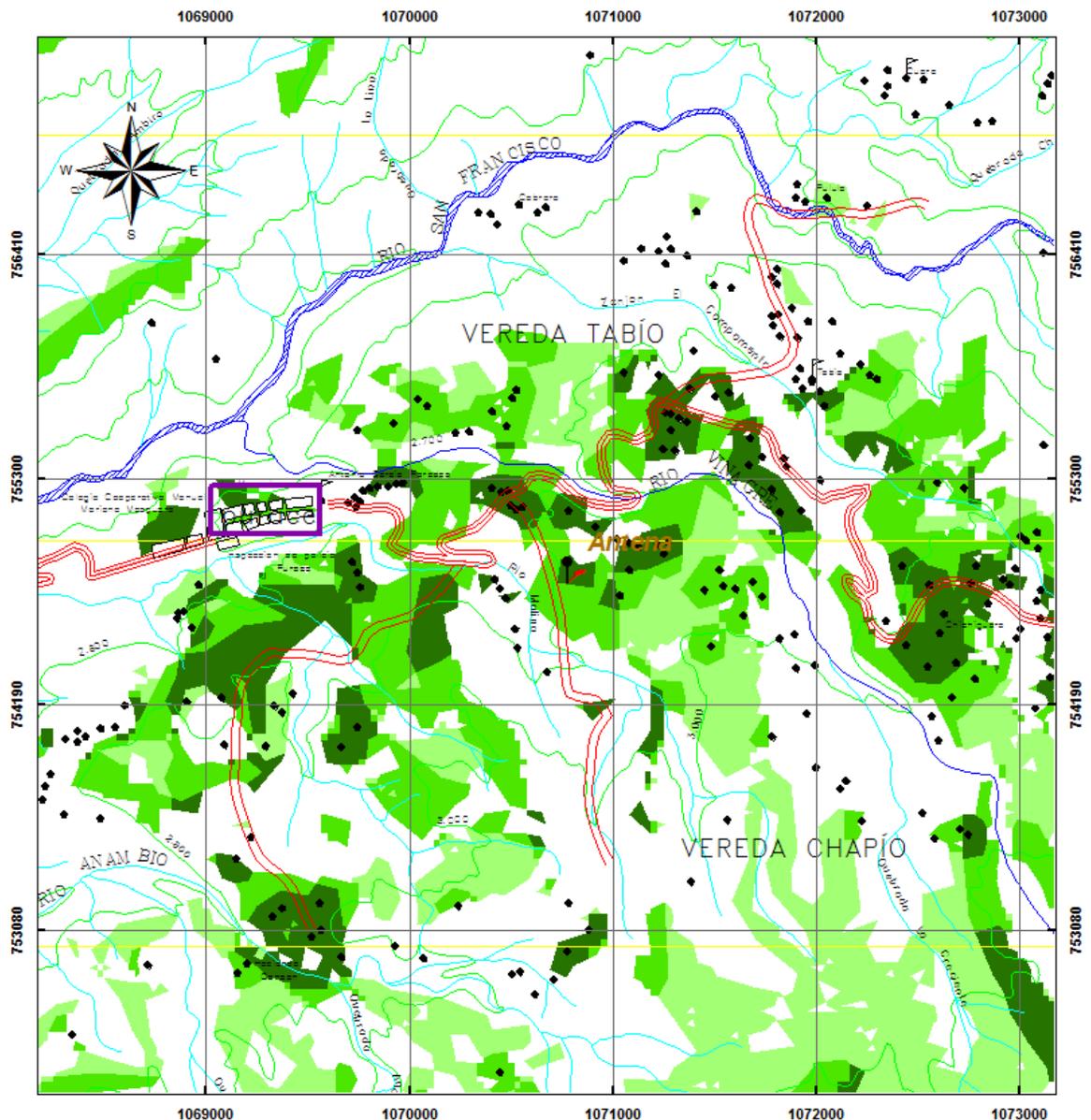


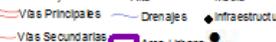
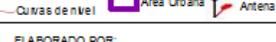
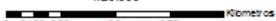
Mapa 9. Validación del modelo de capacidad de acogida en el sitio donde se encuentra ubicada la antena municipio de Puracé. Fuente elaboración propia.

