

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE VIAS**  
**POSTGRADO EN INGENIERÍA VIAL**  
**Mérida - Venezuela**  
**2002**

**“SELECCIÓN DE LA RUTA ÓPTIMA PARA EL TRAZADO DE  
UNA CARRETERA MEDIANTE UN SISTEMA DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG): RUTA LAS GONZÁLEZ -  
ESTANQUES”**

**Por:**

**Ricardo Alberto Urriola Pacheco**

**Tesis para optar al grado de  
Magister Scientiae en Ingeniería Vial**

**Tutor: Manuel Jauregui**

**Asesor: Leonardo Casanova**

**DONACION**

**SERBIULA**  
**Tulio Febres Cordero**

C.C. Reconocimiento

## RESUMEN

En el presente trabajo se propone una metodología para la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la selección de la ruta óptima para el trazado de una carretera. En una primera fase, se determinó el trazado de la ruta óptima, considerando solamente los costos de construcción, en donde se tomaron las variables: topografía, litología e hidrografía. En una segunda fase se consideró, por una parte, el factor ambiental, tomando este aspecto, desde el punto de vista del impacto visual de las rutas seleccionadas; por la otra parte, atendiendo a los costos ambientales y de construcción. Al considerar los costos de construcción y los ambientales junto con los de construcción, se generaron en ambos casos, superficies de las cuales se determinaron los trazados de forma automática, para así seleccionar la ruta más idónea en el entorno de un SIG, siendo el criterio aquel que represente los menores costos, eligiendo como área de estudio la zona comprendida entre los poblados de Las González y Estanques, del estado Mérida.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
 <b>CAPITULO I</b>	
<b>EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES</b>	
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Objetivos de la investigación .....	4
1.3 Propósito de la investigación .....	5
1.4 Justificación .....	5
1.5 Alcances y limitaciones .....	6
 <b>CAPITULO II</b>	
<b>MARCO TEORICO</b>	
2.1 Estudios del trazado .....	7
2.2 Metodología propuesta por Gómez y otros .....	8
2.3 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	10
2.4 Variables asociadas a la selección de la ruta óptima .....	15
2.4.1 Variables asociadas a los costos de construcción .....	15
2.4.1.1 Topografía .....	15
2.4.1.2 Geología .....	16
2.4.1.3 Hidrografía .....	17
2.4.1.4 Poblados .....	17
2.4.1.5 Carreteras existentes .....	18
2.4.2 Variables asociados al factor ambiental .....	18
2.4.2.1 Cuenca visual .....	19
2.4.2.2 Vegetación y usos del suelo .....	19

**CAPITULO III**  
**MATERIALES Y METODOS**

3.1 Marco metodológico .....	21
3.2 Descripción general del área de estudio .....	21
3.2.1 Hidrografía .....	21
3.2.2 Suelos .....	25
3.2.3 Clima .....	26
3.2.4 Geología .....	27
3.2.5 Geomorfología .....	30
3.2.6 Uso de la tierra y vegetación natural .....	31
3.3 Generación de una base de datos de la zona .....	35
3.3.1 Recopilación de la información .....	35
3.3.2 Tratamiento de la información cartográfica .....	36
3.4 Generación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) .....	37
3.5 Cálculo de los costos de construcción .....	41
3.5.1 Costos debidos al movimiento de tierra .....	43
3.5.2 Costos debidos a la geología .....	49
3.5.3 Costos debidos a la hidrografía .....	50
3.5.4 Mapa de Costos de Construcción .....	52
3.5.5 Cálculo de la Superficie de Costos .....	54
3.6 Trazado de la ruta óptima partiendo de la superficie de costos de construcción .....	58
3.7 Consideración del factor ambiental .....	59
3.7.1 Generación de una cuenca visual .....	59
3.7.2. Cálculo de los costos ambientales – vegetación y usos del suelo .....	65
3.8 Trazado de la ruta óptima, integrando los costos ambientales a los costos de construcción .....	68

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

4.1 Análisis de las rutas tomando en cuenta los costos de construcción .....	71
4.2 Análisis de las rutas al integrar los costos de construcción y los costos ambientales .....	72
4.3 Comparación de las rutas con el trazado actual .....	73
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO I: Curvas de nivel digitalizadas .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO II: Verificación del MDE .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO III: Glosario de términos del programa IDRISI 2.01 bajo Windows, que fueron empleados en el trabajo .....</b>	<b>93</b>

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Algunos programas de SIG disponibles en el mercado .....	14
Tabla 2. Formaciones geológicas de la zona .....	29
Tabla 3. Comparación de la variación de la altura después de ser aplicado el filtro .....	41
Tabla 4. Valoración de las diferentes formaciones geológicas .....	49
Tabla 5. Valoración de la hidrografía .....	51
Tabla 6. Valoración de los diferentes usos de la tierra .....	67
Tabla 7. Resumen estadístico generado con el comando EXTRACT del programa IDRISI, al tomar el mapa de costos de construcción y la ruta Las González – Estanquez .....	72
Tabla 8. Resumen estadístico generado con el comando EXTRACT del programa IDRISI, al tomar el mapa de costos de construcción y la ruta Estanquez – Las González .....	73
Tabla 9. Puntos utilizados en la verificación del MDE .....	91

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico propuesto por Gómez y otros.....	9
Figura 2. Representación raster y vectorial de la información del mundo real .....	12
Figura 3. Marco Metodológico .....	22
Figura 4. Ubicación del área de estudio .....	23
Figura 5. Ubicación relativa nacional y regional .....	24
Figura 6. Río Chama, sector ubicado a unos 6 Km. aguas arriba de Estanques, visto desde la margen derecha del río .....	25
Figura 7. Vertientes con escaso contenido de materia orgánica, muy afectadas por cárcavas y en algunos casos por torrentes activos, formando frecuentemente paisajes de bab-lands, sector Las González .....	26
Figura 8. Estructura geológica idealizada del área de estudio .....	28
Figura 9. Cardones, vegetación típica de la zona .....	31
Figura 10. Cardones, vegetación típica de la zona .....	32
Figura 11. Poblado los Araques, visto desde la margen derecha del río Chama, en dirección Estanques – Las González .....	33
Figura 12. Nuevo asentamiento poblacional, Conjunto residencial Chama - Mérida, visto en dirección hacia Las González en la margen derecha del río Chama .....	33
Figura 13. Tierras agrícolamente improductivas, aguas arriba de Estanques, vista desde la margen derecha del río Chama, hacia Estanques .....	34
Figura 14. Modelo Digital de Elevaciones .....	42
Figura 15. Cálculo de la altura libre de un punto (Hl,b) a partir del modelo digital de elevaciones .....	44
Figura 16. Distancias al poblado Las González .....	45
Figura 17. Representación esquemática del cálculo de la imagen de la altura libre de cada uno de los puntos del terreno (Hl,b) .....	47
Figura 18. Costos debidos al movimiento de tierra .....	48
Figura 19. Costos debidos a la geología .....	50

## INTRODUCCIÓN

La selección de la ruta para el trazado de una carretera, engloba todo un proceso preliminar de acopio de datos, estudios de planos, reconocimientos y localización de las poligonales de estudio. Del análisis y evaluación de las diferentes rutas posibles para un trazado, surgirá una que reunirá las mejores cualidades y sobre las que se realizarán los estudios detallados que conducen al proyecto.

Todo este conjunto de información se transforma en un gran volumen de datos, que con los métodos de análisis tradicionales (superposición de mapas en papel y un sin número de operaciones realizadas sobre formatos analógicos), es de difícil manejo, incrementándose así el tiempo y costos de ejecución del proyecto.

Es sorprendente, si hacemos un poco de historia, como hace unos años atrás, la investigación estaba muy limitada por las herramientas con que se contaba. Actualmente, se cuenta con una inmensurable cantidad de herramientas e información, tales como son: un computador, un buen software (programas), líneas de comunicación (teléfono), consultas a empresas, universidades y centros de investigación. Se puede obtener un bagaje de información ilimitada, a través de lo que se ha dado en llamar la Autopista de la Información (Internet); podemos tener imágenes de cualquier parte del mundo y trabajar sobre ellas, en otras palabras contamos con medios que nos permiten acceder y manejar la información de una manera más rápida y segura.

En la actualidad, el manejo de la información en formato analógico ha sido desplazado por las nuevas tecnologías, las cuales manejan la información en formato digital, aumentando así la capacidad de respuesta y disminuyendo los costos y tiempo de ejecución. Dentro de estas nuevas tecnologías se destacan los Sistemas de Información Geográfica, que permiten al usuario, manejar, analizar, actualizar, consultar y ampliar la información obtenida por los diversos medios a los que se han hecho referencia anteriormente, de una manera más eficaz.

Otra de las nuevas tecnologías es la utilización de los sensores remotos (Fotografías Aéreas, imágenes de satélite e imágenes de radar) que permiten planificar y

ejecutar la recopilación de los datos en campo, minimizar la intensidad de muestreos en muchos de los estudios y la generación de nuevas capas temáticas con gran precisión.

La finalidad de este trabajo es la de hacer uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la selección de la ruta óptima para el trazado de una carretera, atendiendo a mínimos costos de construcción y ambientales.

El trabajo se ha estructurado en cuatro capítulos, en el primero se presenta el problema y sus generalidades, lo cual abarca el planteamiento del problema, objetivos de la investigación, propósito de la investigación, justificación y limitaciones. En el segundo, se hace referencia al marco teórico concerniente al tema de estudio. El tercero, define el procedimiento metodológico y los cálculos que han de guiar a la solución del problema. El cuarto capítulo corresponde al resumen y análisis de los resultados obtenidos.

Se espera con la realización de este trabajo ofrecer un aporte significativo de referencia para los ingenieros viales en la selección de la ruta óptima para el trazado de una carretera.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

Este Capítulo tiene por finalidad explicar el problema que se quiere investigar. Se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, el propósito de la investigación, la justificación y las limitaciones del estudio.

### 1.1 Planteamiento del problema

La Planificación de una carretera es la etapa más difícil e importante en la construcción de la misma, donde precisa controlar a la ingeniería del proyecto, hasta la completa resolución de la ruta seleccionada (ruta óptima).

La planificación de manera general se puede definir como un proceso racional de toma de decisiones (Boisier, 1976) o como un intento inteligente y organizado para elegir las mejores alternativas tendentes a realizar metas específicas (Waterston, 1969).

La interdependencia entre los distintos factores que conforman el territorio obliga a considerar la planificación bajo una perspectiva global. Para abordar esta óptica global es preciso acudir a herramientas metodológicas que permitan manipular múltiples variables, en sus complejas relaciones geográficas, mostrando a la vez la representación espacial de tales relaciones.

En el estudio para el trazado óptimo de una carretera, deben considerarse aspectos muy variados como la topografía del área, el uso del suelo, la propiedad, la litología, la protección de cuencas, etc. Todas estas variables pueden manipularse por métodos tradicionales, por ejemplo mediante superposición manual, pero la complejidad de las sucesivas composiciones puede obligar a simplificar en exceso el problema, eligiendo una solución que diste de ser la más idónea. Con un Sistema de Información Geográfica (SIG), este trazado puede automatizarse a partir de unos criterios definidos

por los expertos, mostrándose diversas alternativas, que sean evaluadas, a su vez, tanto económica como ambientalmente (Chuvieco y Salas, 1993).

Gracias a los SIG se puede disponer de bases de datos coherentes, georeferenciadas, con un mismo sistema de proyección, escala y nivel de degradación. Bajo esa óptica, los SIG se consideran como herramienta imprescindible para una moderna planificación del territorio, y como soporte de numerosos proyectos de desarrollo regional (Gómez y otros, 1995).

Es por todo esto que en este trabajo se plantea hacer uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la selección de la ruta óptima para el trazado de una carretera, atendiendo a mínimos costos de construcción y ambientales.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la ruta óptima para el trazado de una carretera, entre los poblados de Las González y Estanques del Estado Mérida, con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Elaborar y aplicar criterios en la selección de la ruta óptima, que permitan obtener los mínimos costos de construcción y de preservación del ambiente. Estos costos no estarán referidos a magnitudes económicas absolutas.
- Adaptar la metodología desarrollada por Gómez y otros (1995), particularizándola a las condiciones específicas de la zona de estudio y realizando estudios más detallados.
- Evaluar la solución obtenida mediante el sistema de información geográfica, comparándola con el trazado actual de la vía.

### **1.3 Propósito de la investigación**

En este trabajo se pretende seleccionar la ruta óptima para el trazado de una carretera mediante el auxilio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), aplicada a un caso concreto venezolano, entre los poblados de Las González y Estanques del estado Mérida.

Para efecto del presente estudio, la vialidad existente no será considerada, es decir, se asumirá que no existe una vía previa. De esta forma se podrá comparar la solución obtenida a través del SIG, con el trazado actual que resultó haciendo uso de los métodos tradicionales.

### **1.4 Justificación**

La selección de la ruta óptima requiere de varias fases de análisis y la evaluación de numerosos factores. Por otro lado, la dinámica de los desarrollos tecnológicos en el área de la informática y la computación, han introducido transformaciones significativas en los paradigmas que orientaban el trabajo de un ingeniero vial.

Hasta hace poco tiempo no se contaba con herramientas y procedimientos que permitieran manipular en sus complejas relaciones geográficas todos esos factores. Por tal motivo, es fundamental que la ingeniería vial se inscriba en los nuevos desarrollos tecnológicos, mediante los servicios que ofrecen estas novedades, especialmente, en materia de procesamiento de data.

En la actualidad, los SIG permiten abordar modelos sintéticos de análisis que superpongan distintas variables de cara a la evaluación global de un problema como la selección de la ruta óptima para el trazado de una carretera.

Por otro lado, es una necesidad la inclusión de los SIG, como herramienta de la ingeniería vial, fundamentándose en la demanda de:

- Seleccionar las variables que intervienen en la toma de decisiones de los ingenieros viales, durante el ejercicio de selección de una ruta óptima para el trazado de una carretera.

- Valorar las variables que intervienen en la toma de decisiones de los ingenieros viales, posibilitando la transformación de las mismas en capas temáticas, capaces de alimentar un programa informático que permita la aproximación virtual a la realidad en el proceso de selección de una ruta óptima.
- Ejecutar programas periféricos a la materia específica de la ingeniería vial, para dotar al ingeniero de metodología y herramientas avanzadas en la aplicación y desarrollo de Software para la obtención de resultados óptimos en el desempeño de su ejercicio.

### **1.5 Alcances y limitaciones**

Los alcances y limitaciones pueden resumirse en los siguientes:

- La determinación de la ruta óptima para el trazado de una carretera considerando los costos de construcción.
- La determinación de la ruta óptima para el trazado de una carretera considerando el factor ambiental desde el punto de vista del análisis del paisaje visual, de las rutas obtenidas con los costos de construcción.
- La determinación de la ruta óptima para el trazado de una carretera considerando los costos ambientales, junto a los costos de construcción.
- La comparación o evaluación de la solución obtenida mediante el Sistema de Información Geográfica, con el trazado actual de la vía.
- Se tomo como área de estudio, la zona comprendida entre los poblados de Las González y Estanques del estado Mérida.
- Los costos no estarán referidos a cifras absolutas, solo se requiere saber cuales son las áreas de menor y mayor costo, con el objeto de trazar la ruta de mínimo costo.

**CAPITULO II**  
**MARCO TEORICO**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

En este capítulo se van a explicar las bases teóricas que orientaron la investigación; se hizo un estudio de los fundamentos teóricos y las variables a investigar.

#### 2.1 Estudios del trazado

La selección de la ruta óptima para el trazado de una carretera, representa un aspecto de suma importancia; esta selección da lugar al trazado y diseño de una vía con adecuados alineamientos, con pendientes aceptables y sobre terrenos con buenas condiciones geológicas. En esta selección concurre una multiplicidad de variables a considerar que ameritan la ponderación y jerarquización de las mismas, con el objeto de decidir entre una serie de alternativas, la que mejor se adapte a los criterios y objetivos establecidos.

En este sentido, se deben tener en cuenta las condiciones físicas del terreno, las diferentes alternativas posibles y el propósito de la vía. Así mismo, es imprescindible que la vía sea lo más directa entre los puntos de paso obligado, para que los costos de construcción no resulten muy altos, y que a la vez, las pendientes y curvaturas se mantengan dentro de ciertos intervalos de valores razonables, y así, los costos de funcionamiento también serán razonables (Choconta,1999).

No obstante, en el proyecto de una vía, se deben hacer también consideraciones sobre su economía y factibilidad que hagan posible el trazado y diseño de una ruta óptima.

De igual modo debe estimarse que el costo de construcción, aún cuando sea bajo, no implique que la vía resulte obsoleta demasiado pronto y requiera ser reconstruida antes del tiempo previsto, o que los costos de mantenimiento se hagan más altos de lo

normal. En síntesis, en la selección de una ruta óptima se debe prever que los costos de construcción, funcionamiento y mantenimiento sean lo menos posible.

Para seleccionar entre varias alternativas, la mejor ruta, utilizando los métodos tradicionales se debe tantear el trazado entre los puntos obligados o controles primarios (puntos por donde debe pasar obligatoriamente la carretera). En toda obra de ingeniería se puede elegir normalmente, entre varias soluciones, una óptima, pero en el problema de la selección, es en general, mayor la indeterminación, y principalmente el buen criterio del ingeniero debe pesar en la solución. Como no es posible dar reglas concretas, únicamente se puede pensar que el acierto de la solución escogida, será función del más exacto conocimiento del terreno a recorrer en sus diferentes aspectos: topografía, geología, usos de la tierra, etc., factores todos que pesarán en el costo de construcción y explotación.

Con un SIG, la selección de la ruta óptima para el trazado de la carretera, puede automatizarse a partir de unos criterios definidos por los expertos, mostrándose diversas alternativas, que sean evaluadas a su vez, tanto económica como ambientalmente.

## **2.2 Metodología propuesta por Gómez y otros**

Montserrat Gómez y otros (1995), desarrollaron una metodología para el empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la selección de la ruta óptima para el trazado de una carretera (Figura 1). Se consideraron seis variables cartográficas: vegetación y usos del suelo, carreteras existentes, hidrografía, curvas de nivel, litología y núcleos habitados. Todas estas variables se digitalizaron en coordenadas UTM, con su correspondiente base de datos, tomando como base la cartografía del Servicio Geográfico del Ejército a escala 1:200.000 y posteriormente fueron rasterizadas en diferentes capas, correspondientes a cada una de las variables, con una resolución común de 100 x 100 metros (tamaño del píxel = 1 ha). Partiendo de unos criterios definidos por los expertos, se valoraron cada una de estas variables y se realizó un modelado espacial en base al análisis escalonado de las diferentes capas, para definir una superficie de costos, esto es, una variable que representa la distribución espacial de la resistencia al

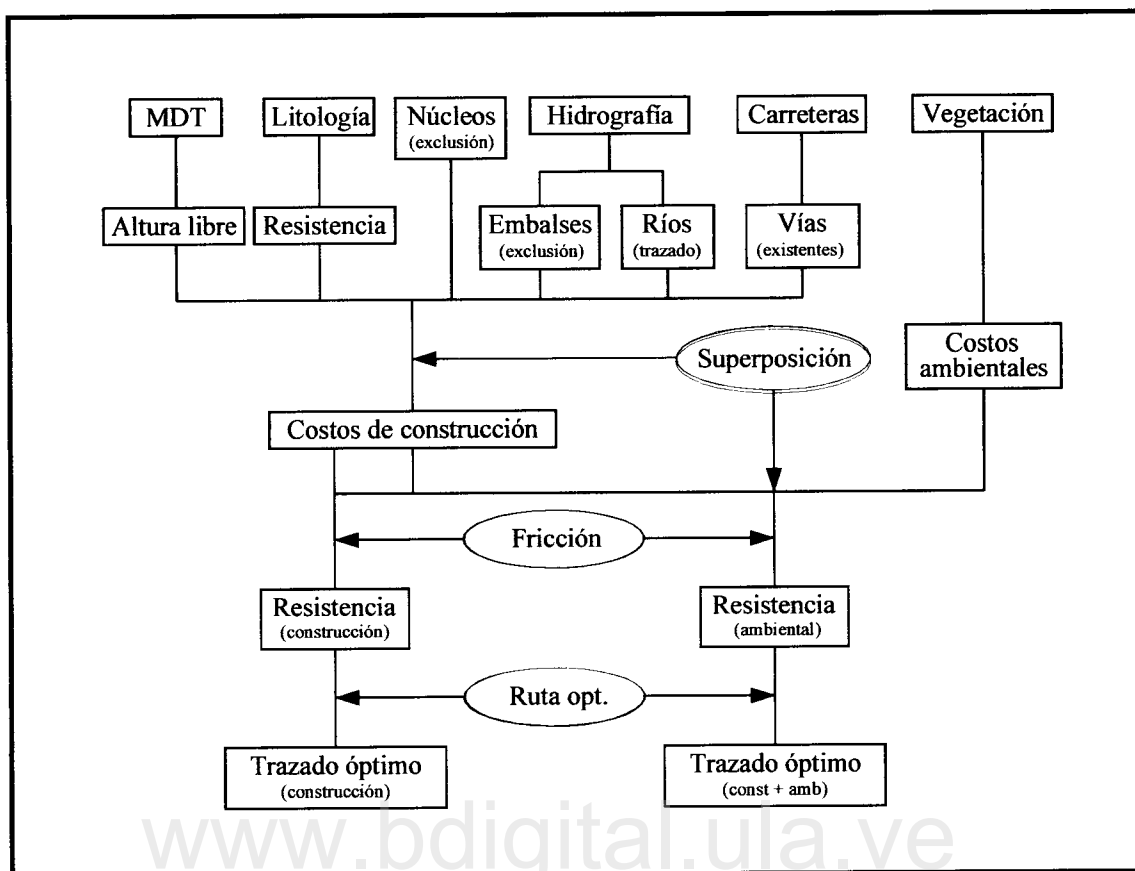


Figura 1. Esquema metodológico propuesto por Gómez y otros. Los recuadros indican variables geográficas utilizadas en el trabajo, las elipses las operaciones de análisis utilizadas. Se ha omitido la recodificación, que es común a todas las variables (MDT indica Modelo Digital del Terreno; Ruta opt, el algoritmo para trazar rutas de máxima pendiente en una superficie de costos; cost + amb, la consideración conjunta de los costos de construcción y ambientales). Fuente: Gómez y otros, 1995.

movimiento entre dos puntos cualesquiera del mapa. Tal resistencia se mide, habitualmente, en costos asociados a la construcción, pero en este caso, también se consideraron costos ambientales.

En los costos ambientales se consideraron la variable visibilidad y los costos debidos a la cobertura de vegetación.