Por lo cual no es necesario realizar una prospección del sitio; porque ya se conoce de antemano cual es el lugar en donde se encuentra instalada la antena ubicada en la casa del cabildo en el municipio de Puracé; En este proceso se quiso realizar un ejercicio de ingeniería inversa en donde se quería revalidar la metodología de Evaluación Multicriterio utilizada para la instalación de antenas inalámbricas en zonas de difícil acceso. Este trabajo de investigación conto con óptimos resultados debido a que la antena instalada se encuentra ubicada dentro de las áreas que arrojo el modelo con una capacidad muy alta; cumpliendo con todas las variables requeridas para su instalación.

Se realizo un mapa de capacidad de acogida que permitía observar la infraestructura, vías, asentamientos, del municipio de Puracé en donde se detalla el casco urbano, la ubicación de la antena, para efecto de una mejor visualización se opto por cambiar la gama tematica que se habia estabecido con anterioridad, descartando del modelo las capacidades baja , muy baja y excluyente.

Para el caso de Puracé el cual posee mayor cantidad de infraestructura, densidad demografica y mayor cobertura de energia electrica dentro de la zona rural, la instalacion de las redes inalambricas por parte del grupo de ingenieros en telecomunicaciones, para este caso de estudio, no tuvo ningun tipo de inconveniente. Como se puede observar en el mapa 10, la antena instalada cerca a la casa del cabildo esta dentro de los poliginos establecidos de capacidad muy alta.



	LEYENDA: CAPACIDAD DE ACOGIDA   	SISTEMA DE REFERENCIA Coordenadas: Planas con origen OESTE Proyección: Transversa de Mercator Esfera: WGS 84 Datum: Bogota Observatory Factor de Escala: 1 Meridiano central: 77.0451300000 W Latitud del origen: 4.3556570000 N Falso Este: 1.000.000 metros Falso Norte: 1.000.000 metros	
	CONTIENE: LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE CAPACIDAD DE ACOGIDA PARA EL MUNICIPIO DE PURACÉ.	ELABORADO POR: JAIME TEJADA PAZ JORGE ALBERTO MEDINA VALDERRAMA ESCALA 1:25.000 	

Mapa 10. Localización del sitio de capacidad de acogida para el municipio de Puracé. Fuente elaboración propia

9 CONCLUSIONES

El resultado del análisis espacial arrojó como resultado que mientras más restricciones espaciales sean incluidas en la modelación, la región factible y las superficies candidatas a ser soluciones, se van a obtener menos áreas con mayor aptitud. La puntuación de Muy alta y Alta capacidad muestra su reducida superficie, en comparación con el total de la zona de estudio.

Es importante destacar que la metodología desarrollada permite ser adaptada a otros contextos y escenarios, pudiendo involucrar nuevas variables que permitirán enriquecer cada vez más los resultados obtenidos. Sin embargo, resulta vital que quienes están encargados de tomar decisiones territoriales conozcan y tomen conciencia del papel de los SIG y las Técnicas de Evaluación Multicriterio como una base técnica de gran valor para estudios de planificación y gestión territorial.

A pesar del gran apoyo que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica al análisis espacial, podría decirse que es una herramienta subutilizada, ya que en gran medida es empleada para la recolección de información ordenada a manera de inventarios y/o consulta, esto debido a que son pocas las personas que manejan verdaderamente las funciones de análisis que en apariencia complejas, justamente por la falta de conocimiento sobre lo que es el análisis espacial y los procedimientos técnicos que lleva implícitos el SIG.

La extrapolación de los métodos de la Geografía y de los Sistemas de Información Geográfica hacia los estudios de prospección de sitio en la instalación de redes inalámbricas aporta una visión global del territorio, teniendo en cuenta el 100% de la superficie estudiada.

Los sectores señalados como candidatos, aunque son el resultado de la múltiple evaluación del grupo de trabajo del proyecto los cuales cumplen con la integración de las variables incluidas en el estudio, responden principalmente a dos criterios incluidos en la evaluación: Conectividad visual y la presencia de infraestructura.

La aplicación de éste método de análisis espacial puede lograrse en cualquier región del país y en otros lugares del mundo independientemente de las condiciones topográficas, aunque deban ajustarse las variables incluidas.

La mayoría de sitios candidatos corresponden a lugares en sectores escarpados del macizo colombiano, con alturas superiores a los 3000 msnm, donde el acceso es difícil debido a las condiciones de las vías.

En regiones cuya densidad demográfica es mayor, las probabilidades de que confluyan espacialmente las condiciones necesarias para la instalación de redes inalámbricas es superior, así como la probabilidad de emplazamiento. Por otro lado en regiones cuya densidad demográfica es muy baja, las probabilidades de prospección de sitio son menores.