Una vez obtenida la superficie de costos, se diseñó la ruta óptima entre los dos puntos que pretenden unirse mediante un algoritmo que minimice la suma de los costos de cada posible trazado. Gómez y otros evitaron introducir magnitudes económicas absolutas puesto que los costos del mercado varían notablemente. Por otra parte, el

objetivo requería únicamente saber cuáles eran las áreas de menor y mayor costo de construcción y ambientales, con el objeto de trazar la ruta de mínimo costo, y no tanto a qué cifra absoluta ascendía tal costo.

Puesto que el objetivo de los autores era más metodológico que operativo, se planteo un problema ficticio para seleccionar la ruta óptima para el trazado de una carretera entre los núcleos poblados de Colmenar Viejo y Ventura. Aunque el modelo simplificado que se planteo no pretendía solucionar un problema real, lo cual requeriría una escala de trabajo y un modelo de análisis mucho más refinado, el ejercicio se desarrollo sobre datos reales, con el objeto de contrastar más adecuadamente la idoneidad del método propuesto.

La adaptación que se propone al trabajo de Gómez y otros, es la de desarrollar esta metodología a una escala de trabajo mucho mayor (escala 1: 25.000) y un tamaño del píxel de de 15 x 15 metros, con la finalidad de realizar estudios más detallados aplicados a un caso real, entre los poblados de Las González y Estanques del estado Mérida.

www.bdigital.ula.ve

### **2.3 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), pueden definirse como programas informáticos, cada uno de los cuales con aplicaciones específicas, que permiten el tratamiento y procesamiento de la información geográfica. Se han convertido en herramientas muy efectivas de la ingeniería y de las ciencias básicas.

Los SIG son un tipo especializado de bases de datos que se distinguen por su capacidad de manejar información espacial referenciable y que permiten además su representación gráfica.

Se dice que son herramientas, porque ayudan a la formación de elementos de juicio para la toma de decisiones luego de que se han aprovechado sus funciones de captura, almacenamiento, refinamiento, análisis y visualización de la información. Los SIG proporcionan un almacenamiento coherente de la información espacial, que puede ser actualizada o manipulada con un mínimo esfuerzo.

Los SIG pueden entenderse como una caja de experimentación, lo que permite al analista o al gestor territorial trabajar o plantearse diferentes escenarios virtuales de una determinada región: por una parte, los que se producirían con la ejecución de ciertas políticas, o los que ocurrirían siguiendo determinadas tendencias. Todo esto hace de los SIG una potente herramienta de planificación cuando se dispone de una base de datos suficientemente amplia para los fines que se plantean.

Los SIG permiten integrar información espacial de muy diversas fuentes, permiten generar modelos, simular escenarios y prever consecuencias de determinadas decisiones de planificación. También tienen la capacidad de gestionar e integrar información de múltiples orígenes, permitiendo análisis que resultarían en la práctica, inasequibles para los métodos convencionales.

Los SIG no proporcionan en sí mismos una nueva información, son únicamente gestores de la información que se genera por otras técnicas y de fuentes muy variadas: imágenes de satélite, fotografías aéreas, ortofotos, GPS, topografía convencional, etc. En consecuencia, la calidad de las aplicaciones que se aborden con un SIG dependerá de la calidad y actualización de la información disponible en el sistema.

### **Modelos de datos espaciales**

La base de datos espaciales de un SIG no es más que un modelo del mundo real, una representación digital en base a objetos discretos. Una base de datos espaciales es, en definitiva, una colección de datos referenciados en el espacio que actúa como modelo de la realidad. Las reglas según las cuales se modeliza el mundo real por medio de objetos discretos constituyen el modelado de datos (Gutiérrez, 1994).

Los SIG permiten obtener modelos cartográficos, a partir de la transformación o combinación de diversas variables: señalar corredores de una determinada distancia a un río o carretera; realizar tablas de coincidencia entre dos o más mapas; calcular pendientes, exposiciones o medidas de textura; superponer dos o más capas de información, etc. Asimismo, facilita la presentación gráfica de los resultados, al permitir el acceso a diversos periféricos controlados por ordenador.

El componente espacial de los datos espaciales puede ser representado digitalmente en un SIG a través de dos modelos de datos espaciales: los vectoriales y el *raster*. En los modelos vectoriales, la información del mundo real es representada por los puntos y líneas que definen sus límites o fronteras, estableciendo un sistema de coordenadas (X,Y) para localizar cada objeto espacial en una capa (Figura 2). En dichos modelos de datos, el espacio geográfico tiene un carácter continuo que cumple los postulados de la geometría euclidiana. Siendo representados los elementos por sus fronteras, las cuales se definen explícitamente.

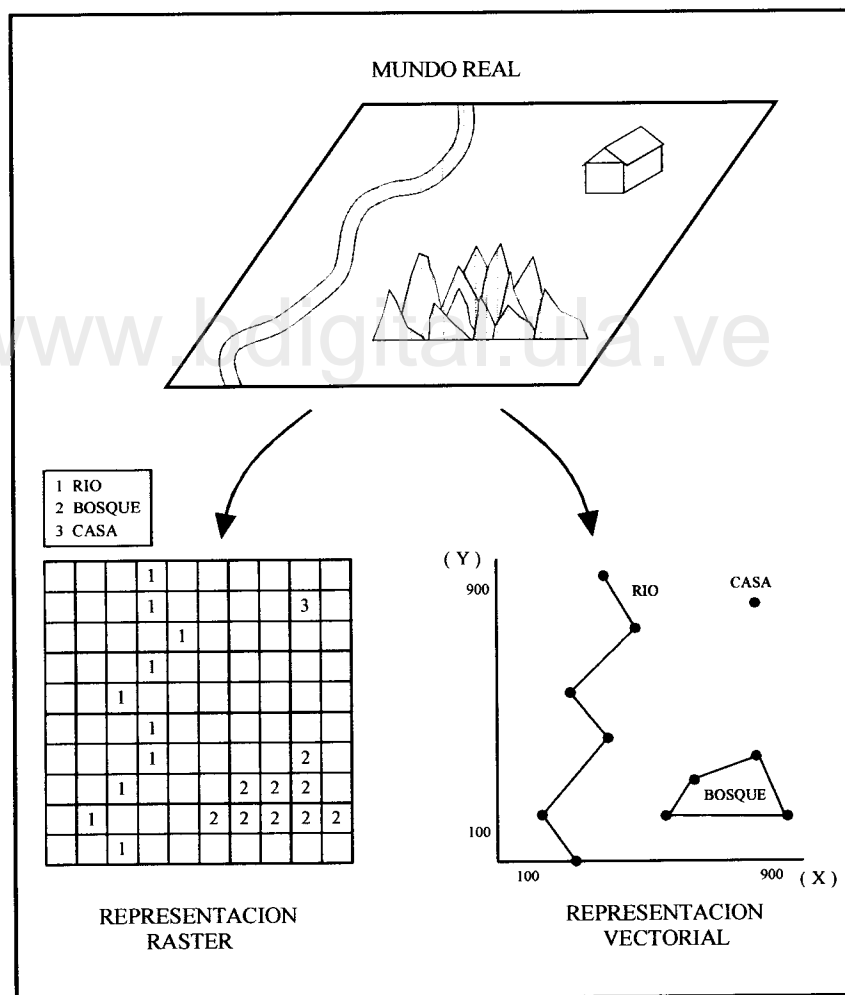


Figura 2. Representación *raster* y vectorial de la información del mundo real  
Fuente: Barredo, 1996.

En los modelos de datos vectoriales, las áreas (polígonos) están descritas por el conjunto de líneas de frontera que las delimitan: dichas líneas se representan por un conjunto de coordenadas correspondientes a sus vértices, mientras que los puntos se representan por una coordenada (X,Y).

En el modelo de datos *raster*, el espacio está representado por un conjunto de unidades espaciales llamadas celdas (píxeles), las cuales representan unidades homogéneas de información espacial; éstas establecen su localización por un sistema de referenciación en filas y columnas (Figura 2). Cada celda tiene un valor o código asignado, correspondiente al tipo de información temática que representa cada una de ellas, así, el espacio es poblado por un largo número de celdas regularmente distribuidas, cada una de las cuales puede tener diferentes valores.

La decisión de trabajar en la representación *raster* o la vectorial viene dada por diferentes factores entre los que cabe destacar: objetivos de la investigación, disponibilidad de equipos de tratamiento de la información, tipo de información y tiempo de ejecución. Por otra parte, las ventajas en el uso de una u otra representación según Bosque (1992) son:

a) La representación vectorial, es más adecuada para la realización de mapas y gráficos precisos, sobre todo está más de acuerdo con la cartografía tradicional, por ello resulta más intuitiva. Es más compacta en cuanto al volumen de almacenamiento que necesita y más exhaustiva la información disponible ya que la topología está descrita más completa y explícitamente. Ciertas operaciones son más sencillas y rápidas de realizar, pero estas ventajas se consiguen a partir de una organización de los datos muy compleja, requiere cálculos largos y complicados, muy laboriosos de realizar para actualizar la base de datos, cualquier cambio determina la necesidad de modificar muchos elementos.

b) El modelo *raster* tiene, por su parte, una organización muy simple de los datos que permite realizar con gran facilidad procesos de análisis. Por ejemplo, la superposición de datos es muy sencilla y fácil de programar mediante operaciones con matrices. Sus salidas gráficas, aunque deficientes, se pueden realizar con dispositivos baratos, como por ejemplo la impresora matricial. Su principal inconveniente es el gran

volumen de almacenamiento que requiere, en especial si es necesario disponer de una representación muy precisa, lo que exige aumentar la resolución espacial y, en consecuencia, aumentar el número de filas y columnas del mapa.

El usuario debe decidir durante la planificación del proyecto SIG, que software se adapta de manera más adecuada a las operaciones y requerimientos planteados. En la tabla 1 se presentan algunos programas de SIG disponibles en el mercado.

Puesto que la selección de la ruta óptima para el trazado de una carretera implicaba abordar diversas operaciones de análisis espacial (distancias, superposiciones, fricción, cuencas visuales, etc.), se optó por trabajar con un SIG *raster*, más apropiado para este tipo de operaciones. El programa elegido se denomina IDRISI (versión 2.010 bajo Windows), que incorpora múltiples herramientas para la manipulación de mapas, en un entorno muy amigable y a un costo prácticamente simbólico.

Tabla 1. Algunos programas de SIG disponibles en el mercado

Nombre	Tipo	Productores	País	Estructura de datos	Características Generales
ArcInfo	Comercial	ESRI	USA	Vector	Capacidad de digitalización Capacidad analítica Información topológica Lenguaje de comandos
ArcView	Comercial	ESRI	USA	Vector	Capacidad de digitalización Capacidad analítica Interfase menú - usuario Información topológica
ILWIS	Enseñanza Comercial	ITC	Holanda	Vector <i>Raster</i>	Capacidad de digitalización Capacidad analítica Interfase menú - usuario Información topológica Procesamiento de imágenes Presentación en tercera dimensión Doble pantalla
IDRISI	Enseñanza Comercial	Univ. de Clark	USA	<i>Raster</i>	Capacidad de digitalización Capacidad analítica Interfase menú - usuario Procesamiento de imágenes Presentación en tercera dimensión

Fuente: Vélchez (2.000). Adaptado por el autor.

## **2.4 Variables asociadas a la selección de la ruta óptima**

La metodología a ser aplicada en este trabajo, parte de establecer un SIG formado por diversas variables que se consideran trascendentales, desde el punto de vista de la selección de la ruta óptima para el trazado de la carretera.

Con el objeto de cumplir con los objetivos planteados, se tomaron las variables asociadas a los costos de construcción y las variables asociadas a los costos ambientales.

### **2.4.1 Variables asociadas a los costos de construcción**

Las variables que se consideraron asociadas a los costos de construcción fueron: la topografía, la hidrografía, la geología y los núcleos poblados.

#### **2.4.1.1 Topografía**

La topografía es un factor principal de localización física de la vía, pues afecta su alineamiento horizontal, sus pendientes, sus distancias de visibilidad y sus secciones transversales. En terrenos montañosos, que es el caso que nos ocupa, las subidas y bajadas con pendientes acentuadas y las corrientes de agua, generalmente presentan limitaciones para la localización y diseño de la carretera. Se presenta en la vía un exceso de curvatura, si se quieren mantener bajos los volúmenes de movimiento de tierras, pero esa curvatura, puede ser objetable desde el punto de vista de la economía de operación de los vehículos, por otra parte, muchas veces es necesaria para desarrollarla, y lograr vencer las diferencias de nivel con una pendiente razonablemente baja. El desarrollo de la vía consiste en un alargamiento deliberado de la misma mediante una curvatura convenientemente estudiada, que permita llegar a la cota de diseño con una pendiente menor a la que resultaría en el caso de seguir la ruta más corta.

Por otra parte, hay que cuidar que los volúmenes de los cortes y de los terraplenes sean lo más pequeños posibles para disminuir los costos de construcción.

Además, si los volúmenes de corte son aproximadamente iguales a los volúmenes de terraplén, los materiales extraídos de los primeros se pueden utilizar para construir los rellenos, siempre que cumplan otras condiciones, como buena clase de material, distancias de acarreo cortas, etc.

El principal factor que afecta la topografía en terreno montañoso, es la pendiente del terreno, y resulta ser el más importante en los costos de construcción, por su estrecha relación con los movimientos de tierra (muchas veces por los grandes cortes necesarios en el terreno), para lograr en muchos casos recorridos más cortos con pendientes aceptables. En consecuencia, el factor más importante en los costos de construcción lo determina la altitud del terreno en referencia con la rasante de la carretera (altura libre de un punto del terreno según la Figura 15, Pág. 44). Esta altura puede representar valores de corte o de relleno para lograr nivelar el terreno con la rasante de la vía a ser construida. La rasante representa las cotas de pavimento acabado de la carretera o el perfil longitudinal del mismo a lo largo del eje de la vía.

#### **2.4.1.2 Geología**

Representa la calidad de los materiales del suelo y sub-suelo del área de estudio, la cual influye en los costos de construcción y en la conservación de la vía. La excavación tiene un costo claramente asociado a la dureza del material donde se opera, la cual puede ser fácil, moderada o difícil. El precio de la excavación en roca puede ser cuatro o cinco veces el de la excavación en tierra.

Otro de los factores que deben ser considerados son la resistencia y la estabilidad en pendientes de los materiales, no solamente en el costo del primer establecimiento de la carretera influye la naturaleza del terreno en el que se desarrolla el trazado; corregir los grandes defectos en una carretera, por un mal terreno, será costoso y puede llegar a ser imposible en la práctica.

Las formaciones geológicas de la zona se evaluaron de acuerdo a estos factores: dureza, resistencia y estabilidad en pendientes de los materiales, tomando como referencia las características litológicas de cada formación.

La litología es uno de los factores que evalúa la capacidad portante del suelo, entendiéndose ésta como la capacidad del suelo para soportar pesos tales como edificios, carreteras, etc; estudia la naturaleza, composición, textura y propiedades de las rocas y se puede considerar como una de las variables físicas que definen en un estudio del territorio, las posibilidades de uso del mismo.

Existen otra serie de factores que deberían ser considerados y que pueden modificar en gran medida la capacidad portante de un terreno, además de su litología, factores tales como: fallamiento, microfisuras, esquistosidad, así como la presencia de alteritas que puede afectar a determinados tipos litológicos y que condicionarán en gran medida la capacidad de un determinado tipo litológico de cara a un uso del suelo o actividad. En este trabajo no se tomaron en cuenta, ya que la intención del mismo es solo la de introducir una metodología.

#### **2.4.1.3 Hidrografía**

Influye en el número y costo de las estructuras de drenaje. Es un elemento importante a considerar en la selección de la ruta óptima, por lo que se debe buscar que el drenaje sea sencillo para reducir el número y tamaño de los puentes y demás obras que exige. Sin embargo, aunque los costos de las obras de arte, en algunos casos, son muy elevados en relación con el presupuesto de la carretera, pueden permitir ahorrar longitud de trazado, disminuyendo el costo total de la carretera.

#### **2.4.1.4 Poblados**

La construcción de cualquier vía, así sea principal o secundaria, tendrá un gran impacto en los diferentes tipos de comunidades por las cuales pasará, por lo que los estudios de alternativas de rutas deben considerar este factor. En casos de accesos limitados, los efectos a la comunidad pueden ser un factor determinante en la localización de la ruta óptima.

Los poblados existentes atraen la ruta hacia ellos para poderles dar mejor servicio. En el trazado de la ruta óptima, para la unión con los poblados intermedios es aconsejable, económicamente (costos de expropiación) y desde el punto de vista de fluidez del tránsito automotor, construir una carretera de servicio en vez de pasar el trazado principal cerca de él.

#### **2.4.1.5 Carreteras existentes**

En el cálculo de los costos de construcción, se podría considerar como una circunstancia favorable la presencia de carreteras existentes en el recorrido de la que va a ser proyectada. Al construir la carretera sobre el eje de una vía existente, se puede estimar una reducción del 50% frente a las zonas que no dispongan previamente de estas.

A los efectos de este trabajo, esta variable no fue considerada. Se asumió que no existían carreteras previas en la zona de estudio con la finalidad de poder evaluar la solución obtenida, mediante el sistema de información geográfica, con el trazado actual de la vía.

#### **2.4.2 Variables asociadas al factor ambiental**

Las variables que se consideraron asociadas al factor ambiental fueron: la variable visibilidad y los costos debidos a la cobertura de vegetación y usos del suelo. Estos costos se tomaran en función de afectar lo menos posible las especies vegetales autóctonas de la zona, por lo que los costos serán mayores al afectar estas especies.

La variable visibilidad se tomó en cuenta para decidir cuál de las diferentes alternativas previamente diseñadas, considerando únicamente los costos de construcción, resultaba menos “impactante”. De esta forma se determinaron las cuencas visuales (punto 2.4.2.1) de las diferentes rutas establecidas, para seleccionar la mejor.

Por otro lado, se consideró como factor ambiental a la vegetación, la cual esta contenida entre los diferentes usos del suelo, para generar un mapa de costos

ambientales, que se añadió a los generados partiendo de los costos de construcción. De esta forma se estimó, que un diseño óptimo de cualquier infraestructura debe considerar, junto a los costos de construcción, los ambientales. El problema es definir con rigor y objetividad estos costos ambientales, puesto que algunas de las variables que conforman lo que podemos llamar calidad ambiental son de difícil cuantificación. En cualquier caso, el empleo de los SIG permite analizar, en un contexto espacial, dichos costos ambientales, ofreciendo una magnífica imagen sobre su diferenciación espacial.

#### **2.4.2.1 Cuenca visual**

La Cuenca Visual es el conjunto de superficies o zonas que son vistas desde un punto de observación, o dicho de otra manera, es el entorno visual de un punto. Para el trazado de una carretera, habrá que calcular las cuencas visuales conjuntas de varios trazados, si se quiere determinar cual es el menos visto posible (causa menor impacto en el paisaje). La importancia de calcularlas, es que aquella que tenga la menor cuenca visual, resultara ser la que tenga menor impacto en el paisaje, en el caso concreto de la construcción de una carretera. En el caso contrario en el que se quiera efectuar una actuación en el terreno que ocupe suficiente extensión, como un mirador, se necesitara que la cuenca visual en conjunto sea lo más grande posible.

La delimitación de las cuencas visuales se apoya en los rasgos fisiográficos del terreno y se caracteriza por contener un conjunto de factores físicos y bióticos que perfectamente pueden servir para establecer un indicador aceptable en la evaluación de diferentes impactos.

#### **2.4.2.2 Vegetación y usos del suelo**

El uso del suelo es la utilización actual o futura del terreno en estudio. La importancia de los usos de la tierra en el proyecto de una carretera se observa, en las

implicaciones de costos de expropiación y en la demanda y composición del tráfico, que inciden en las características geométricas de la vía.

Es lógico pensar que para poder estudiar y planificar el uso de la tierra de un país, se hace necesario conocer y comprender los esquemas referentes al uso de la tierra del presente y más aún si tenemos la presión de un incremento de población que nos obliga a desarrollar y planificar con cuidado los recursos con que cuenta el país. Como el problema existe y se hace apremiante, es necesario buscar los medios para conocer el valor de esos recursos que solo se obtienen mediante la investigación y un levantamiento o inventario del uso de la tierra que nos permita su clasificación.

Dentro de la categoría de los usos del suelo se incluyo las diferentes coberturas vegetales presentes en la zona. La vegetación es considerada como uno de los factores más importantes en la valoración ambiental. Al valorar la vegetación se estaría considerando indirectamente la valoración de la fauna, si se considera la fuerte concordancia existente entre diversidad florística y faunística.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**CAPITULO III**  
**MATERIALES Y METODOS**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y METODOS**

Este Capitulo está orientado a desarrollar la estructura de la investigación con el propósito de explicar la metodología planteada que sirvió de base para el estudio y selección de la ruta óptima.

#### **3.1 Marco metodológico**

Con el fin de alcanzar los objetivos anteriormente citados se desarrolló el marco metodológico que se presenta en el esquema de la figura 3.

#### **3.2 Descripción general del área de estudio**

El área de estudio se localiza en la sección central de los Andes Venezolanos, formando parte de la cuenca media inferior del río Chama, en jurisdicción del Municipio Sucre del Estado Mérida. Esta delimitada entre los piedemontes de la Sierra Nevada al sur y Sierra de la Culata al norte, y entre el centro poblado Las González al este y el centro poblado de Estanques al oeste, en jurisdicción del Municipio Sucre, y a lo largo del Eje Vial carretera Mérida- Panamericana; el área de estudio se encuentra situada a unos 19 Km. al Oeste de la ciudad de Mérida, entre las coordenadas UTM 217540, 935465 y 247840, 947105 (zona 19) (Figura 4 y 5).

##### **3.2.1 Hidrografía**

El territorio estudiado es atravesado longitudinalmente por el curso del río Chama (Figura 6), de régimen permanente y principal eje fluvial en la región andina, así como también, por varios cursos de agua perpendiculares de régimen permanente e intermitentes, entre los que destacan las quebradas La Sucia, Las González, La Honda,

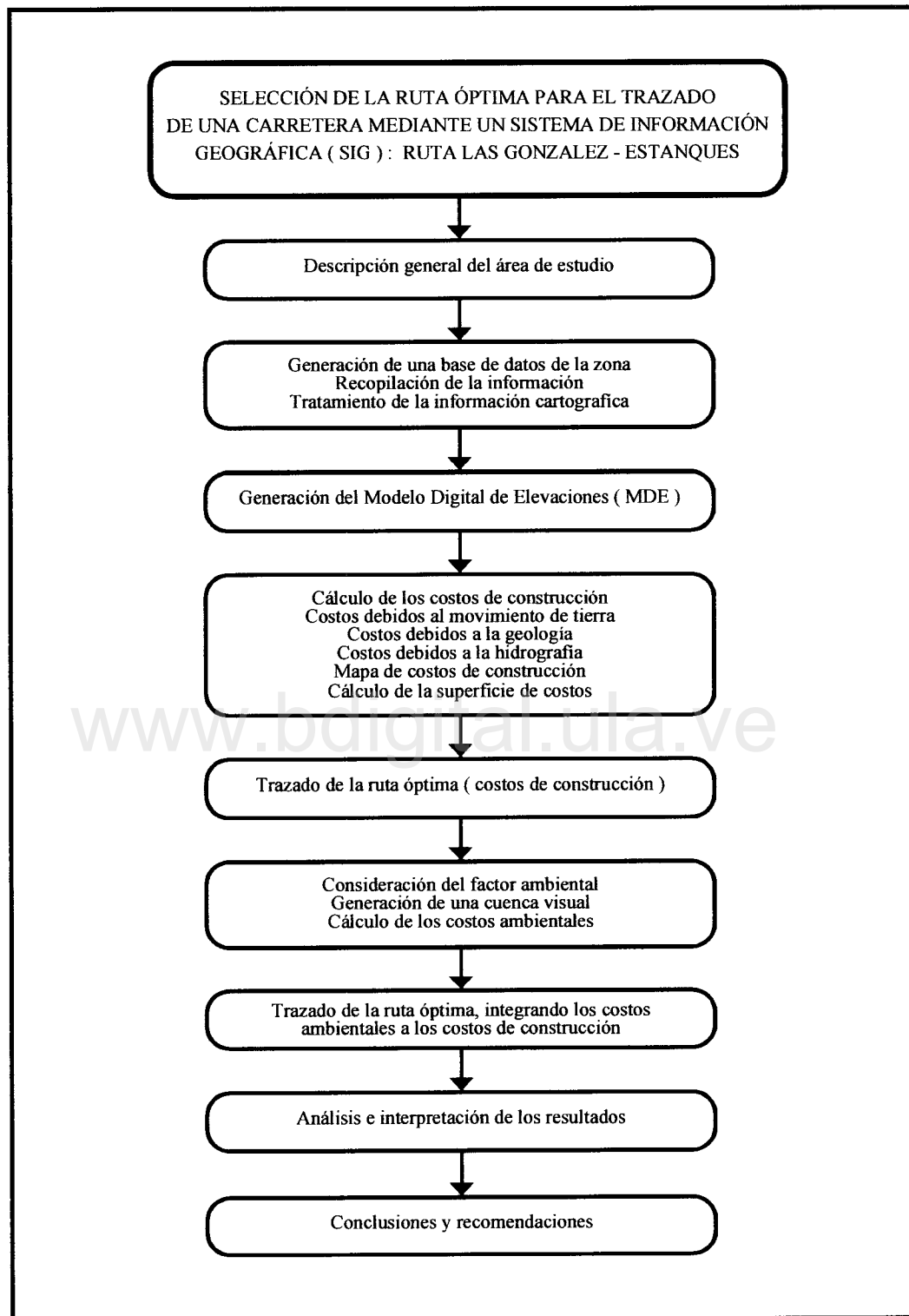


Figura 3. Marco metodológico

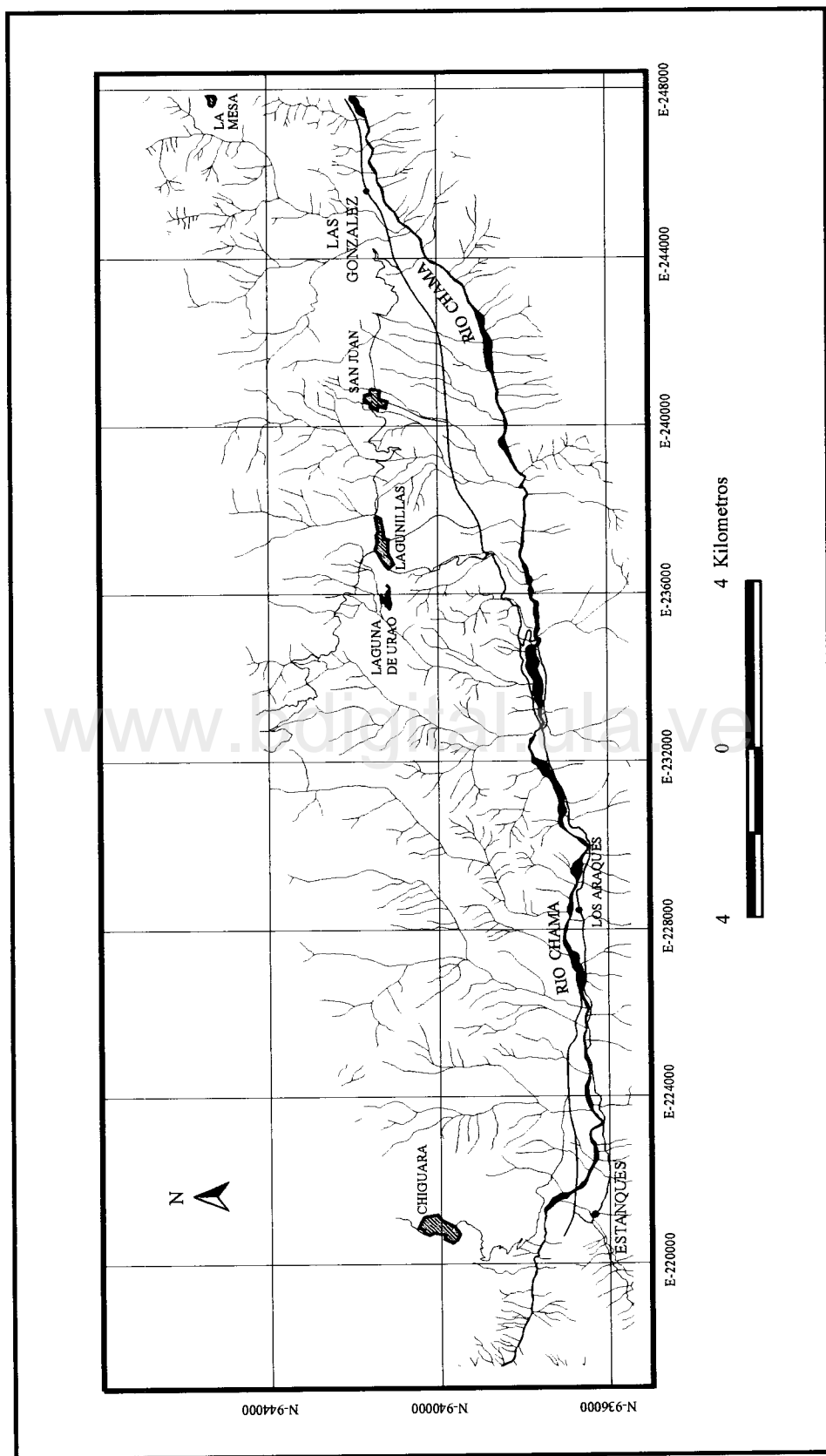


Figura 4. Ubicación del área de estudio.  
Fuente: cartas 1: 25000 de Cartografía Nacional del año 1952 y planos del MTC a escala 1:5000 del año 1972.

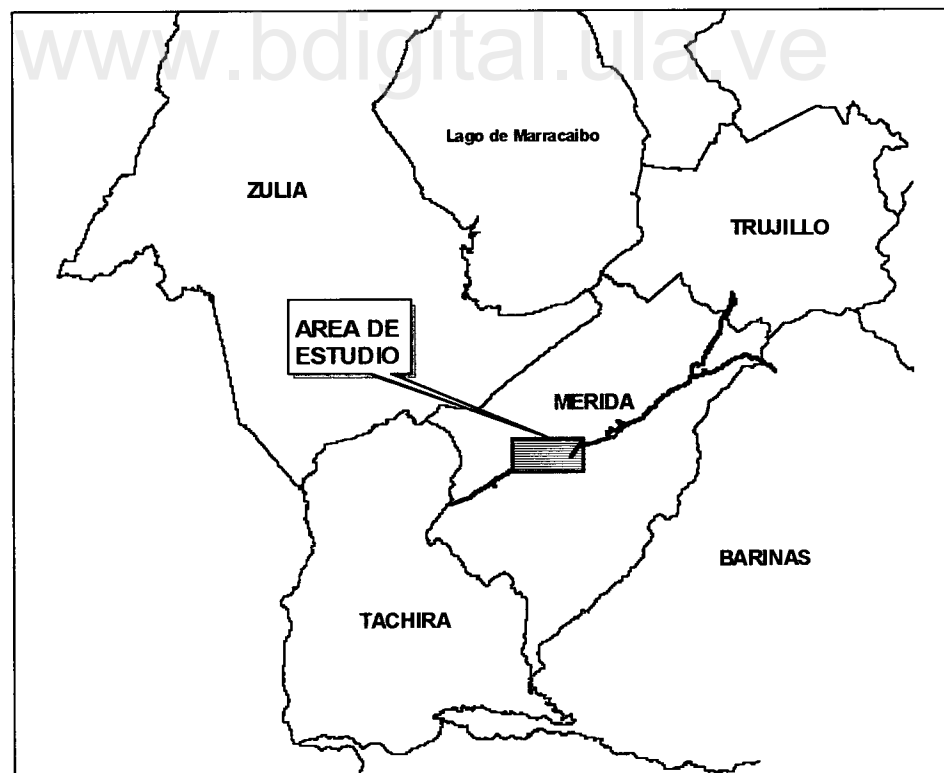
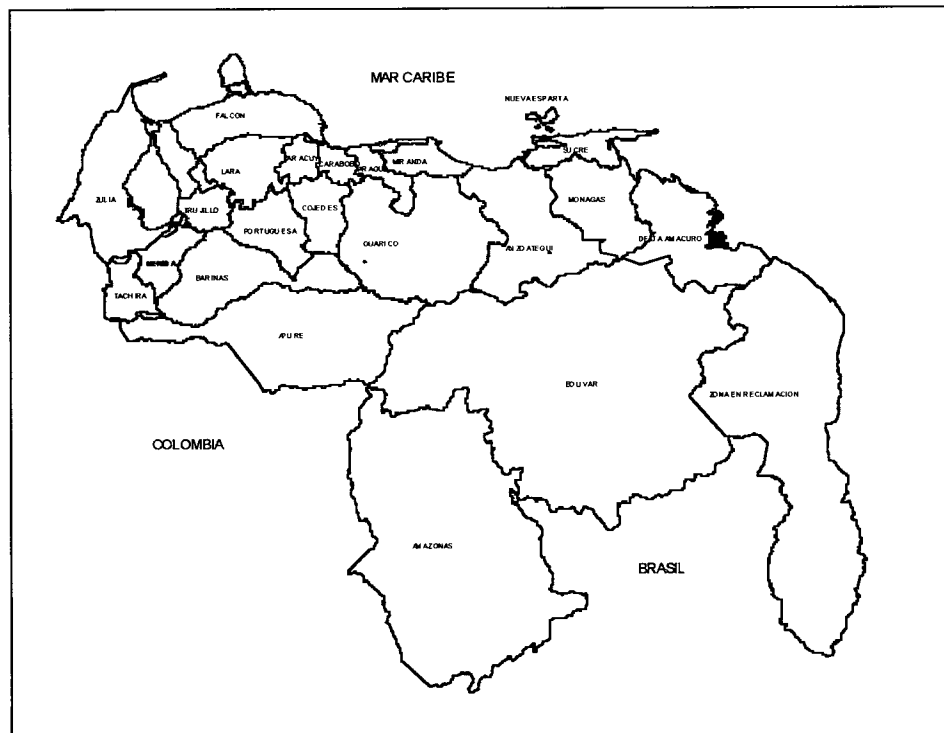


Figura 5. Ubicación relativa nacional y regional.

La Seca, La Maruchí, El Cenicero, El Guey y El Anís provenientes de la vertiente derecha, y las quebradas de la Viscaina, San Pablo y Los Limos que drenan por la vertiente izquierda.



Figura 6. Río Chama, sector ubicado a unos 6 Km. aguas arriba de Estanques, visto desde la margen derecha del río. Se observa el puente que comunica con la carretera vieja hacia Estanques.

### 3.2.2 Suelos

La zona está constituida por diferentes tipos de suelos, que podrían clasificarse en tres grupos. En el primer grupo se tienen los suelos del fondo del valle, de la llanura aluvial reciente del río Chama, susceptibles a las inundaciones; estos son permeables, sueltos y con contenido de materia orgánica. En el segundo grupo se tienen los suelos de conos y terrazas, con bajo contenido de materia orgánica, sometidos a procesos de calcificación, con granulometría desde arcillas hasta gravas, envolviendo materiales gruesos (piedras y peñones), localizados en terrenos de los Llanos del Anís, Llanos del Gigante, Lagunillas, San Juan de Lagunillas, Llanos de San Antonio y Las González, y por ultimo, en el tercer grupo, se tienen los suelos sobre las vertientes, poco

profundos , esqueléticos, pedregosos y rocosos, con bajo contenido de materia orgánica (Figura 7).



Figura 7. Vertientes con escaso contenido de materia orgánica, muy afectadas por cárcavas y en algunos casos por torrentes activos, formando frecuentemente paisajes de bab-lands, sector Las González.

### 3.2.3 Clima

El clima se caracteriza por ser cálido y seco durante la mayor parte del año, con precipitaciones irregulares y torrenciales durante los meses de abril y octubre, situación completamente diferente a la presentada en los demás sectores de la cuenca del río Chama, esto es debido a que esta zona se localiza dentro de la región semiárida de la cuenca media inferior del río Chama, llamada Bolsón Climático Anómalo de Lagunillas.

### 3.2.4 Geología

La zona se conforma por un conjunto montañoso de origen fundamentalmente fini-terciario, es decir, Mioceno - Plioceno e incluso, de comienzos del Pleistoceno, cuando la cordillera experimentó el máximo de su levantamiento tectónico. Por consiguiente, se trata de un edificio montañoso muy joven, todavía hoy en proceso lento, pero de ininterrumpido alzamiento, a una tasa calculada de aproximadamente 1 mm/año (UFORGA, 1997).

En lo esencial, el área se dispone a manera de alargada depresión, longitudinalmente entre dos ejes mayores de relieve cordillerano: La Sierra Nevada, al sur y la Sierra de La Culata, al norte. Ambas sierras pueden asimilarse a dos grandes pilares o horsts, delimitados por grandes líneas de fallas paralelas (Figura 8), razón por la cual a dicha depresión, drenada longitudinalmente por el río Chama, tradicionalmente se le ha considerado como una estructura geológica en forma de graben o fosa tectónica, siendo, a su vez, en gran medida una cuenca de tracción, en lenguaje geológico más moderno.

La estructura geológica del área en fosa tectónica es lo que, precisamente, le ha conferido su carácter deprimido respecto al relieve circundante y por ello, se trata de una zona receptora de todo un complejo rocoso pre-cuaternario y de aluviones cuaternarios que han terminado por rellenar la depresión tectónica y topográfica en cuestión. Estructuralmente se trata, entonces, de una debilidad cortical mayor de la cordillera de Mérida, expresada principalmente en fallas geológicas paralelas al eje mayor andino de sentido SW - NE y secundariamente, perpendiculares al mismo.

Justamente la debilidad cortical mayor, extendida longitudinalmente la constituye la gran falla de Bocono, o mejor, la zona de fallas de Bocono, cuya traza principal y derivaciones secundarias afectan notoriamente el área de estudio. Todo el complejo de fallas del área, ya sean longitudinales o perpendiculares, la han afectado tectónicamente durante el Neógeno y a lo largo del Cuaternario, produciendo levantamiento y hundimiento de bloques corticales, así como fallamiento rumbo - deslizante al estilo de la falla de Boconó. De manera que la inestabilidad estructural centro-andina se prosigue

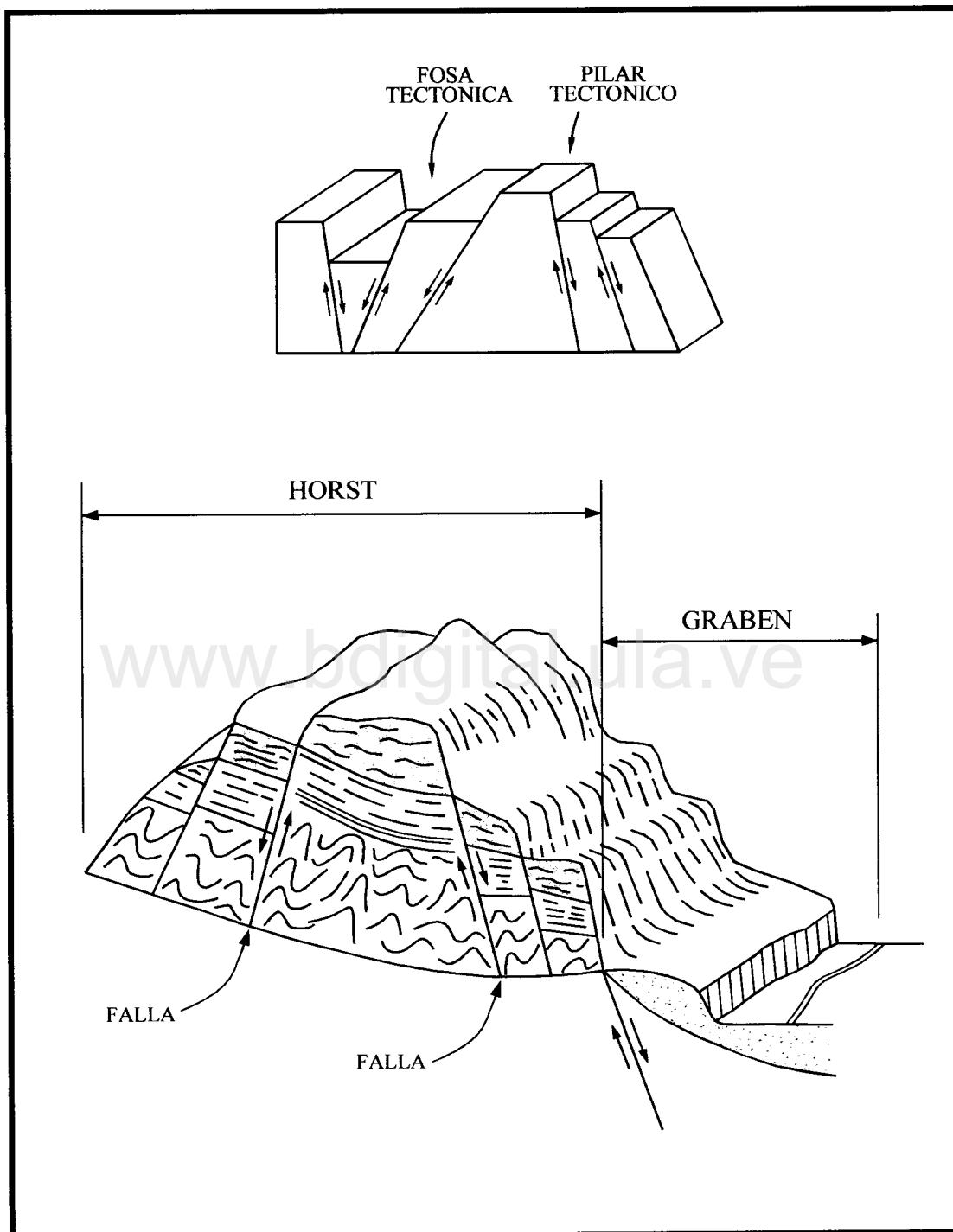


Figura 8. Estructura geológica idealizada del área de estudio  
Fuente: UFORGA, 1997

hasta hoy y de aquí la intensidad sísmica que tan frecuente y notoriamente se manifiesta en el ámbito geográfico de a zona (UFORGA, 1997).

En la tabla 2, se indican las formaciones geológicas que afloran en la zona, así como sus características litológicas predominantes.

Tabla 2. Formaciones geológicas de la zona.

Periodo Geológico	Formación Geológica	Características Litológicas predominantes	Símbolo
Cuaternario sin diferenciar	Sin nombre específico Aluviones formando abanicos y terrazas	Depósitos aluviales formando terrazas, abanicos torrenciales o una combinación de ambas formas, relleno de valles longitudinales y transversales. Granulometría muy heterogénea con predominio de elementos gruesos a muy gruesos, muy mal escogidos y en general pobre estratificación, con grados diversos de consolidación, pero generalmente poco o muy pocos consolidados, propensos a la erosión de bordes por escurrimiento concentrado y socavación basal. Los depósitos más bajos generalmente tienen altos riesgos por inundaciones periódicas. Son los terrenos con menos restricción de uso.	Qsd
Secundario Cretáceo – Inferior	Sin diferenciar, incluye Capacho Aguardiente Apón-Río Negro	Incluye: areniscas conglomeráticas y arcosas de grano grueso con estratificación cruzada. Bien consolidadas. Intercalaciones de lutitas de colores claros, grises y amarillos (F. Río Negro). Resistentes a la erosión cuando no está meteorizado. También calizas densas y duras con intervalos de lutitas de colores claros (F. Apón tipo miembro Guaimaros). Se agregan intervalos de areniscas con calizas y lutitas negras propias de la F. Aguardiente. El conjunto incluye calizas duras fasilíferas y limolitas en menor ocasión (F. Capacho). Poca a mediana erosión.	Kisd
Secundario Jurásico	La Quinta	Complejo rocoso sedimentario de origen continental de color típico rojo y vino tinto. Bancos de areniscas y conglomerados con intercalaciones de limolitas y lutitas. En el área el complejo rocoso está generalmente muy fracturado por acción tectónica, por lo cual se presenta inestable, propenso a los movimientos en masa y erosión lineal profunda.	JLq
Paleozoico - Superior	Palmarito	Unidad de rocas sedimentarias arcillosas formada por alternancia de lutitas, margas y areniscas; a veces calizas delgadas y grises. El conjunto es muy arcilloso, mal consolidado y blando, muy propenso a la erosión en masa.	Psp
Paleozoico - Superior	Sabaneta	Rocas clásicas de origen continental, en buena parte producto de intensa actividad tectónica, formando brechas grises a violáceas bien consolidadas y duras. También incluye areniscas cuarzosas gris a gris verdoso, gradando hacia lutitas, limolitas y areniscas rojas a violeta. Las lutitas y limolitas aparecen meteorizadas y blandas, mal consolidadas, propensas a la erosión de diversos tipos.	Pss
Paleozoico – Inferior	Tostosa	Filitas cuarzo muscovíticas y esquistos micáceos verdes a azul grisáceo; también pizarras y gneises cuarzo-feldespático. Estables cuando no están meteorizados, pero usualmente muy fracturados y meteorizados formando lomerías con suelos rojos espesos arcillosos, fácilmente erodables e inestables. Cuando estas rocas no están meteorizadas forman vertientes muy empinadas.	Pit
Precámbrico Superior	Grupo Iglesias Formación Sierra Nevada	Complejo de rocas metamórficas. Gneises bandeados, gneises biotíticos y gneises graníticos. Esquistos anfibolíticos, esquistos micáceos y granitíferos. También metareniscas y cuarcitas. En general el complejo se presenta bien compactado y estable, conformando vertientes empinadas. Cuando está muy fracturado y meteorizado conforma lomerías redondeadas muy propensas a la erosión en masa y por escurrimiento concentrado.	Peis

Fuente: UFORGA (1997)

### 3.2.5 Geomorfología

El área de estudio, correspondiente a los bioclimas del frío seco, templado seco y cálido seco, se caracteriza por vertientes muy inclinadas que llegan directamente al lecho del río Chama. A esto se suman un régimen de lluvias altamente concentradas, baja cobertura vegetal, y alto grado de remoción del afloramiento rocoso, lo cual favorece la presencia de fuertes procesos erosivos y movimientos en masa que configuran un paisaje generalizado de acaravamiento y derrumbes conocido como relieve de “badlands”. En este sector la presencia de cárcavas y surcos activos, conjuntamente con la alta torrencialidad de la lluvia y su elevado poder de arrastre de sedimentos, hacen que los procesos geomorfológicos en vertientes tengan un balance morfodinámico favorable a la degradación del relieve, pero además, a que el conjunto de abanicos torrenciales y ubicados al fondo de estas vertientes sean muy inestables, reactivándose durante los periodos de fuertes lluvias.