El acceso o elaboración de información cartográfica que represente las redes eléctricas es importante para maximizar la certeza en los resultados obtenidos, sin embargo las fuentes de información son escasas y el tiempo de elaboración muy largo.

10 BIBLIOGRAFÍA

BARREDO, J. I.; y J. Bosque. 1996. Sistemas de Información Geográfico y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del territorio. Universidad Alcalá de Henares. RA - MA. 263 p.

BEERY, Joseph K. Beyond mapping concepts algorithms and issues in gis. En: Gis world books. (1993); p. 223.

BUZAI, Gustavo D; BAXENDALE, Claudia A. Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Buenos Aires, 2006, 397p.

FERREIRA, Luis. La utilización de los MDT en los estudios del medio físico. (Abril de 1999); URL : [http:// www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/ITGE_150a.pdf](http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/ITGE_150a.pdf)

FRAU MENA, Carlos; VALENZUELA FAJARDO, Jhon, y ROJAS ORMAZABAL, Yony. Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. En : Revista facultad de Ingeniería Civil. Vol. 14, No 001 (2005); p. 81- 89.

GONZALES ACUÑA, D. Análisis de visibilidad y patrones de asentamiento protohistóricos. Los yacimientos del bronce final y período orientalizante en el sureste de la campaña sevillana. En: Archeología e Calcolatori. Sevilla, Diciembre 2001. p. 123 – 142.

GOODCHILL, Michael f; HAININIG, Robert. SIG y Análisis Espacial de Datos: Perspectivas Convergentes. En : Investigaciones regionales. No. 006, (2005); p 175-201.

HERRERA FRANCES, I; ESCOBAR MARTINEZ, F.J. ; SALADO GARCIA, M.J.;DELGADO GOMEZ, M. Evaluación de una Herramienta de Autoaprendizaje SIG en la Universidad de Alcalá.

KNUTSON, Ben. Rural Wireless Communications Mapping. En : GIS & Remote Sensing Lab. GEOG 413/613, (December, 2007).

MANUAL: curso análisis espacial arcwiew 8.2. Proyecto regional “ordenamiento territorial rural sostenible” (Proyecto Gcp/Rla/139/Jpn). Santiago,chile. Mayo, 2003.

MCCOY, Jill; JOHNSTON, Kevin; KOOPP, Steve; BORUP, Brett; WILLISON, Jason; PAYNE, Bruce. Using Arcgis Spatial Analyst. Argis 9 Tutorial. Esri. (2002); p. 46.

- RAMÍREZ, Mirta Liliana. Comunicaciones científicas y Tecnológicas. En : método de jerarquías analíticas en la ponderación de variables aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad de la provincia del chaco. (2004).
- ROFFE, Tatiana Geler y DE LA TORRE, Reynier Fernández. Modelo digital de elevación de la zona emergida del ecosistema Sabana Camaguey. En : Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Vol 9, (2004).
- SAATY, T. 1980. Evaluación y Decisión Multicriterio. Reflexiones y Experiencias. Universidad de Pittsburg, U.S.A. Editorial Universidad de Santiago. 219 p.
- SENDRA BOSQUE, J; GÓMEZ DELGADO, M; MORENO JIMENEZ, A.; y POZZO, f.dal. Hacia un Sistema de Ayuda a la Decisión Espacial para la localización de Equipamientos. 2000. P. 5567-598 (Tomo LXI, N. 241).
- SENDRA, Joaquín Bosque, y GARCIA, Rosa C. El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. En : Anales de Geografía de la Universidad complutense. No. 20 (2000); p. 49-67.
- THOMAS, Satty . Método Analítico jerárquico (AHP) principios básicos en evaluación y decisión Multicriterio, reflexiones y experiencias. Editorial universidad de Santiago, 1998. P 17–46.
- VILLOTA, Hugo. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierra. 2 ed. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2005. 228P.
- VLADIMIR ZAMBRANO, Carlos. Hombres de Páramo y Montaña. Los Yanaconas del Macizo Colombiano. Santafe de Bogotá. Instituto Colombiano de Antropología. URL: [www. Banrepcultural.org/derautor.htm](http://www.Banrepcultural.org/derautor.htm).
- ZAMBRANO, Carlos Vladimir. Geografía Humana de Colombia Región Andina Central. Bogotá .Instituto Colombiano de Cultura Hispánica. 2000. (Tomo IV, Volumen I).