Los movimientos en masa más frecuentes en esta áreas son los desprendimientos, tipo derrumbes, y diversos tipos de deslizamientos cuya incidencia negativa se hace notar con periódicas afectaciones a la vialidad, a las áreas agrícolas y a algunas unidades residenciales allí construidas.

Los derrumbes y los deslizamientos de tierra son los mecanismos morfogenéticos que en las vertientes requieren mayores niveles de atención y control, a fin de evitar su incidencia negativa sobre la localización de asentamientos humanos, actividades económicas y degradación del paisaje en general (UFORGA, 1997).

La mayor parte del área de estudio se corresponde con conos de deyección formados por las quebradas La Sucia y Las González, El Estanquillo, San Juan de Lagunillas, Lagunillas, Pueblo Viejo y Los Araques, y con las terrazas altas del río Chama localizadas en los Llanos del Anís y Gigante, localizadas al norte y noreste de la localidad de Estanques, así como por las terrazas bajas o vegas inundables de la llanura aluvial reciente del río Chama, y con una parte muy reducida de las vertientes izquierda y derecha del curso de agua antes mencionado (Comisión Estatal de Ordenamiento del Territorio del Estado Mérida, 1998).

### 3.2.6 Usos de la tierra y vegetación natural

El efecto de esta condición climática se refleja en el tipo de vegetación predominante (asociación espinar-cardonal), íntimamente relacionada con los bajos valores de precipitación, inferiores a los 700 mm anuales, tres veces por debajo a los valores de evaporación. Además, en el surgimiento de esta vegetación influye también la gran irregularidad de la precipitación, ya que la mayor parte de ella ocurre de manera concentrada en pocos días, por lo que no puede infiltrarse en el suelo y con ello alimentar los flujos de aguas superficiales y subterráneas del área. A estas condiciones desfavorables se suman las derivadas de la prolongada intervención humana, manifestada principalmente por la tala irracional de las especies dominantes para la obtención de madera y por el sobre pastoreo.

En general, el área presenta un tipo de vegetación semixerofítica de bosque seco espinar degradado, donde predominan los cujíes (mimosáceas), guasábaras (opuntia caribea), cardones (cereus app.), herbáceas, gramíneas y arbustos dispersos adaptados a las condiciones de sequedad del área del Bolsón Semiárido de Lagunillas (Figura 9 y 10).



Figura 9. Cardones, vegetación típica de la zona.



Figura 10. Cardones, vegetación típica de la zona.

El arbustal espinoso ocupa las partes bajas de las vertientes y fondo del valle central de río Chama entre Ejido y Estanques, en la denominada zona semiárida. En él se combinan el bosque de árboles y arbustos espinosos (*prosopis acacia*) y el cardonal.

En el área de estudio también se desarrollan los usos agropecuarios, en San Juan de Lagunillas puede apreciarse un incremento de la intensidad del uso de la tierra en función de los cultivos de caña de azúcar que allí se localizan y de la progresiva expansión de la horticultura de piso bajo que se ha registrado en los últimos años (UFORGA, 1997).

Se destaca la concentración de los usos urbanos en el fondo del valle de la cuenca media del río Chama, zona en la cual la disponibilidad de una mayor extensión de tierras con topografía menos abrupta que en las vertientes, la cercanía de fuentes de abastecimiento de agua en gran cantidad y la existencia de una red de centros poblados, fueron factores determinantes para la concentración de población en el eje comprendido entre Tabay, Mérida, Ejido, San Juan, Lagunillas y Estanques (UFORGA, 1997) (Figura 11 y 12).



Figura 11. Poblado Los Araques, visto desde la margen derecha del río Chama, en dirección Estanques- Las González.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



Figura 12. Nuevo asentamiento poblacional, Conjunto residencial Chama- Mérida, visto en dirección hacia Las González en la margen derecha del río Chama.

C.C. Reconocimiento

Los poblados de la zona se caracterizan por un uso urbano de baja intensidad, los cuales son aquellos núcleos poblados rurales que cumplen funciones de pequeños centros de servicios menores en un área que no sobrepasa los límites parroquiales, y cuya densidad de ocupación es inferior a los 100 habitantes por hectárea. En este caso se encuentran los centros poblados de La Mesa de Ejido, Los Guáimaros, Jají y Chiguará. Sin embargo, por la significación histórica que tuvieron, se adicionaron los caseríos de Las González y Estanques (UFORGA, 1997).

En el área se encuentran también tierras agrícolamente improductivas. Esta categoría de uso engloba una diversidad de tierras donde los severos déficits estacionales del agua y los marcados procesos erosivos limitan severamente el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias. En general, son áreas afectadas por avanzados procesos erosivos o por movimientos en masa. Estas tierras se localizan casi en su totalidad en el fondo del valle y las vertientes inmediatas del sector semixerofítico localizado aguas abajo de Ejido hasta el caserío de Estanques, donde los déficits de agua a lo largo del año, el bajo desarrollo de los suelos, las fuertes pendientes y la torrencialidad de las cortas lluvias, han generado procesos de pérdida y degradación de tierras a través de profundos procesos de cárcavamiento que limitan su aprovechamiento agropecuario (Figura 13).



Figura 13. Tierras agrícolamente improductivas, aguas arriba de Estanques, vista desde la margen derecha del río Chama, hacia Estanques.

### 3.3 Generación de una base de datos de la zona

Generalmente en la selección de la ruta para el trazado de una carretera se maneja un gran volumen de información (*datos*), que es necesaria para la planificación y ejecución de las actividades planteadas; en ciertas oportunidades estos datos son manejados en forma individual (Ejemplo: hidrografía, vialidad, centros poblados, etc.), pero la mayoría de las veces los datos son manejados en conjunto, por lo que se hace necesario vincularlos, para la obtención del producto. Es por ello que se requiere una base de datos digital, que incorpore algunos elementos y características de la zona en estudio, para ser almacenada y procesada en un Sistema de Información Geográfica. El componente espacial de los datos espaciales puede ser representado digitalmente en un SIG a través de dos modelos de datos espaciales: los vectoriales y el *raster*.

En primer lugar, tomando como información primaria, los mapas en formato analógicos (en papel), la base de datos fue llevada a formato digital, en el modelo de datos vectorial, para luego ser transformados al modelo de datos *raster*.

En este sentido, fue necesario realizar una campaña de recogida de información en la ciudad de Mérida para recopilar los datos necesarios.

#### 3.3.1 Recopilación de la información

Los documentos bibliográficos fueron obtenidos, en su mayoría, de un estudio elaborado por UFORGA-ULA para la junta de la Zona Libre Cultural, Científica y Tecnológica del estado Mérida (1997), así como también, de un estudio realizado por la Comisión Estatal de Ordenamiento del Territorio del estado Mérida: Plan de ordenamiento del territorio de la unidad especial eje vial carretera Mérida – Panamericana, sector Las González – Estanques (1998).

Asimismo, se obtuvo información del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) y de La Universidad de los Andes (ULA).

Los mapas bases (curvas de nivel, hidrografía, vialidad y poblados) se tomaron de las cartas topográficas correspondientes a las hojas 5841ISE, 5841IINE, 5941IVSO,



### **a) Digitalización de las curvas de nivel**

En primer lugar se necesita la obtención de la cobertura de curvas de nivel en el modelo de datos vectorial, para lo cual fue necesario el escaneado de las hojas de Cartografía Nacional números 5841ISE, 5841IINE, 5941IVSO, 5941IINO, 5941IVSE y 5941IINE, a escala 1:25.000 que cubren el área objeto de estudio y que contienen las curvas de nivel suplementarias a intervalos de 20 metros, mientras que las principales están cada 100 metros. En este estudio solo se consideraron las curvas de nivel principales (cada 100 metros), con algunas intermedias en las zonas más planas, obteniéndose una buena densidad de curvas.

El escáner permite detectar un cierto número de niveles de gris (o componentes de color) en un mapa original a partir de sensores ópticos. Como resultado de este proceso se obtuvo una matriz de valores de gris. La generación de esta matriz es un proceso simple, pero constituye una información que no es aprovechable directamente para la construcción del modelo digital. Para transformar este conjunto de datos se siguió un proceso de vectorización de estos ficheros en modelo raster, que implicó las siguientes fases:

1. Filtrado: se asignó un valor umbral de gris, de manera que todos los píxeles fuesen asignados a blanco o negro (según defina a una curva o un espacio en blanco), para la mejor delimitación de cada una de las curvas presentes en el mapa.
2. Vectorización: en la imagen contrastada se realizó un proceso de digitalización directa en pantalla, utilizando el programa ARCVIEW3.2, creando simultáneamente la base de datos temática, relacionándola a la información espacial, siendo posible, de esta manera, asignar a cada curva, a partir de un identificador, su valor de altitud. El mapa original ayudó en la toma de decisiones de los lugares conflictivos (áreas donde las curvas se confundían con otros elementos del mapa).
3. Edición y revisión: Se realizó una comparación de las curvas digitalizadas en pantalla con el documento fuente, con la finalidad de detectar posibles errores.

Posteriormente, se procedió a realizar un mosaico de las 6 hojas, convirtiéndolas en una sola mediante un script (rutina programada) incluido en el programa ARCVIEW3.2, para luego ser editadas para la detección y corrección de errores, siendo necesario conectar manualmente muchas de las curvas que en las áreas de solape estaban abiertas. Asimismo, se realizó una verificación de los indicadores (valor de cota) de cada curva (las curvas de nivel digitalizadas se presentan en el anexo I). Una vez terminado este proceso, y considerando preparada la cobertura, el archivo es transferido al formato del programa IDRISI, en donde es rasterizado, adaptándolo a la zona de estudio, con un tamaño del píxel de 15\*15 metros, generándose un archivo de salida de 776 filas y 2020 columnas. Este tamaño del píxel se justifica por el hecho de que este modelo será, en fases posteriores, tratado con otras coberturas como la de los ríos, en la que el río Chama tiene un ancho mínimo en ciertos sectores de 31 m. aproximadamente, por lo que con este tamaño del píxel se lograría una buena representación del río Chama y de las otras variables consideradas en el estudio. La rasterización del archivo se llevó a cabo mediante el comando LINERAS<sup>1</sup> de la opción Transformar/conversión/ *raster*/vectorial, el cual permite rasterizar archivos vectoriales de líneas.

#### **b) Proceso de interpolación de altitudes**

A partir de la capa de curvas de nivel rasterizadas, se procedió a la interpolación de las altitudes para los demás píxeles del área. Para ello, se requería abordar un procedimiento de interpolación espacial. Con esta finalidad se utilizó un algoritmo de interpolación lineal entre dos puntos en la dirección de la pendiente más pronunciada en el punto a interpolar, este es el que ofrece mejores resultados (Barredo, 1995; Bosque, 1992).

Este procedimiento se realizó con el comando INTERCON, en la opción Entrada de datos / Interpolación espacial del programa IDRISI, obteniendo como salida el MDE.

<sup>1</sup> Ver glosario de comandos del programa IDRISI versión 2.010 bajo Windows, en el Anexo III. A partir de este momento, cada vez que se haga referencia a un comando, su explicación aparecerá en este Anexo.

### c) Detección y corrección de errores

El proceso de detección de errores se inició en el momento de la edición de la capa de curvas de nivel. Aquí fue posible detectar asignaciones anómalas de algunas curvas incompletas. Este proceso fue realizado en la cobertura original con el programa ARCVIEW3.2.

Posteriormente, y una vez obtenido el MDE, se procedió a inspeccionar visualmente los resultados. Para ello, se utilizaron las siguientes opciones del programa IDRISI: visualización tridimensional y la producción de nuevos modelos a partir del MDE, tal es el caso de la iluminación, las orientaciones y las pendientes.

Con estas opciones es posible detectar errores asociados con curvas de nivel con identificadores de altitudes erróneas y problemas derivados de una baja densidad de curvas de nivel en algunas áreas, como serían los efectos de “estrella” (aparecen unas rallas estrelladas) y de “terraceado” (quedan las zonas como en bancadas). En nuestro caso, en las zonas bajas (confluencia del río Chama con el río Mocoties) se presentaron efectos de terraceado (zona con pocas curvas de nivel) y en las zonas de cumbres de montañas, donde las curvas de nivel formaban ángulos agudos se presentaron efectos de estrella. En principio, observando sólo el MDE no se detectaron ni “estrellas” ni áreas “terraceadas”.

Para solucionar el problema se usó un filtro de media con una ventana móvil de 7\*7 píxeles, de cara a suavizar los contrastes espaciales presentes en la imagen. Este filtro se aplicó tres veces. Al aplicar los filtros los valores originales van variando. Se puede aplicar varias veces un filtro, pero de esta forma se pierde cada vez más precisión.

Superponiendo la capa vectorial de curvas de nivel al MDE, se obtienen los valores de las alturas por pantalla, mediante el cursor. Podemos observar en la tabla 3, que con el MDE original, los valores de altura se correspondían con los de las curvas de nivel. Al aplicar los filtros se perdió un poco el valor original de altura sobre el mismo píxel, pero esta diferencia es muy poca para la escala en que se está trabajando y para el objetivo que se quiere cumplir.

Tabla 3. Comparación de la variación de la altura después de ser aplicado el filtro.

PÍXEL	MDE SIN FILTRO	MDE (1 VEZ) FILTRO DE 7*7	MDE (2 VECES) FILTRO DE 7*7	MDE (3 VECES) FILTRO DE 7*7
Columna = 1591 Fila = 124	Z = 1900	Z = 1903.948	Z = 1904.443	Z = 1904.839
Columna = 1586 Fila = 116	Z = 2000	Z = 1997.266	Z = 1994.545	Z = 1992.374
Columna = 202 Fila = 301	Z = 1100	Z = 1097.630	Z = 1096.592	Z = 1095.726
Columna = 969 Fila = 745	Z = 1400	Z = 1397.248	Z = 1395.884	Z = 1394.406

Al aplicar el filtro de media de 7\*7 tres veces, podemos apreciar que la visual del mapa de pendientes y orientaciones mejoro considerablemente.

Con una buena densidad de curvas de nivel, se ha comprobado la fiabilidad de este algoritmo para la interpolación del MDE, con errores inferiores a 30 m. a partir de mapas a escala 1:50.000 (Chuvieco y Salas, 1993).

La figura 14 muestra el MDE obtenido finalmente, MDE con filtro de media de 7\*7 aplicado tres veces. En el anexo II se hace la verificación del MDE.

### 3.5 Cálculo de los costos de construcción

La localización de una carretera está influenciada por la topografía, las características geológicas y de los suelos, el drenaje, la necesidad de preservar la integridad física, social y ambiental de la zona perturbada por el paso de la vía, y el uso de las tierras atravesadas. Es imprescindible que la vía sea lo más directa entre los puntos de paso obligado, para que los costos de construcción no resulten muy altos, que a la vez, las pendientes y curvaturas se mantengan dentro de ciertos intervalos de valores razonables, y así, los costos de funcionamiento también serán razonables.

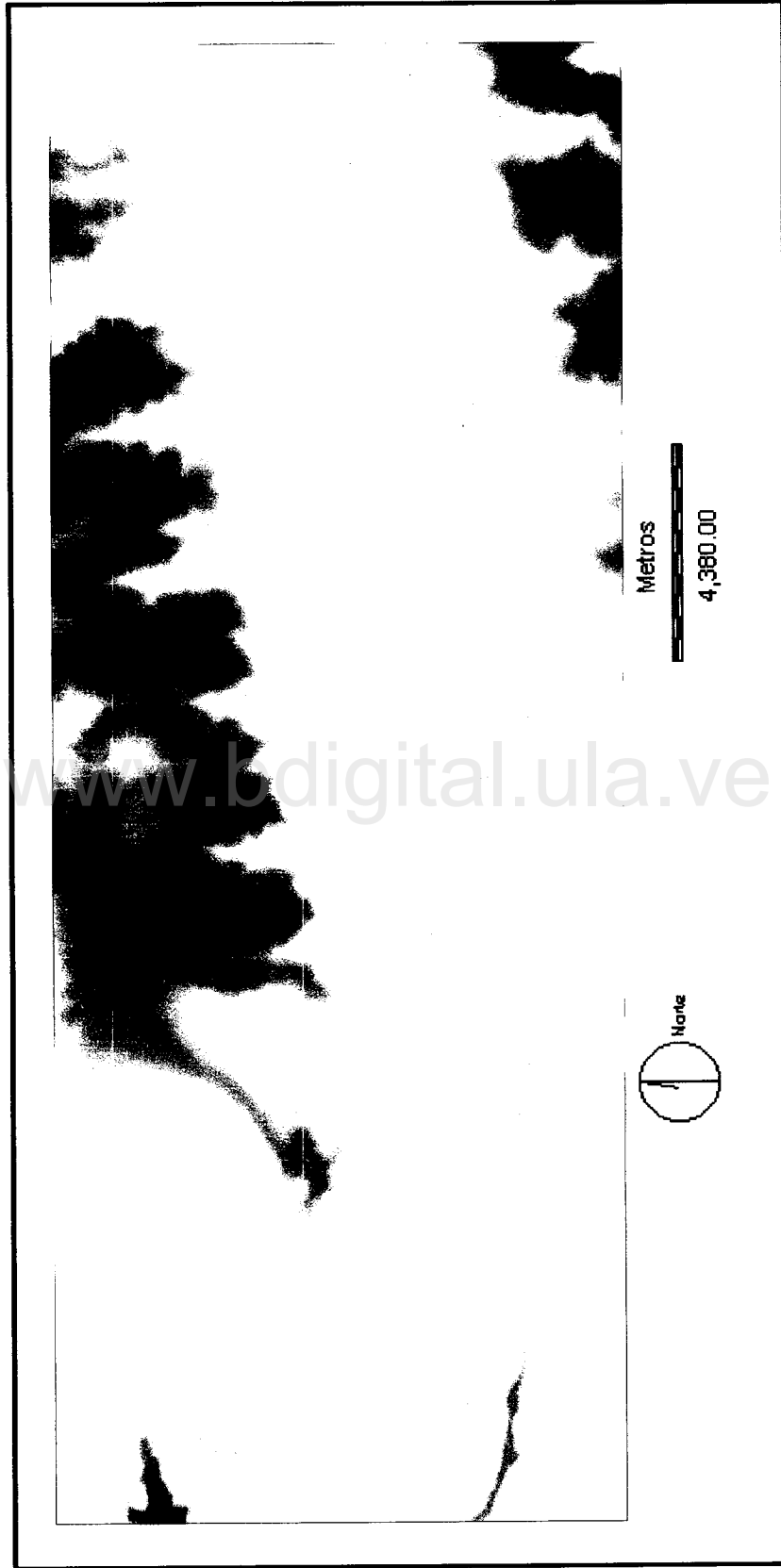


Figura 14. Modelo Digital de Elevaciones. Los colores rojizos corresponden a las mayores alturas del terreno, los colores amarillos y verdes corresponden con las alturas intermedias y los colores azules corresponden con alturas bajas del terreno.

Todos los costos se han referido a una unidad base de ejecución, a la que se le ha dado un valor de uno. Este valor, tiene un significado económico (monetario) relativo al costo de desplazamiento a través del territorio. Un valor de 1, representa el costo base de construcción, menor costo de desplazamiento; es decir, un valor de 2 indicara que el paso de la vía por ese píxel costara un esfuerzo doble y por lo tanto el costo será el doble, un valor de 0.5 indicara la mitad del costo, etc.

Los costos de construcción tomados en cuenta son:

- Costos debidos al movimiento de tierra
- Costos debidos a la geología (considerándolos en función de la litología)
- Costos debidos a la hidrografía

### 3.5.1 Costos debidos al movimiento de tierra

Para el cálculo de los costos debidos al movimiento de tierras se calculó la altitud del terreno (cota terreno) en referencia con la altura base de la carretera (cota rasante).

Para poder realizar este cálculo, previamente se calculó la pendiente media de la carretera (pendiente gobernadora), entre el punto de origen y el punto de destino. En este caso, la altitud de Las González (origen) es de 829,658 m.s.n.m., mientras que Estanques (destino) está situado a 499,9995 m.s.n.m. Teniendo en cuenta la distancia que separa ambos poblados (24.85 Km.), la pendiente media de la carretera es:

$$P = \frac{\Delta H}{d_{ob}} = \frac{(499,9995 - 829,658)}{24848,85145} = - 0.013266548 = - 1.3266548 \%$$

A partir de estos datos, se puede calcular la “*altura libre de cada punto*”, que se define como la diferencia entre su altitud y la altitud de la rasante en ese punto (Figura 15).

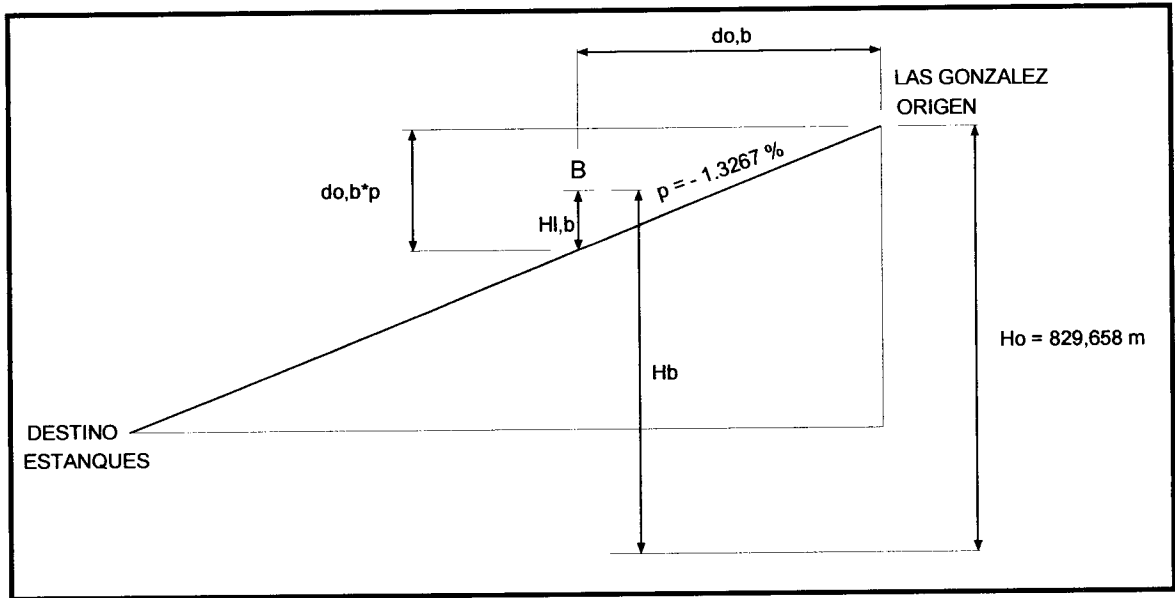


Figura 15. Cálculo de la altura libre ( $H_{l,b}$ ) de un punto a partir del modelo digital de elevaciones

$$H_{l,b} = H_b - (H_o + d_{o,b} * P)$$

donde:

$H_{l,b}$  = altura libre de un determinado punto B

$H_b$  = altura de ese punto B

$H_o$  = altura del punto origen

$d_{o,b}$  = distancia entre el punto origen y B

P = pendiente entre la línea recta que une los puntos extremos:  
Origen – Destino (pendiente gobernadora).

Siendo:

$H_b$  = MDE = altura del terreno en cada uno de los píxeles (cualquier punto B)

$$H_{l,b} = \text{MDE} - (829,658 + d_{o,b} * -0,013266548)$$

$$H_{l,b} = \text{MDE} - 829,658 + d_{o,b} * 0,013266548$$

### Imagen de distancias ( $d_{o,b}$ )

La imagen de distancia representa la distancia Euclidiana (en metros, kilómetros, etc.), en línea recta, entre cada celda y la más próxima de una serie de elementos de referencia, que en este caso sería el poblado Las González. Por lo tanto, permite generar un mapa de proximidad de una zona respecto a uno o varios píxeles de referencia. Para crear esta capa se rasterizó un punto que representa la ubicación del punto origen (poblado Las González), copiando los parámetros espaciales de la imagen del MDE. Luego se calculó la distancia euclidiana entre el punto de referencia (en este caso la etiqueta localizada en el poblado Las González) y todas las celdas que componen la rejilla *raster*. El procedimiento planteado se realizó con el comando DISTANCE, de la opción Análisis / Análisis de distancia del programa IDRISI 2.010. De esta manera se obtuvo una imagen de distancias partiendo desde el poblado Las González (Figura 16).

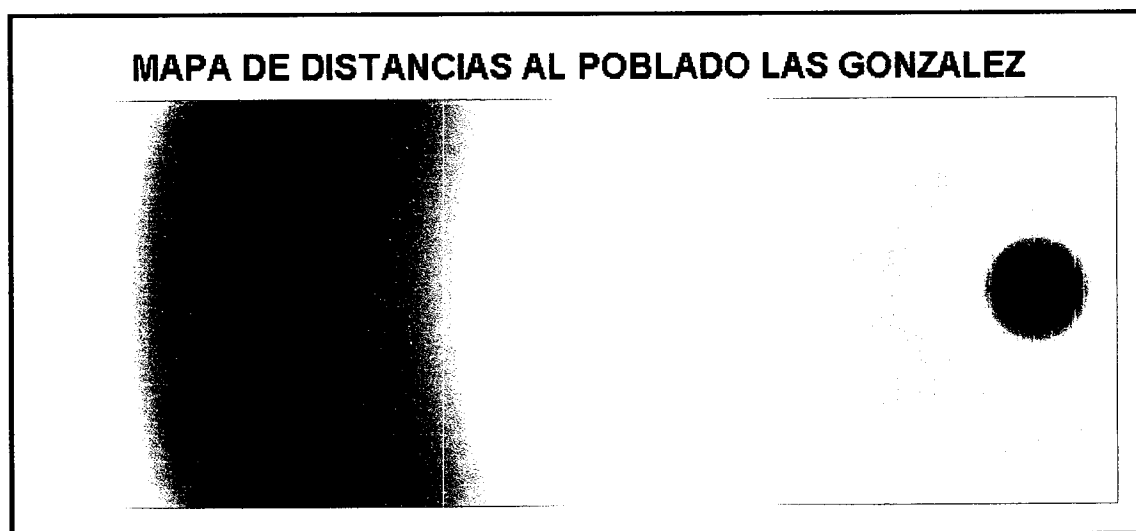


Figura 16. Distancias al poblado Las González. Los colores rojizos corresponden a las distancias más alejadas del punto de origen (poblado Las González), representado por el centro del círculo en color negro, correspondiendo este punto a una distancia igual a cero metros.

Calculada la imagen de distancia se procedió a obtener la imagen que representa la altura libre (altura base) para cada punto ( $H_{l,b}$ ). Este cálculo se realizó mediante el operador de imágenes (expresión matemática) del programa IDRISI y se representa esquemáticamente en la figura 17.

Esta altura base sirve para calcular los costos asociados al movimiento de tierras. En la metodología propuesta por Gómez y otros (1995), se determinó un costo unitario para los píxeles que tuvieran la misma altura de la rasante, siendo los costos de cada píxel en corte y relleno:

$$\text{Corte} = H_{l,b} / 15 \quad \text{si} \quad H_{l,b} > 0$$

$$\text{Relleno} = H_{l,b} / 10 \quad \text{si} \quad H_{l,b} < 0$$

Las áreas de corte se identificaron por aquellos píxeles en donde la altura base fuese positiva (esto es, donde la altura libre del punto estuviese por arriba de la rasante), mientras que en caso contrario, se requería un relleno o terraplén. El cálculo se realizó en dos pasos, recodificando el mapa de altura base a dos rangos (positivos y negativos), para aplicarle los oportunos costos relativos, y volviendo a fundir los dos mapas una vez calculados los costos. Esto se realizó con los comandos de manipulación aritmética del programa IDRISI 2.010, en este caso el operador de imágenes, en donde previamente se aplicó una expresión lógica, para determinar los valores mayores de cero ( + ) en una y los valores menores de cero ( - ) en otra. De esta forma se obtuvieron imágenes booleanas (valores de uno y cero), las cuales se multiplicaron por separado con la imagen de altura base para obtener el mapa de altura base positivos y el mapa de altura base negativos.

$$\text{Negativo} = (H_{l,b}) < 0 \quad \text{Operador lógico}$$

$$H_{l,b} \text{ negativo} = (\text{Negativo}) * (H_{l,b}) \quad \text{Mapa de altura base negativos}$$

$$\text{Positivo} = (H_{l,b}) > 0 \quad \text{Operador lógico}$$

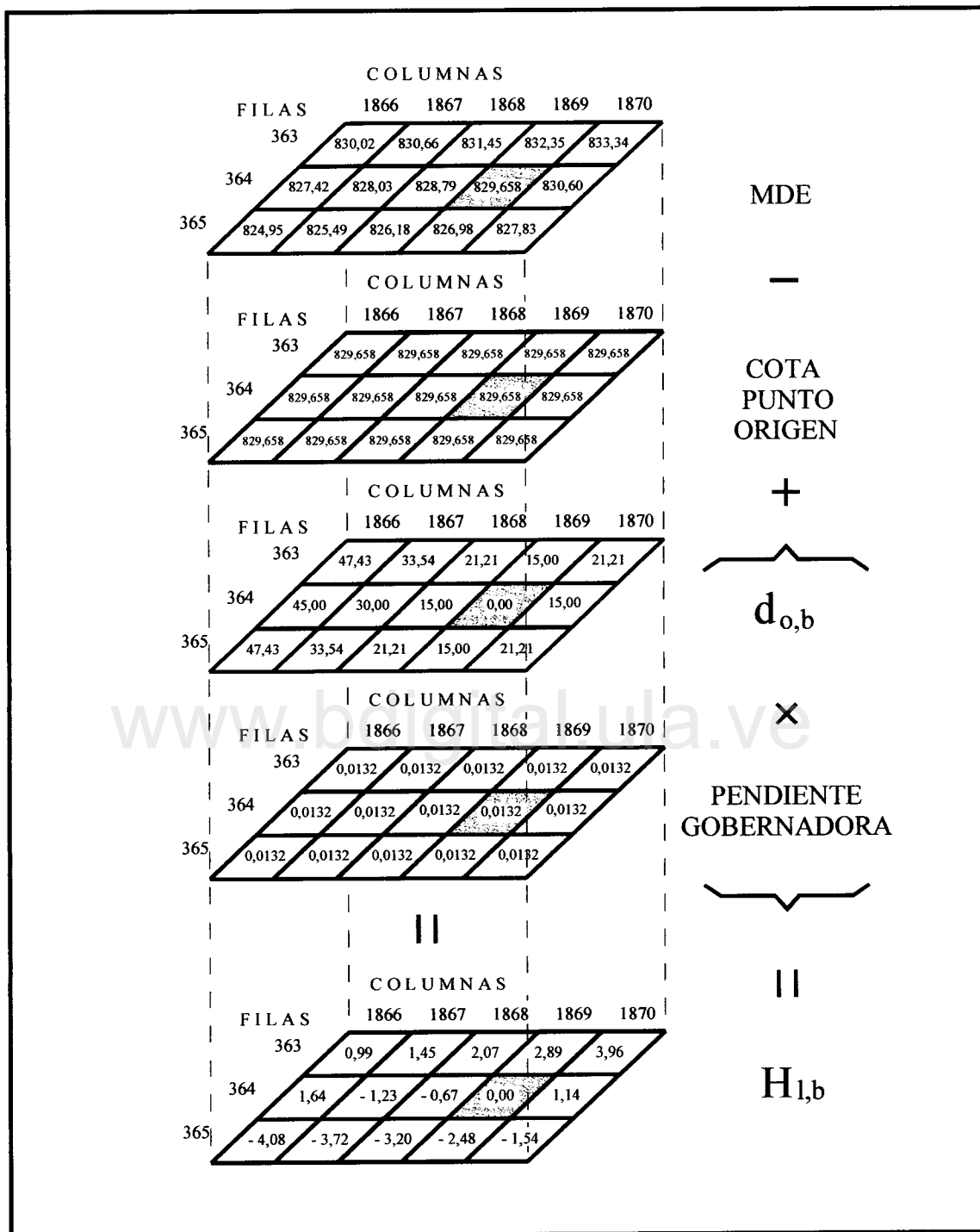


Figura 17. Representación esquemática del cálculo de la imagen de la altura libre de cada uno de los puntos del terreno ( $H_{1,b}$ ). Puede apreciarse que las operaciones se realizan entre los mismos píxeles (misma fila y misma columna) de los diferentes mapas. Se tomó como referencia un pequeño sector ubicado alrededor del punto origen (poblado Las González), cuya fila corresponde a la 364 y columna 1869.

$H_{l,b} \text{ positivo} = (\text{Positivo}) * (H_{l,b})$       Mapa de altura base positivos

Obtenidos estos mapas se le aplicaron los costos relativos a cada uno de ellos:

$$\text{Corte} = (H_{l,b} \text{ positivo}) / 15$$

$$\text{Relleno} = -(H_{l,b} \text{ negativo}) / 10$$

Para el cálculo del relleno se multiplicó por -1 para obtener la altura base en valor positivo. El signo negativo del mapa solo indica que es un valor de relleno.

Aplicados los costos se funden nuevamente en un solo mapa llamado NIVEL:

$$\text{Nivel} = \text{Corte} + \text{Relleno}$$

Esta imagen NIVEL, representa los costos debidos al movimiento de tierra (Figura 18).

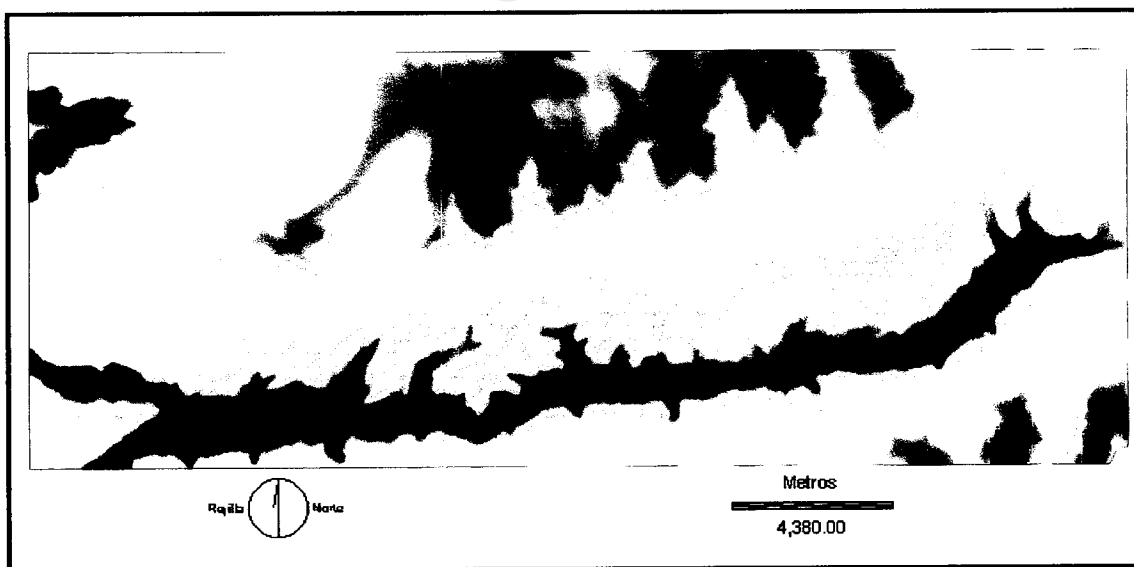


Figura 18. Costos debidos al movimiento de tierra. Los colores corresponden a valores de costos de construcción. Los colores rojizos representan los costos más altos, los colores amarillos y verdes representan costos intermedios, los colores azules representan costos bajos y el color negro representa valores muy próximos a cero (casi ningún costo).

### 3.5.2 Costos debidos a la geología

Para el cálculo de los costos debidos a la geología, se tomó como criterio, considerar las zonas con mejores condiciones geológicas desde el punto de vista de la evaluación de las unidades litológicas de las formaciones existentes en la zona.

A partir del criterio establecido y considerando las peores situaciones, se valoraron las diferentes formaciones geológicas, tomando como referencia la tabla 2 (pagina 29), en la cual se describen las características litológicas predominantes de cada una de ellas. Para tal fin se realizó una entrevista con el profesor Richard Schargel (Profesor Titular de Agronomía de la UNELLEZ) conocedor de estas formaciones, el cual hizo una estimación de un puntaje entre 1 y 5 para estas categorías, en donde 1 representa el menor costo de construcción y 5 el mayor, de acuerdo con la tabla 4.

Tabla 4. Valoración de las diferentes formaciones geológicas.

Símbolo	Formación geológica	Valoración
Qsd	Sin nombre específico. Aluviones formando abanicos y terrazas	1
Kisd	Sin diferenciar, incluye Capacho, Aguardiente, Apon – Río Negro	2
Peis	Grupo Iglesias. Formación Sierra Nevada	2
Pit	Tostosa	3
Pss	Sabaneta	4
JLq	La Quinta	5
Psp	Palmarito	4

Las zonas de mayor calidad para el trazado de la vía son las ocupadas por los aluviones formando abanicos y terrazas (Qsd), mientras que aquellas áreas ocupadas por la formación La Quinta (JLq), donde se presenta inestabilidad, es propensa a los movimientos en masa y tiene una erosión lineal profunda, representa el mayor costo de construcción.

A la capa de geología rasterizada, se le asignaron estos valores mediante el comando ASSING del programa IDRISI, de esta manera se recodificó la variable

geología, convirtiéndola de cualitativa en cuantitativa, obteniendo la capa LITOLO, la cual representa los costos debidos a la geología (Figura 19).

A las zonas que no pertenecen al área de estudio (en color rojo), se les asignó un valor alto (al igual que a los poblados y a la laguna de Urao), con la finalidad de que estas zonas no sean consideradas en el trazado de la ruta óptima.



Figura 19. Costos debidos a la geología.

### 3.5.3 Costos debidos a la hidrografía

La importancia de los estudios hidrográficos, es que de estos se determinan las obras de arte que se requieran construir. Se deben considerar variables tales como: profundidad y anchura del drenaje, si hay que construir un puente, un pontón, un cajón, etc., por lo que debe buscarse que el drenaje sea sencillo para reducir el número y tamaño de las obras que exige.

En este sentido debe considerarse un costo añadido en todos los cursos de agua considerando estos factores.

En la zona de estudio existen cursos de agua importantes, como el río Chama que es el curso de agua principal de la zona, los demás son ríos tributarios de este y algunos también son importantes, como por ejemplo el río Las González. Sin embargo solo el río Chama pudo ser digitalizado en forma de polígono, considerando así su verdadero

ancho; los ríos tributarios no se pudieron actualizar por no disponer, ni de las fotos, ni de las imágenes de satélite de la zona, por lo que se digitalizaron en forma de línea (ancho del píxel). Tampoco se disponía de la información correspondiente a la profundidad de cada uno de ellos, por lo que esta valoración fue arbitraria, aunque lógica desde el punto de vista de la importancia relativa a los tipos de ríos a ser atravesados. De esta forma se consideró la valoración según la tabla 5.

Tabla 5. Valoración de la hidrografía.

<b>RIO</b>	<b>COSTO</b>
PRINCIPAL	4
SECUNDARIO	2
INTERMITENTE	1.5

Al río principal que sería el río Chama se le dio el mayor valor, considerándolo de esta manera como una barrera para el trazado de la ruta óptima, por representar los mayores costos para el desplazamiento.

Para poder asignar estos valores a la capa de hidrografía, previamente se unieron las capas rasterizadas del río principal digitalizada en forma de polígono (río Chama) y los ríos secundarios e intermitentes, digitalizados en forma de línea. Esta operación se realizó mediante el comando OVERLAY del programa IDRISI, con la opción: Primera enmascara a segunda (salvo en 0). Mediante esta opción se asigna el valor de la primera imagen (río Chama) al píxel de salida, excepto cuando este valor sea cero, en cuyo caso el píxel de salida adopta el valor de la segunda imagen (ríos secundarios), de esta forma se asegura que los ríos tributarios que llegan al Chama, se corten y solo tengan el valor que le corresponde hasta el límite con el río Chama.

A la capa de hidrografía rasterizada, se le asignaron los valores mediante el comando ASSING del programa IDRISI, de esta manera se recodificó la variable hidrografía, convirtiéndola de cualitativa en cuantitativa, obteniendo la capa RIOS, la cual representa los costos debidos a la hidrografía (Figura 20).

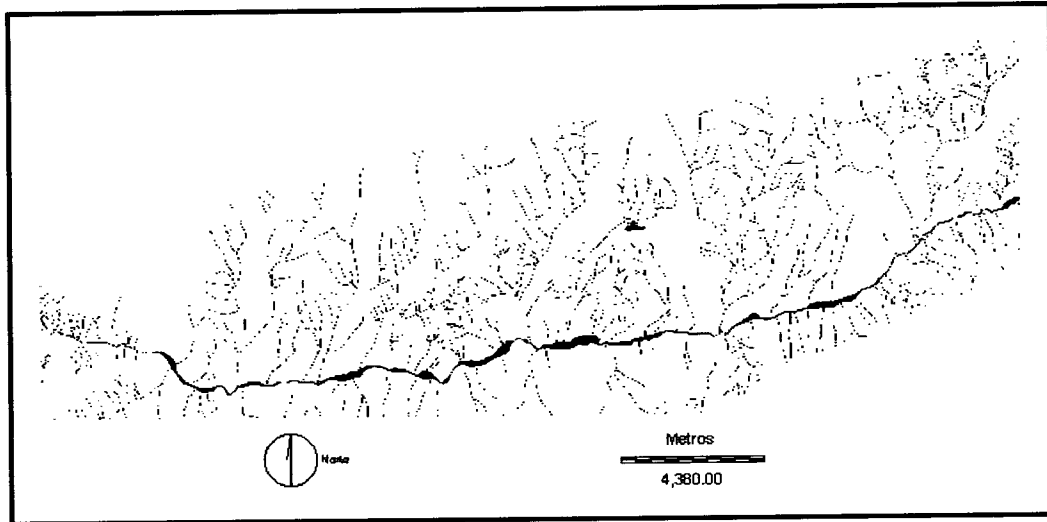


Figura 20. Costos debidos a la hidrografia. El río Chama corresponde con el mayor valor de costos = 4, los ríos secundarios e intermitentes = 2 y 1.5 respectivamente, la laguna de Urao con un valor alto = 100 y el valor de fondo en color blanco con un valor = 1

A la laguna de Urao, cerca de Lagunillas, se le dio un valor muy alto (al igual que a los poblados y a las zonas que no pertenecen al área de estudio), con la finalidad de que estas zonas posteriormente sean rechazadas en el trazado de la ruta de menor costo.

### 3.5.4 Mapa de Costos de Construcción

Una vez evaluados los factores tomados en cuenta en los costos de construcción, se procede con la superposición de cada una de las capas, obteniéndose los costos totales de construcción. Puesto que cada celdilla (píxel), dentro del SIG, tiene valores en cada una de estas variables, puede obtenerse la distribución espacial de este índice de costos para toda la zona de estudio, por lo que este mapa de costos de construcción representa la superficie de fricción.

La superficie de fricción representa el costo relativo de desplazamiento a través de cada píxel, normalmente tienen un significado económico (monetario) relativo al costo de desplazamiento a través del territorio. No obstante, los valores de fricción se pueden expresar, también, en otros términos, como tiempo de desplazamiento, que

representan el tiempo utilizado en atravesar una zona de unas características determinadas, o unidades equivalentes de energía, que serían proporcionales al combustible total consumido durante el desplazamiento desde un píxel al objeto más próximo.

Estos valores de fricción siempre se calculan como una proporción de una cantidad base fija, a la que se da un valor de uno. Por ejemplo, si nuestra única fricción fuese el grosor de una capa de nieve, podríamos asignar un valor de uno a las zonas sin nieve (el valor base) y a las áreas cubiertas de nieve valores mayores de uno. Si supiéramos que el costo, cuando atravesamos áreas con una capa de 6 a 10 pulgadas, es el doble que cuando cruzamos áreas sin nieve, se le asignara un valor de fricción de dos a las áreas con una capa de nieve de ese grosor. Las fricciones se especifican como números reales para poder utilizar fracciones, y pueden oscilar entre 0 y  $1,0 \times 10^{37}$ . Rara vez se especifica una fricción con un valor menor que 1,0 (el costo base), ya que un valor menor que uno representa una aceleración o fuerza que actúa como ayuda al movimiento.

El mapa de Costos de Construcción (superficie de fricción) se calcula finalmente de la siguiente manera:

$$\text{COSTOS DE CONSTRUCCIÓN} = \text{NIVEL} * \text{LITOLÓGÍA} * \text{HIDROGRAFIA}$$

Esta operación se llevó a cabo mediante el operador de imágenes del programa IDRISI.

También se deben rasterizar los poblados, para ser incluidos en la superficie de costos, de esta forma se evita que la carretera pase por lugares no deseados, en nuestro caso la laguna de Urao, los centros poblados (áreas de exclusión) y las zonas que no pertenecen al área de estudio. Se recodificó el costo de las celdillas (píxeles) con estas cubiertas a un valor muy alto en relación con los valores obtenidos en el análisis.

Al mapa obtenido se le dio el nombre de COSTOF (Figura 21).

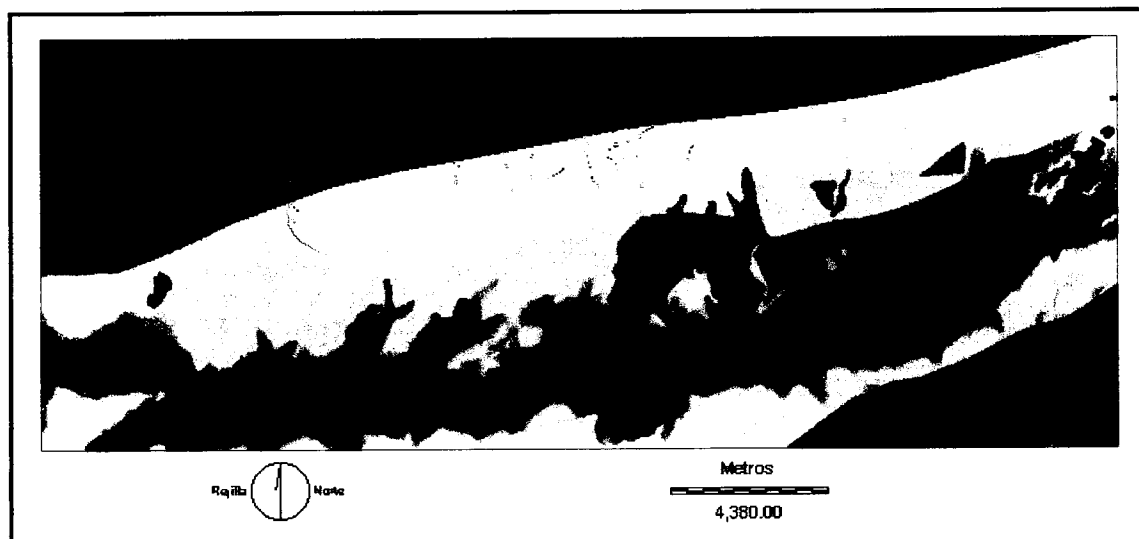


Figura 21. Mapa de Costos de Construcción. Los colores negro y azul representan valores bajos de costos, mientras que los colores claros, verdes y amarillos representan valores altos de costos. El color rojo corresponde con un valor muy alto de costo (poblados, laguna y zonas fuera del área de estudio).

### 3.5.5 Cálculo de la Superficie de Costos

Para que pueda concluirse esta fase, previa a la selección de la ruta óptima para el trazado de la carretera, es preciso convertir la superficie de fricción en una superficie de costos.

La Superficie de Costos representa para cada píxel, la sumatoria de los menores costos generados en el mapa de Costos de Construcción, al desplazarse desde el punto de origen a la posición de ese píxel.

Cuando nos referimos al cálculo de la imagen de distancia con la orden DISTANCE (Pág. 45), se generó una superficie continua de valores de distancia Euclidiana, en unidades de longitud, desde cada celda (píxel) al elemento de referencia. En el cálculo de la Superficie de Costos, se generan distancias en términos de alguna medida de costos, los valores obtenidos se conocen como distancias de costos y representan la mínima sumatoria de costos obtenidas al atravesar una superficie de fricción. No importa el esquema para representar las fricciones, la imagen de distancia de costos resultante incorporará la distancia actual recorrida y los efectos de fricción

encontrados a lo largo del recorrido. Además, como siempre se utilizan valores de fricción para calcular las distancias de costo, esta siempre dependerá del costo o valor de fricción base. Por ejemplo, si una celda (píxel) tiene un costo de distancia de 5.25, indicará que el costo de desplazamiento desde esta celda al objeto más próximo es cinco veces y un cuarto el costo base. O dicho de otro modo, el costo es el mismo de haber cruzado cinco celdas y cuarto con valor de fricción base.

En la figura 22 se representa en forma esquemática el Mapa de Costos de Construcción y el Mapa de Superficie de Costos, tomando como referencia un pequeño sector ubicado alrededor del punto origen (poblado Las González), cuya celda, corresponde a la fila 364 y columna 1869. Se puede apreciar que la celda origen en la Superficie de Costos corresponde con un valor de distancia de costo igual a cero. En la celda cuya fila es 364 y columna 1868, se tiene una distancia de costos igual al valor de la misma celda (misma fila y misma columna) del mapa de Costos de Construcción; en la celda cuya fila es la 364 y columna 1867 de la Superficie de Costos, se tiene un valor de 0.300, que corresponde a la suma en el mapa de Costos de Construcción de la celda, fila 364 y columna 1868 con la celda, fila 364 y columna 1867; en la celda, fila 364 y columna 1866 de la Superficie de Costos se tiene un valor de 0.600, que corresponde a la suma en el mapa de Costos de Construcción de las celdas, fila 364 y columna 1868, fila 364 y columna 1867 y fila 364 y columna 1866. El resultado de este análisis puede concebirse como una superficie tridimensional, en donde la altura de cada punto de la malla geográfica es equivalente a su costo de desplazamiento respecto al origen, en función de su distancia y de los costos asociados a las celdillas que les separan en el mapa de Costos de Construcción.

Este cálculo se realizó con el comando COST, en la opción Análisis / Análisis de distancia, del programa IDRISI, que calcula los costos de cada punto como la distancia que le separa, en la superficie de fricción (mapa de costos de construcción), del punto origen de la carretera.

Para el cálculo de la superficie de costos se debe indicar un punto de origen (poblado Las González), a partir del cual se calculan los costos como la resistencia a desplazarse desde ese punto al resto de las celdillas que forman el mapa, considerando

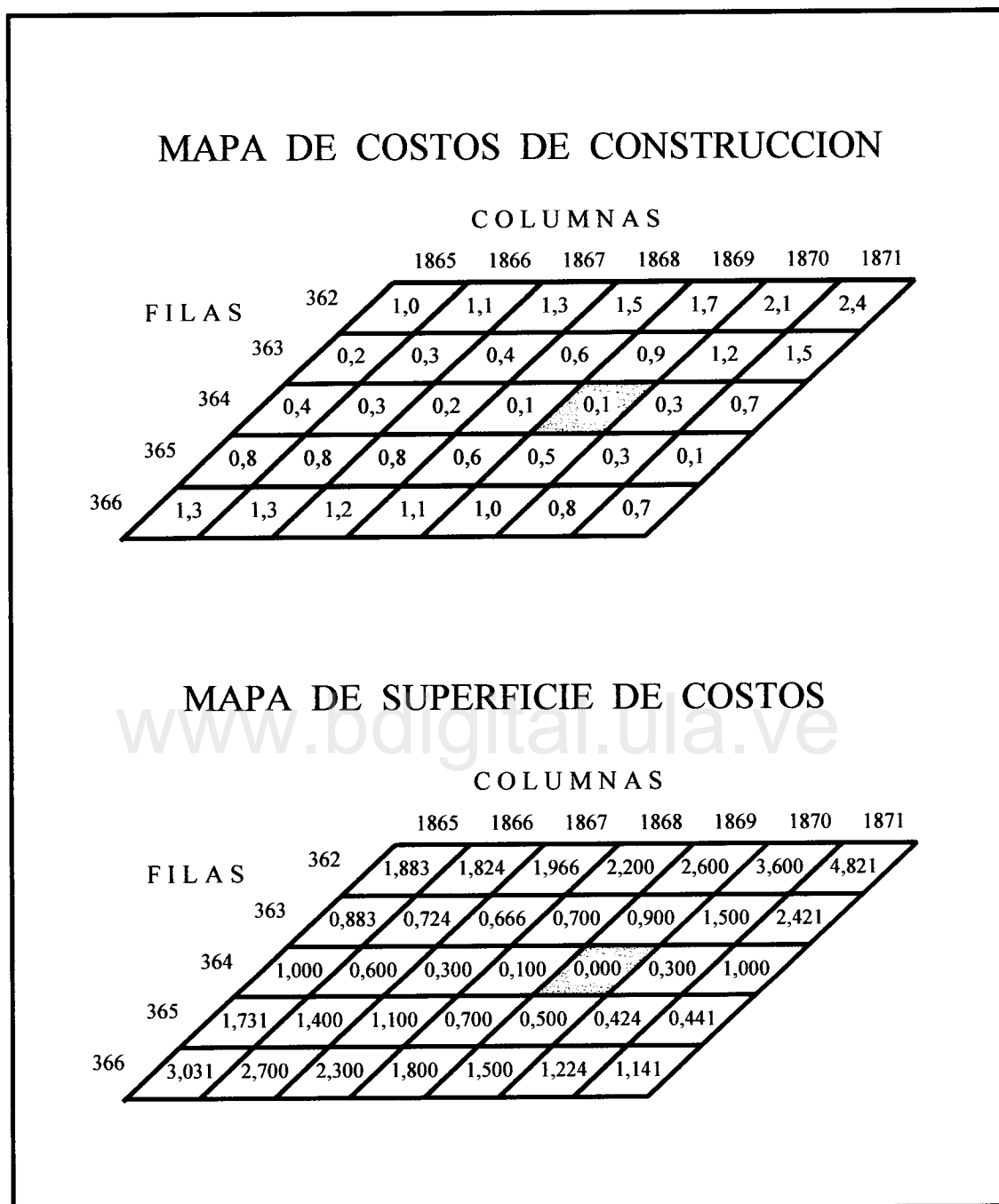


Figura 22. Representación esquemática del Mapa de Costos de Construcción y el Mapa de Superficie de Costos, alrededor de un pequeño sector del poblado Las González, cuya fila es la 364 y columna 1869. En el mapa de Superficie de Costos, se aprecia que los costos se van incrementando respecto al origen (poblado Las González), en función de su distancia y de los costos asociados a las celdillas que les separan en el mapa de Costos de Construcción.

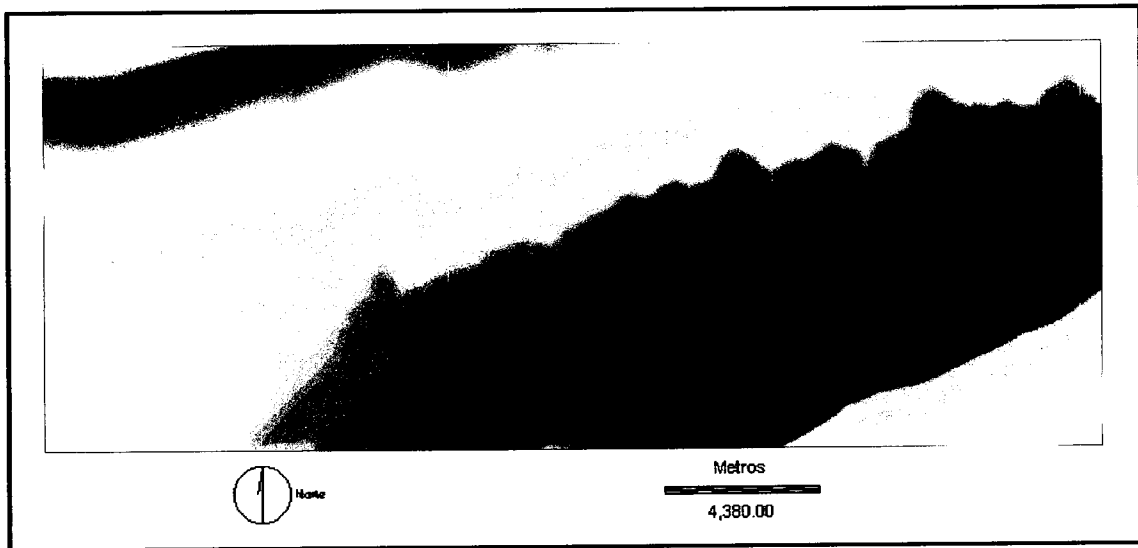


Figura 23. Mapa de superficie de costos: cálculo desde Las González a Estanques. Los valores más altos de costos corresponden a los tonos claros.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

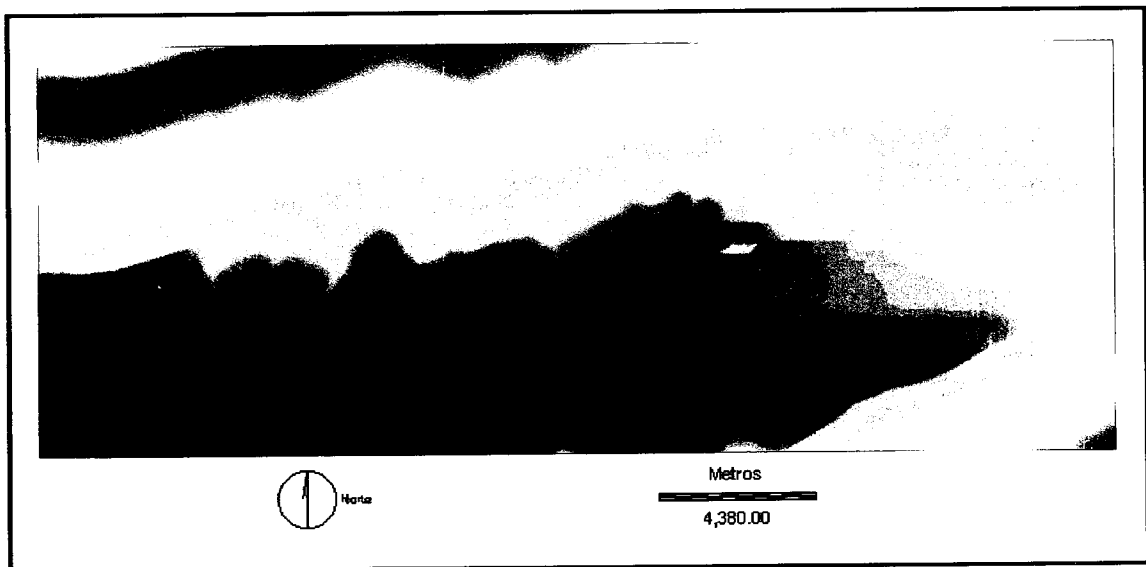


Figura 24. Mapa de superficie de costos: cálculo desde Estanques a Las González. Los valores más altos de costos corresponden a los tonos claros.

C.C. Reconocimiento

como criterio de resistencia la superficie de fricción (mapa de Costos de Construcción) antes generada. Al mapa resultante se le dio el nombre de COSTDIST (Figura 23).

También puede calcularse la superficie de costos tomando como referencia el punto que se ha tomado como destino (Estanques) (Figura 24), con el objeto de comparar posteriormente el trazado seleccionado con el que se diseñe desde el origen. Esta práctica permite estudiar la sensibilidad de la solución, a la vista de las alternativas locales en la superficie de costos (Otero y Alcaide, 1994).

### **3.6 Trazado de la ruta óptima partiendo de la superficie de costos de construcción**

A partir de la superficie de costos previamente generada, existen diversos criterios para señalar la ruta óptima entre los puntos de origen y destino. El más utilizado en el entorno de un SIG es el denominado de máxima pendiente.

Este tipo de algoritmo parte de un punto de destino (poblado Estanques), y de la superficie de costos calculada en el paso anterior. A partir de situar el punto de destino en dicha superficie, analiza una ventana de 3 x 3 valores, señalando la dirección que implique la máxima pendiente. En el paso siguiente se desplaza la ventana hacia la celdilla obtenida como solución anterior, volviendo a señalarse la de máxima pendiente en la nueva ventana de 3x3 celdillas. El proceso es iterativo hasta que se obtiene el punto de origen (poblado Las González), puesto que es el valor que cuenta con el menor costo. Esta estrategia imita el trazado de un río por su cuenca de drenaje, ya que el agua sigue siempre la línea de máxima pendiente desde las zonas más elevadas hasta el fondo del valle. En este caso, el relieve topográfico se convierte en un relieve de costos, y el trazado resultante minimiza el costo existente entre los puntos de origen y destino (Gómez y otros, 1995).

La solución del problema requiere que la superficie defina bien las diferencias espaciales de costos, ya que si el costo local fuera el mismo (nula pendiente) el algoritmo no podría proceder. Por otra parte, los resultados que ofrece no son simétricos, obteniéndose distintas soluciones si se cambia el origen por el destino, tanto en la superficie de costos como en el arranque del proceso (Gómez y otros, 1995).

Esto es precisamente lo que ocurrió en esta selección, donde aparecen dos rutas óptimas bien diferenciadas, según se inicie la carretera desde Las González (Figura 25) o desde Estanques (Figura 26). La ruta finalmente seleccionada será aquella que minimice los costos totales.

El procedimiento planteado se realizó con el comando PATHWAY, en la opción Análisis / Análisis de distancia, del programa IDRISI, que determina el camino de costo mínimo entre una o más celdas objetivo y una o más celdas terminales (con los valores más bajos) de una superficie de costos acumulados (calculada con la orden COST). De esta forma se genera una imagen binaria donde el camino de mínimo costo posee valor uno y el fondo valor cero.

### **3.7 Consideración del factor ambiental**

Puesto que aspectos comúnmente tratados en la consideración del costo ambiental, como es el caso de la litología, ya han sido incorporados a los costos de construcción, se simplificó la valoración del medio restringiéndola a las variables visibilidad y cobertura de vegetación y usos del suelo.

#### **3.7.1 Generación de una Cuenca Visual**

Para el cálculo automático de la cuenca visual sólo es necesario el MDE. La intervisibilidad de lugares en un MDE permite establecer los puntos (píxeles) de un mapa que son visibles desde uno o varios lugares de referencia, teniendo en cuenta para este cálculo los siguientes aspectos (Bosque, 1992):

- Todos los píxeles están situados en una superficie topográfica con diferentes alturas en cada punto. En algunos casos, las alturas pueden ocultar otra porción del relieve al observador que mira desde una posición.
- Existencia de algún tipo de obstáculo o “pantallas” a la visibilidad sobre la superficie topográfica, por ejemplo árboles o casas que ocultan lo que está situado tras ellas.

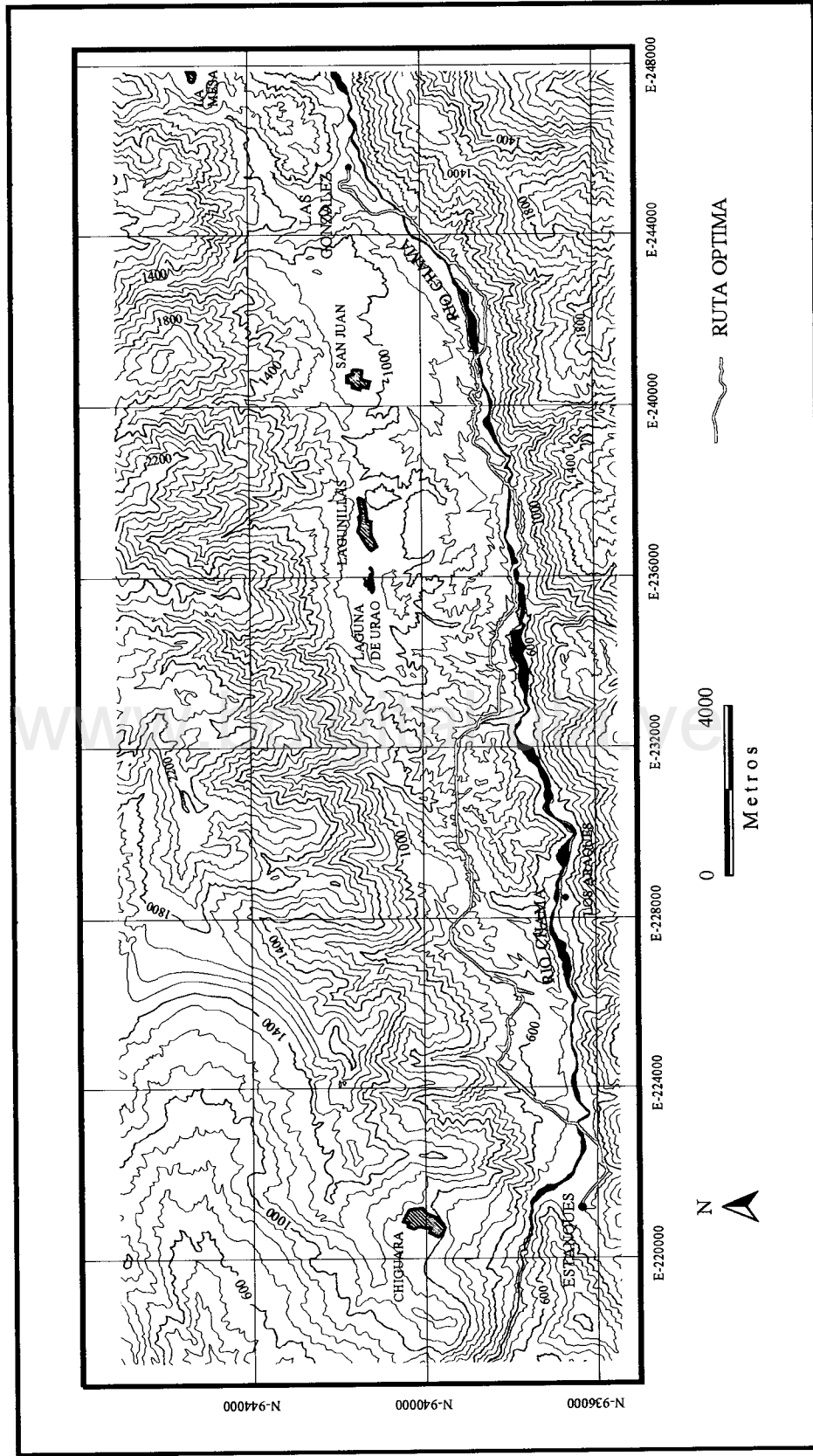


Figura 25. Trazado de la ruta óptima, partiendo de los costos de construcción: alternativa desde Las González a Estanques.

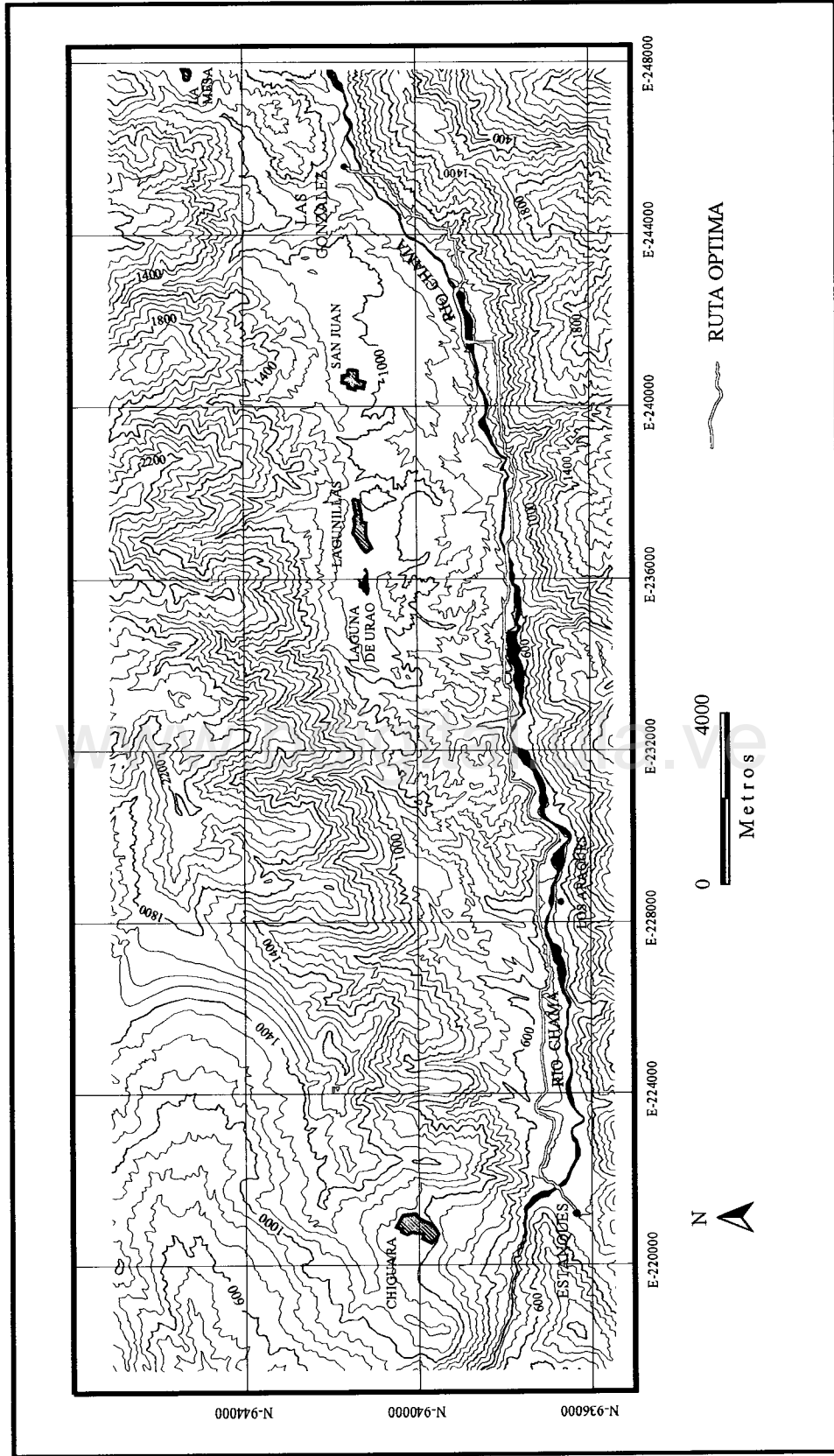


Figura 26. Trazado de la ruta óptima, partiendo de los costos de construcción: alternativa desde Estanques a Las González.

- La propia altura de los objetos situados en cada píxel de la capa, de modo que en un punto dado se puede ver la cima de un objeto alto y es posible que no se pueda observar su base.
- La altura del observador situado en los píxeles de referencia. Por ejemplo, no observa lo mismo un hombre de pie sobre ese punto que un hombre subido a una torre de observación de 30 metros.

El cálculo de la intervisibilidad entre dos puntos es una aplicación que utiliza el método de levantamiento de perfiles como base para una etapa posterior de análisis. Esencialmente, la solución al problema de si dos puntos están conectados por una línea visual, consiste en la construcción de un perfil topográfico que los une y el análisis posterior de los puntos intermedios para comprobar si su altitud intercepta la línea visual. El proceso sigue los siguientes pasos:

1. Se eligen los puntos a analizar  $P(i)$ ,  $P(j)$
2. Se realiza el perfil, topográfico entre ambos, que consta de  $n$  puntos.
3. Se toma un punto  $P(k)$  del perfil, comenzando por el más próximo a  $P(i)$  y se comprueba si intercepta la línea visual entre  $P(i)$  y  $P(j)$ . Pueden ocurrir tres casos:
  - $P(k)$  intercepta la línea visual: no existe intervisibilidad; fin del análisis.
  - $P(k)$  no intercepta la línea visual y  $K=n-1$  es el inmediato anterior a  $P(j)$ : existe intervisibilidad entre  $P(i)$  y  $P(j)$ ; fin del análisis.
  - $P(k)$  no intercepta la línea visual y  $K < n-1$  no es el inmediato anterior a  $P(j)$ : se toma el punto siguiente,  $P(k+1)$  y se repite el análisis desde el punto 3.

El análisis de ocultamiento visual de la línea visual por un punto depende de la altitud de dicho punto  $Z(k)$  y de la correspondiente a la línea visual en el mismo lugar. Si  $Z(k)$  es mayor, el punto intercepta la línea visual (Felicísimo, 1994).

La generación del análisis de intervisibilidad entre dos puntos expuestos anteriormente permite la construcción de cuencas visuales. En el contexto de los MDE, la cuenca visual de un punto base o foco se define como: el conjunto de puntos de un modelo con los cuales este punto base está conectado visualmente. La construcción de las cuencas visuales tiene gran interés en los estudios de impacto visual, ya que

constituye un paso imprescindible para evaluar la influencia de una acción sobre su entorno desde el punto de vista paisajístico.

Partiendo de las dos rutas óptimas, obtenidas a partir de los costos de construcción, se determinó cual de las dos tenía la menor extensión y por lo tanto, la menos visible que se integra mejor en el paisaje.

Para obtener esta capa de información se utilizó el comando VIEWSHED del programa IDRISI. La altura de observación fue de 0 metros (a nivel del terreno) y el radio de acción de 1500 metros. Se asignó este valor debido a que la distancia crítica de visión puede fluctuar entre los 1000 y 1200 metros, dependiendo del tono, color, contraste y extensión de los objetos vistos y de las condiciones meteorológicas (CEOTMA, 1992). Según la experiencia de este trabajo, el cálculo de la cuenca visual representa un análisis muy complejo, que requiere de mucho tiempo, por lo que en el alcance o la distancia de percepción hay que tener en cuenta el estudio que se va a realizar, ya que aumentar esta, significa elevar el trabajo al cuadrado y todo dependerá del tiempo y recursos disponibles.

En el método utilizado por el programa IDRISI, para cada cuadrícula del territorio que se halle dentro del círculo cuyo radio es el alcance, el test de visibilidad se realiza uniéndolo el punto de observación con el centro de la cuadrícula en cuestión y se va recorriendo esa recta comparando las alturas de la propia recta con las altitudes del terreno. De esta manera se determinan las celdas visibles de uno o más puntos de observación situados en una superficie topográfica. El resultado es una nueva imagen en la que las celdas visibles se les asignan un valor de 1, a las celdas con los puntos de observación un valor de 2 y a las celdas no visibles un valor de cero.

Los resultados de este proceso se muestran en las figuras 27 y 28. Como se puede observar en estas figuras, las cuencas definidas no se distribuyen de manera homogénea alrededor de la carretera (puntos de observación), lo cual significa que un desplazamiento en cualquier sentido altera radicalmente el territorio visto. Se observa que las cuencas no son totalmente compactas, lo cual significa que la visión se interrumpe en ciertas zonas. Hacia los extremos de la cuenca se observan muchos

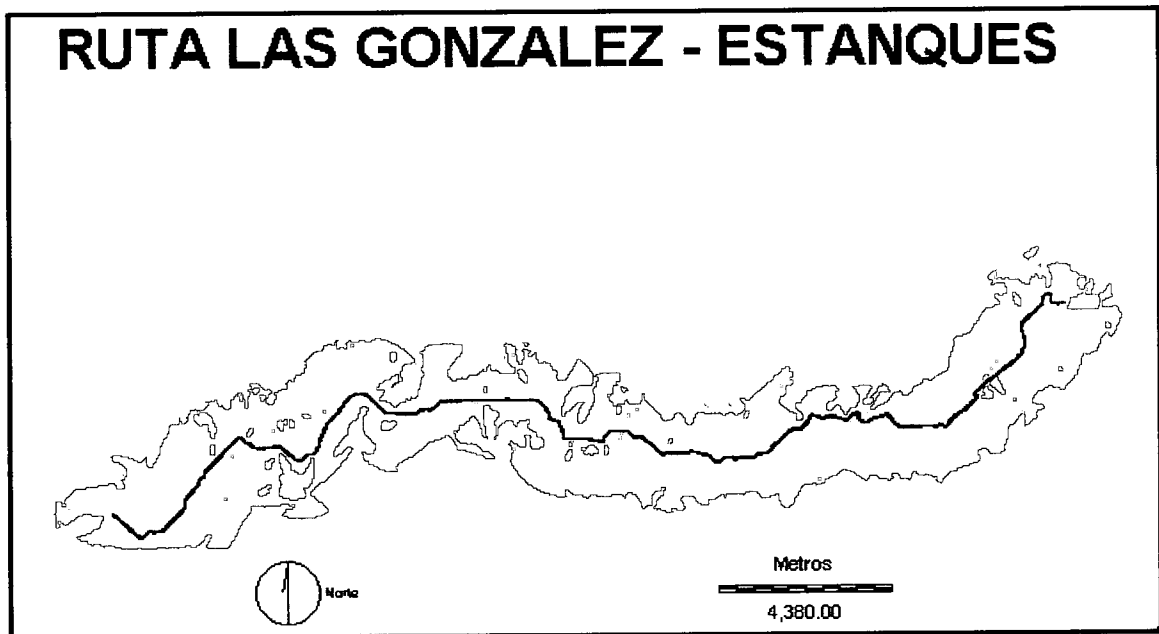


Figura 27. Cuenca visual: ruta Las González–Estanques. En color verde se representan las áreas visibles y en color negro la carretera (puntos de observación).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

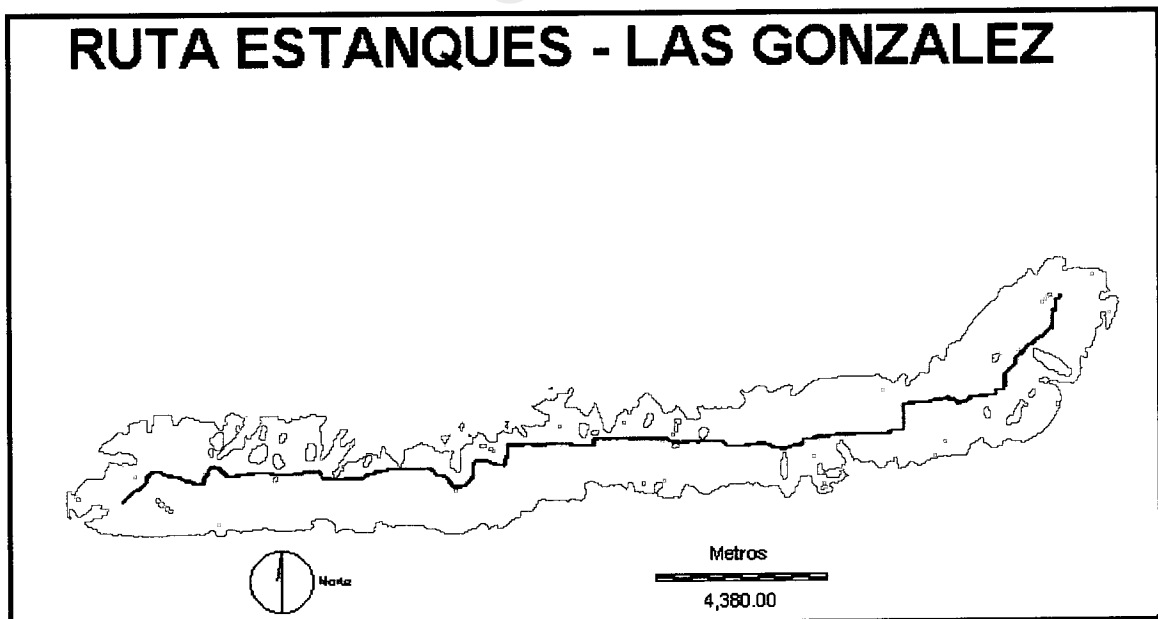


Figura 28. Cuenca visual: ruta Estanques-Las González. En color verde se representan las áreas visibles y en color negro la carretera (puntos de observación).

quebres y los bordes no están claramente definidos, esto es debido a las diferencias de nivel existentes en la zona.

La cuenca visual de menor extensión indicará la ruta menos visible de las dos y, por lo tanto, la que tiene un menor impacto visual o una mayor integración en el paisaje. Por medio del comando AREA del programa IDRISI, se determinó el área para cada una de las cuencas visuales, obteniéndose un área de 6906.80 hectáreas para la cuenca visual de la ruta entre Las González y Estanques y un área de 6735.31 hectáreas para la cuenca visual de la ruta entre Estanques y Las González, por lo que la ruta más idónea es la trazada desde Estanques a Las González desde el punto de vista del impacto visual.

### **3.7.2 Cálculo de los costos ambientales - Vegetación y usos del suelo**

Las categorías de uso definidas en el área de estudio, incluyen las diferentes modalidades de ocupación y aprovechamiento del recurso suelo y los tipos de cobertura vegetal presentes en el área. En el estudio realizado por UFORGA, para los propósitos del trabajo, y a fin de evitar incluir detalles de cobertura que no proporcionaran información útil para la evaluación ambiental, se procedió a emplear asociaciones de categorías de uso de acuerdo con las actividades económicas dominantes, cuando la superficie ocupada por cada categoría fuese inferior a 6.25 hectáreas (unidad mínima de interpretación a escala 1:25.000) (UFORGA, 1997).

Por no disponer de otra fuente de información para obtener la cobertura de vegetación y usos de la tierra de la zona, se tomo la generada por UFORGA-ULA.

Las categorías de uso descritas en el área fueron las siguientes:

1. Uso urbano
2. Horticultura
3. Cultivos anuales
4. Cultivos permanentes y semipermanentes

- 5. Pastos
  - 5.1 Pastos cultivados y/o mejorados
  - 5.2 Pastos naturales
- 6. Vegetación natural
  - 6.1. Bosque denso alto
  - 6.2. Bosque denso bajo
  - 6.3. Arbustal espinoso (espinares y cardonales)
- 7. Tierras agrícolasmente improductivas

En la mayor parte de la zona en estudio, se tiene una asociación de categorías de usos arbustal espinoso y tierras agrícolasmente improductivas (categorías 6.3 y 7), es decir, la mayor parte de la zona, se encuentra cubierta por zonas agrícolasmente improductivas con una vegetación arbustal espinoso.

Los criterios tomados para la valoración de cada una de estas categorías de usos fueron:

1. Protección de especies vegetales autóctonas, en especial aquellas de porte arbóreo.
2. Preservación de formaciones de especial singularidad.
3. Protección de superficies vegetales, en función de lo que representan respecto al entorno o considerando su interés ecológico en el mismo.

Tomando en cuenta los criterios establecidos, se realizó una entrevista con el profesor Richard Schargel (Profesor Titular de Agronomía de la UNELLEZ), sobre la valoración de los diferentes usos de la tierra y vegetación de la zona en estudio, dando una valoración del 1 al 9, de menor a mayor costo ambiental, según la tabla 6.

Las zonas de mayor calidad son las ocupadas por los bosques, arbustal espinar y pastos naturales, mientras que aquellas áreas de menor calidad, ocupadas por tierras agrícolasmente improductivas, representan el menor costo. Las áreas de exclusión (uso

Tabla 6. Valoración de los diferentes usos de la tierra.

CODIGO UFORGA	Usos	Valoración
7	Tierras Agrícolamente Improductivas	1
2	Horticultura	2
4	Cultivos Permanentes y Semipermanentes	3
3	Cultivos Anuales	4
5.1	Pastos Cultivados	5
5.2	Pastos Naturales	6
6.3	Arbustal Espinoso	7
6.2	Bosque bajo denso	8
6.1	Bosque alto denso	9
1	Uso Urbano	10000

urbano) recibieron una ponderación alta (10000), para que fueran evitadas en el trazado de la ruta óptima. Como se tenía una asociación de usos para diferentes sectores de la zona y como la mayor parte de la zona en estudio correspondía a una asociación de vegetación arbustal espinoso y tierras agrícolamente improductivas, se tomo una valoración tomando el criterio de la preservación de la vegetación autóctona de la zona, es decir, una valoración de  $(7-1=6)$  de 6, que corresponde con la vegetación arbustal espinar, menos el costo asociados a las tierras agrícolamente improductivas (Figura 29).

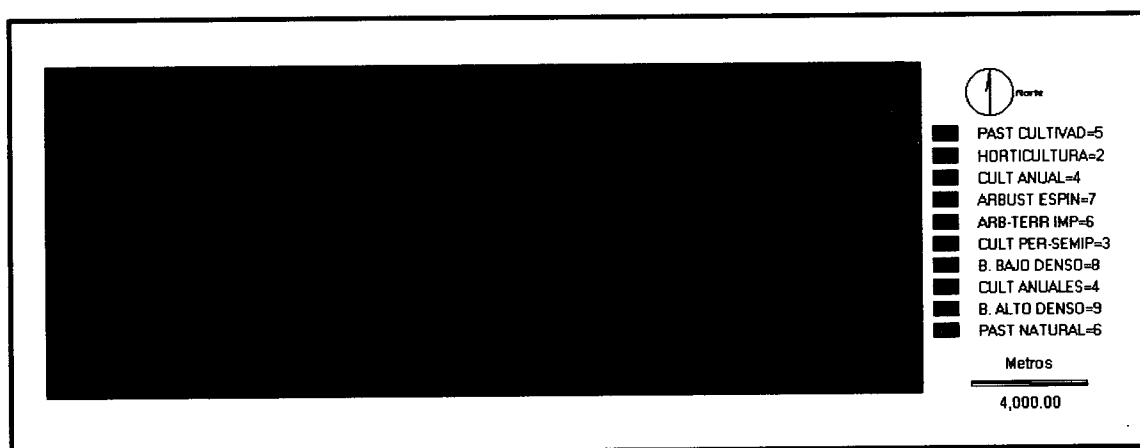


Figura 29. Calidad ambiental obtenida a partir de la valoración de la tabla 6. En color rojo aparecen las zonas que no pertenecen al área de estudio (valoración alta).

### **3.8 Trazado de la ruta óptima, integrando los costos ambientales a los costos de construcción.**

Una vez obtenidos los dos mapas anteriores, asociados a los costos de construcción y los costos derivados de la valoración ambiental, se procedió a la integración de ambos mapas, obteniéndose un nuevo mapa de costos y posteriormente, dos nuevas superficies de costos, calculadas desde Las González y desde Estanques. En consecuencia, el factor ambiental se considera aquí como un componente más de la superficie de costos.

El proceso y los comandos empleados para generar las superficies de costos y las rutas óptimas fueron los mismos utilizados previamente (puntos 3.5.5 y 3.6), obteniéndose dos nuevos trazados calculados desde Las González y desde Estanques (Figura 30 y 31).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

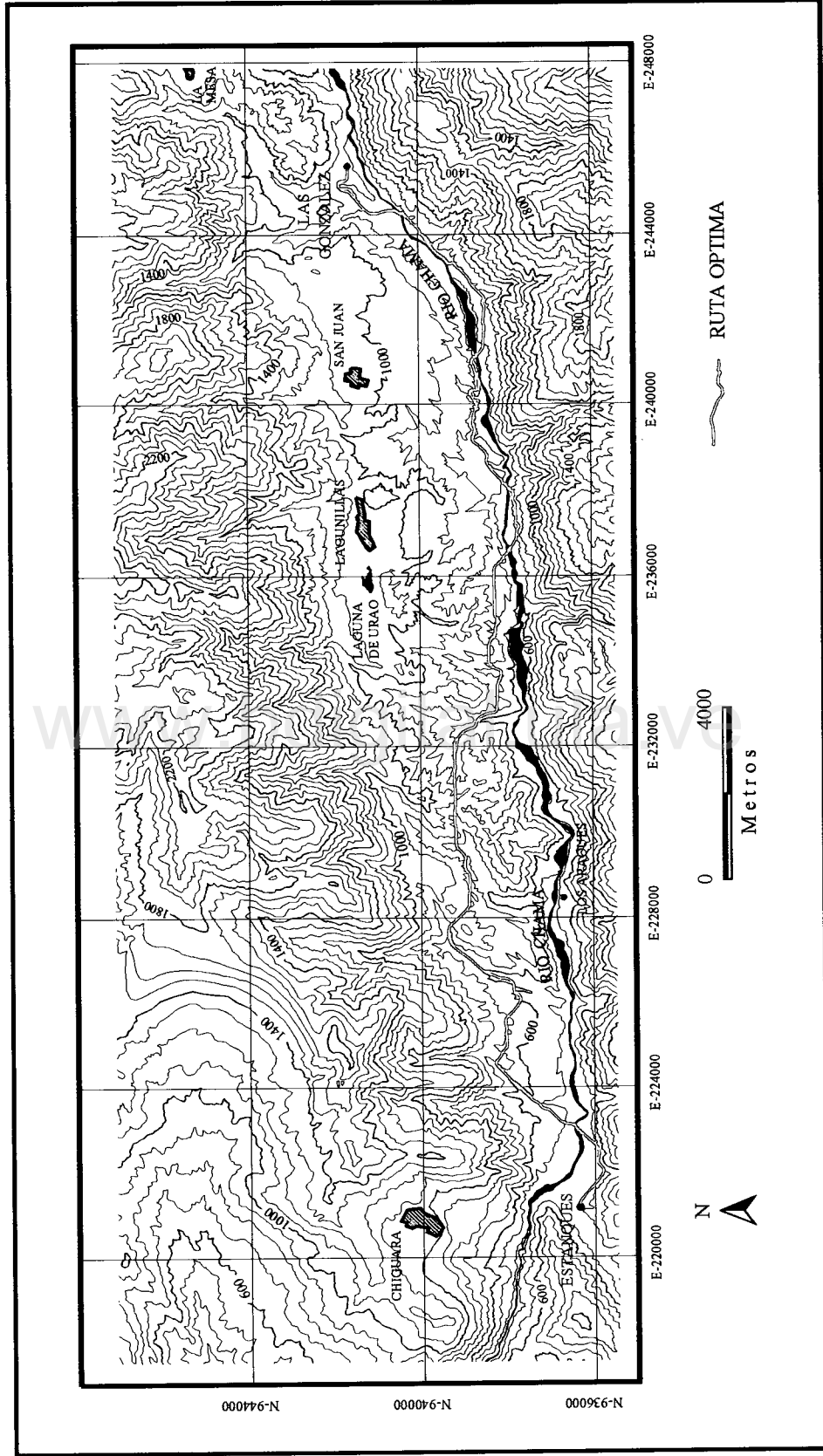


Figura 30. Trazado de la ruta óptima, considerando los costos ambientales junto a los costos de construcción: alternativa desde Las González a Estanques.

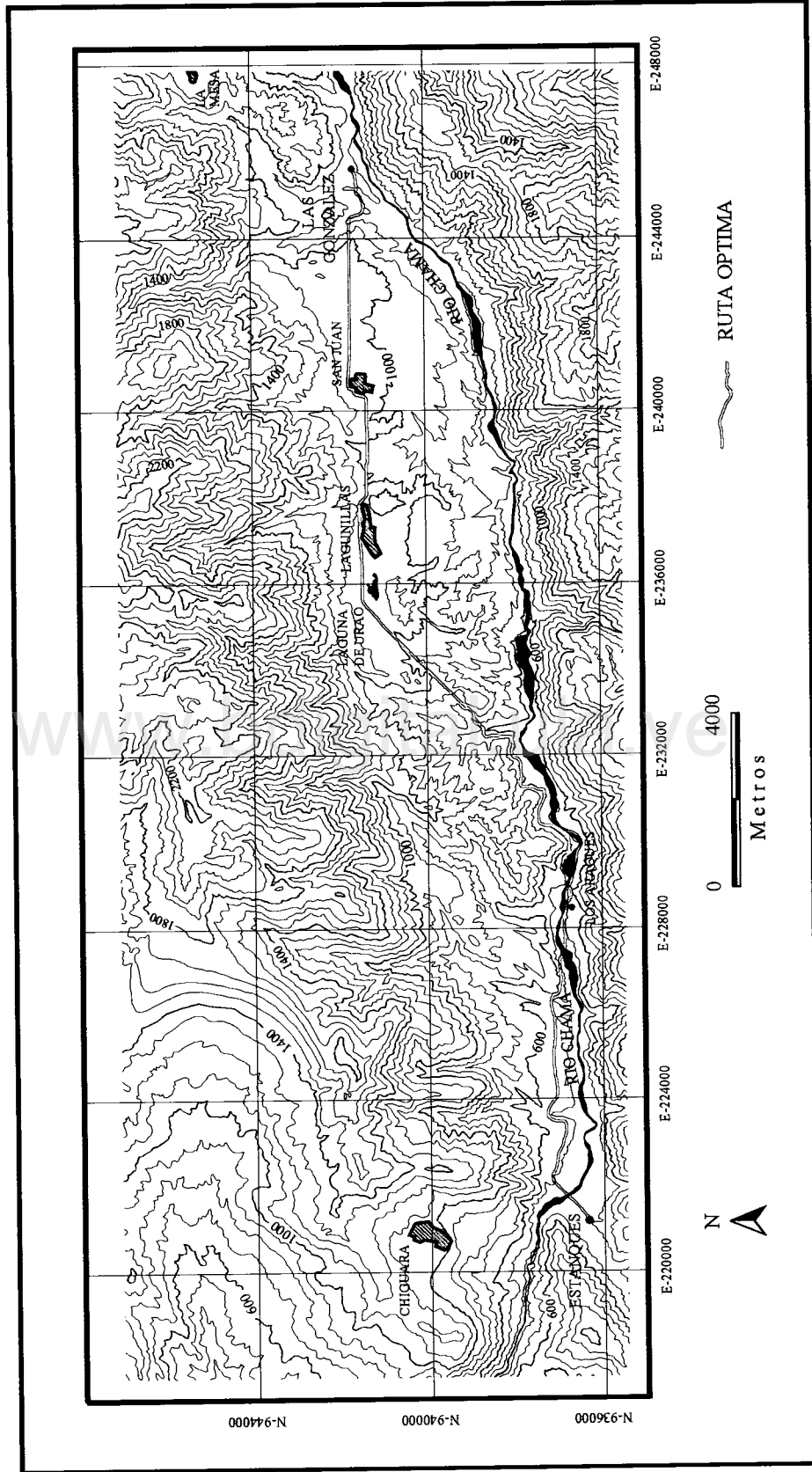


Figura 31. Trazado de la ruta óptima, considerando los costos ambientales junto a los costos de construcción: alternativa desde Estanques a Las González.

## **CAPITULO IV**

### **ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

## CAPITULO IV

### ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El objetivo del presente capítulo consiste en presentar un análisis de los resultados obtenidos a partir de la información de campo procesada.

La zona en estudio corresponde a un terreno montañoso, en este tipo de terreno el control primordial que influye en la selección de la ruta es su topografía; esto obliga por lo general a una reducción evidente de las posibles alternativas. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) amplían estas posibles alternativas bajo un contexto globalizador del territorio.

#### 4.1 Análisis de las rutas tomando en cuenta los costos de construcción

El trazado de la ruta óptima está directamente asociado a los criterios empleados para definir la superficie de costos, por lo que estos criterios deben ser definidos tomando en cuenta los aspectos relevantes del área de estudio.

La ruta finalmente seleccionada será aquella que minimice los costos totales, lo que puede realizarse sumando los valores de costos de todas las celdillas que ambas atraviesan.

Se abordó este objetivo con el comando EXTRACT del programa IDRISI, que permite calcular una serie de parámetros estadísticos de la imagen raster, a partir de categorías indicadas en otro, en forma de tabla. Es necesario utilizar dos archivos: una imagen raster y un archivo de definición de los elementos espaciales. Se tomaron como mapas de entrada los de costos de construcción y rutas óptimas, obteniéndose los resultados según las tablas 7 y 8, tomando en cuenta que el mapa de ruta óptima, genero una imagen binaria donde el camino de mínimo costo posee valor uno y el fondo valor cero. Según estas tablas los costos totales cuando la carretera arranca del poblado Las González son de 20.503,39 unidades y de 10.284,89 unidades totales cuando arranca del

poblado de Estanques. En consecuencia, esta última es la solución más ventajosa desde el punto de vista de menores costos de construcción.

Tabla 7. Resumen estadístico generado con el comando EXTRACT del programa IDRISI, al tomar el mapa de costos de construcción y la ruta Las González – Estanques

Category	Summary Type	
0	Minimum	0.100000
	Maximum	1419.800049
	Total	692331755.855944
	Average	442.188702
	Range	1419.700073
	Population Std Dev	424.346222
	Sample Std Dev	424.346344
1	Minimum	0.100000
	Maximum	145.500000
	<b>Total</b>	<b>20503.399980</b>
	Average	11.222441
	Range	145.399994
	Population Std Dev	20.588514
	Sample Std Dev	20.594151

#### 4.2 Análisis de las rutas al integrar los costos de construcción y los costos ambientales

Al tomar en cuenta el aspecto ambiental en la selección de la ruta óptima, los costos ambientales se multiplicaron con los costos de construcción previamente generados para luego obtener dos nuevas rutas óptimas, como se observa en las figuras 30 y 31.

El factor ambiental modificó muy poco el trazado que parte desde Las González, mientras que el que parte desde Estanques, sí se modificó considerablemente; esto es debido a que los nuevos trazados evitan ahora los tipos de vegetación más sensibles, definidos por una alta ponderación en la tabla 6. Como es lógico, al introducir un factor

Tabla 8. Resumen estadístico generado con el comando EXTRACT del programa IDRISI, al tomar el mapa de costos de construcción y la ruta Estanques – Las González

Category	Summary Type	
0	Minimum	0.100000
	Maximum	1419.800049
	Total	692341974.355921
	Average	442.205114
	Range	1419.700073
	Population Std Dev	424.339630
	Sample Std Dev	424.339783
1	Minimum	0.100000
	Maximum	61.799999
	<b>Total</b>	<b>10284.899997</b>
	Average	5.523577
	Range	61.700001
	Population Std Dev	7.552415
	Sample Std Dev	7.554444

multiplicativo, los costos totales son mayores, pero se puede mantener una valoración relativa sobre cual de las dos rutas resulta más adecuada. Aplicando nuevamente el comando EXTRACT del programa IDRISI y tomando en cuenta los costos ambientales y las nuevas rutas óptimas obtenidas, considerando adicionalmente este factor, se obtuvo una suma de 128.431,00 unidades de costos totales cuando la carretera arranca del poblado Las González y de 131.782,00 unidades cuando arranca del poblado de Estanques. En consecuencia, la solución más ventajosa al considerar los costos de construcción y ambientales es la ruta que parte del poblado Las González.

#### 4.3 Comparación de las rutas con el trazado actual

La vialidad existente fue actualizada con planos obtenidos en el MTC, entre el tramo comprendido entre los poblados de Estanques y Lagunillas. El tramo comprendido entre los poblados de Lagunillas y Las González, se actualizo con los planos de UFORGA-ULA.

Ninguno de los trazados obtenidos se adapta totalmente al trazado existente actualmente según las figuras 32, 33, 34, y 35, esto es debido a que la ruta seleccionada se va adaptando a la topografía del terreno según los criterios establecidos, sin la posibilidad de realizar grandes movimientos de tierra (en este caso grandes cortes del terreno), siempre adaptándose a las mejores condiciones litológicas del terreno y tratando de atravesar el menor número de ríos de la zona que incrementan el costo.

También hay que tomar en cuenta que el trazado actual de la vía se diseñó sobre mapas más detallados, a escalas mucho mayores (escala = 1:5.000).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

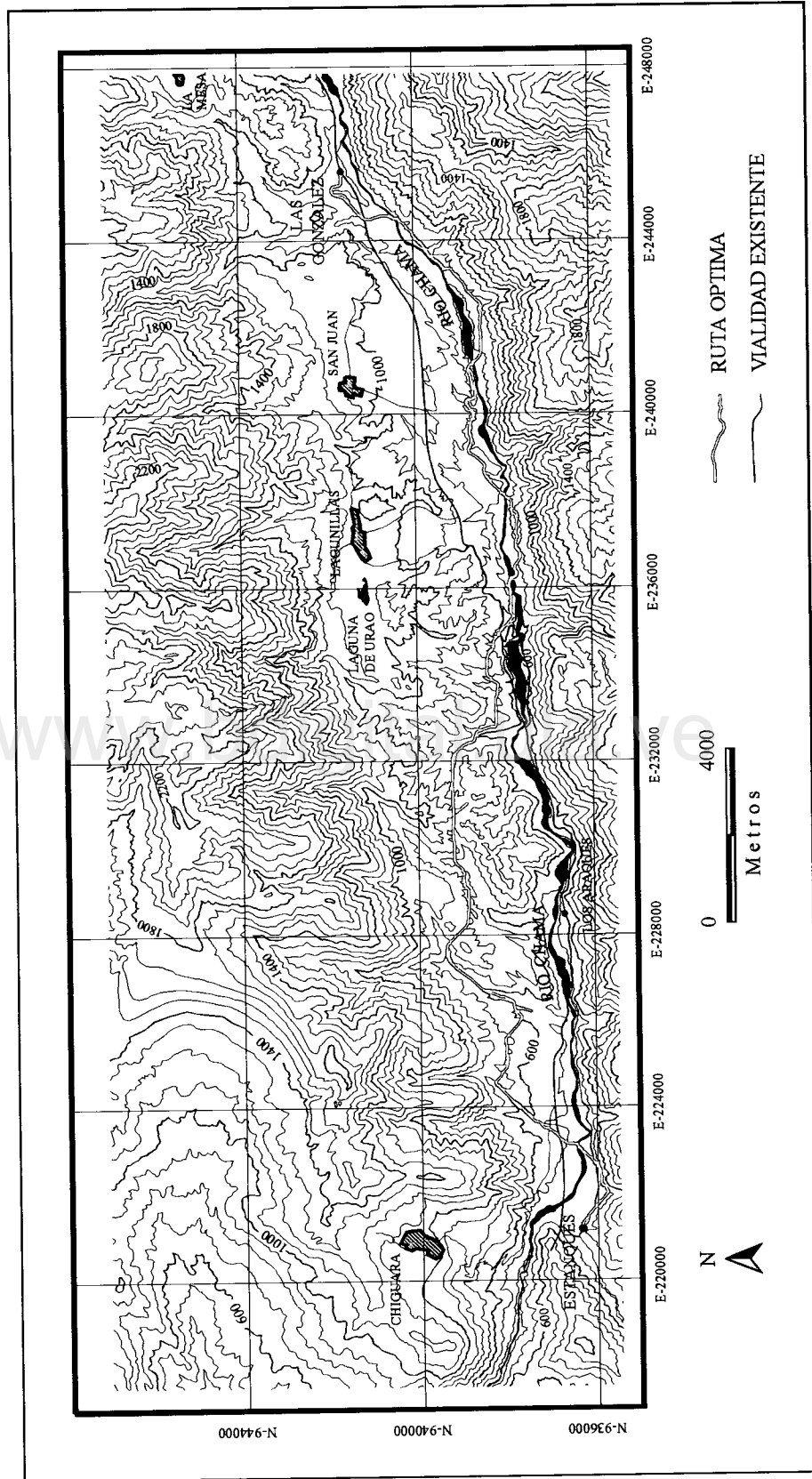


Figura 32. Trazado de la ruta óptima, considerando los costos de construcción: alternativa desde Las González a Estanzas.

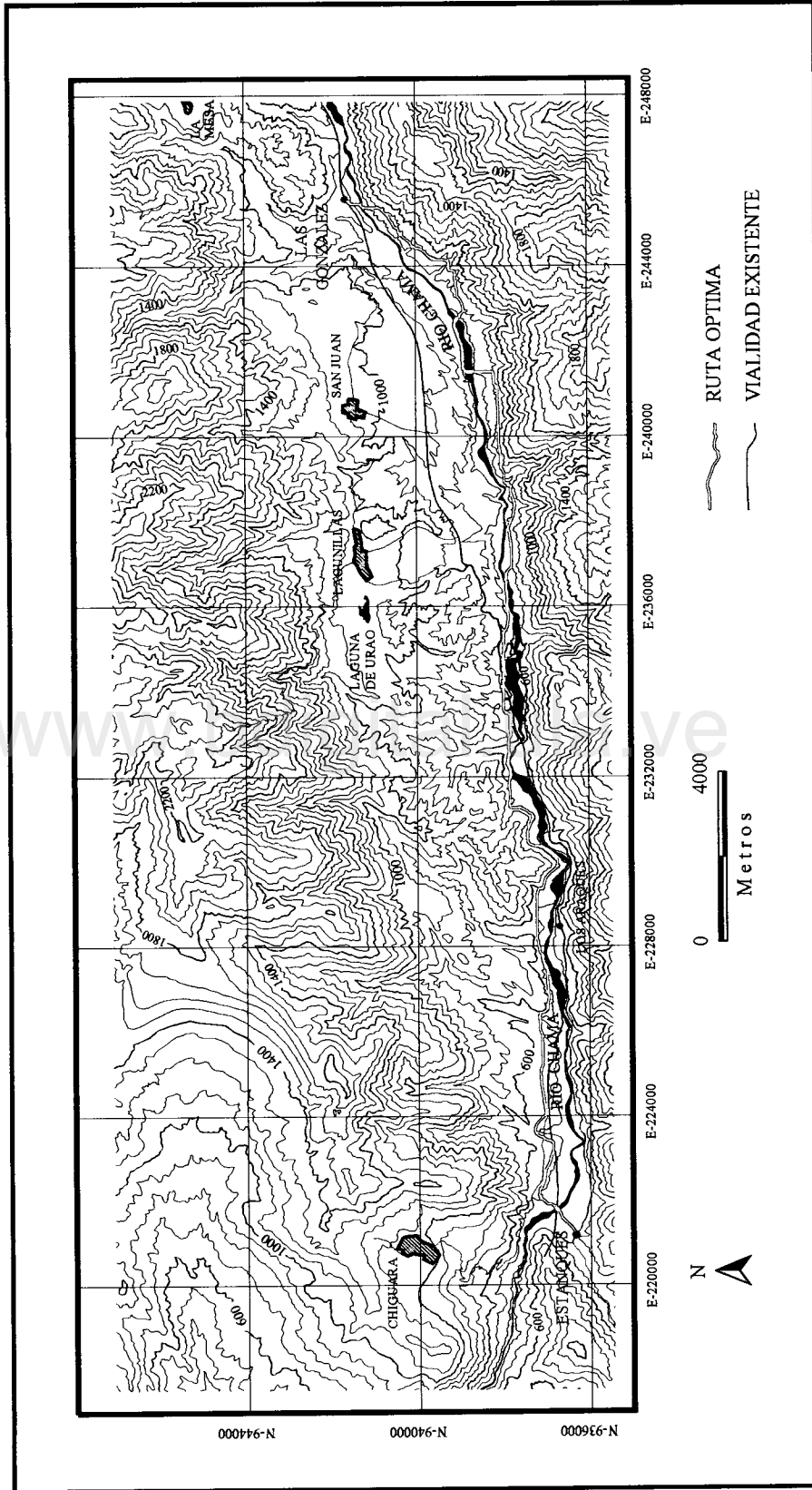


Figura 33. Trazado de la ruta óptima, considerando los costos de construcción: alternativa desde Estaciones a Las González.

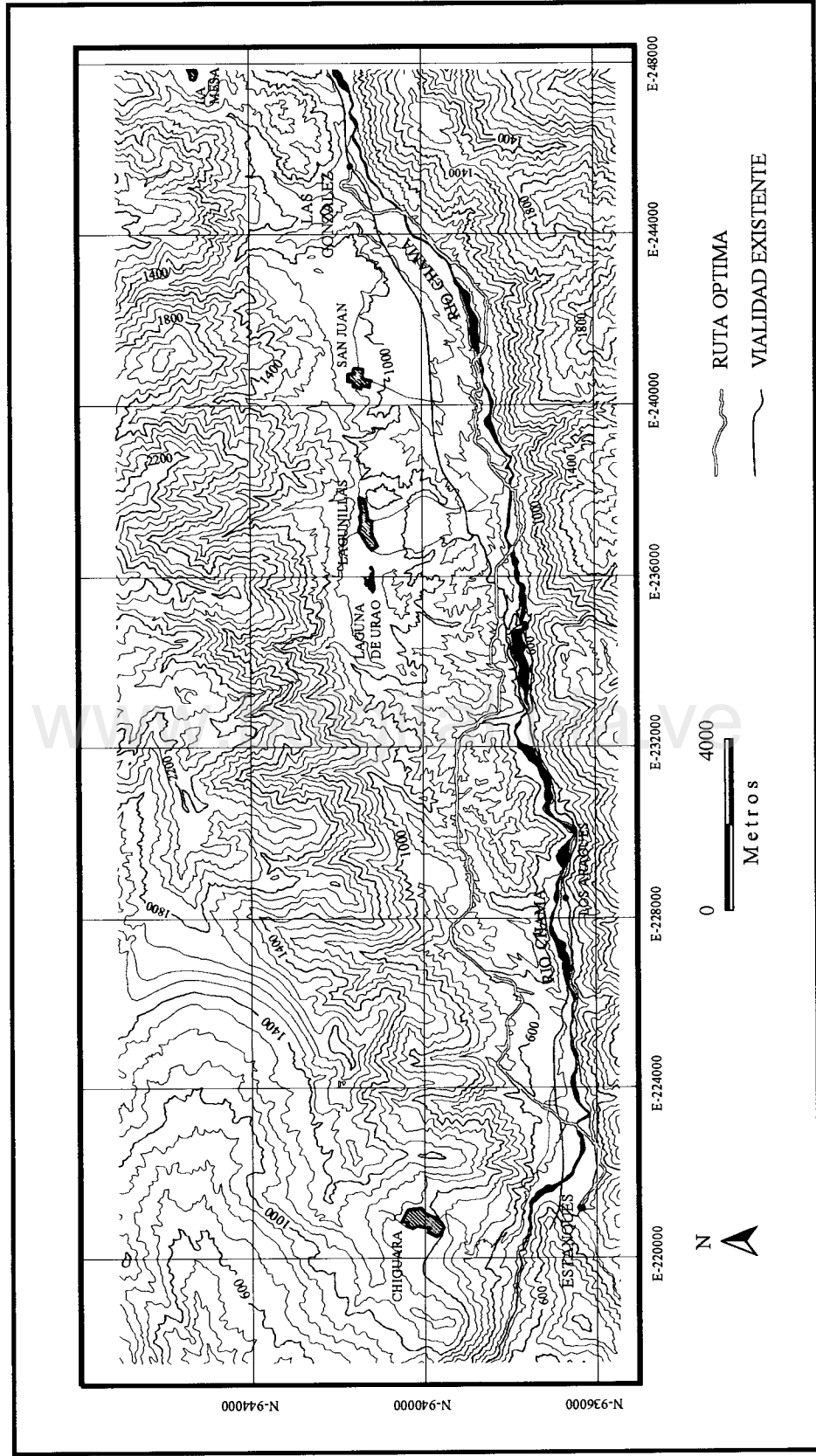


Figura 34. Trazado de la ruta óptima, considerando los costos ambientales junto a los costos de construcción: alternativa desde Las González a Estanques.

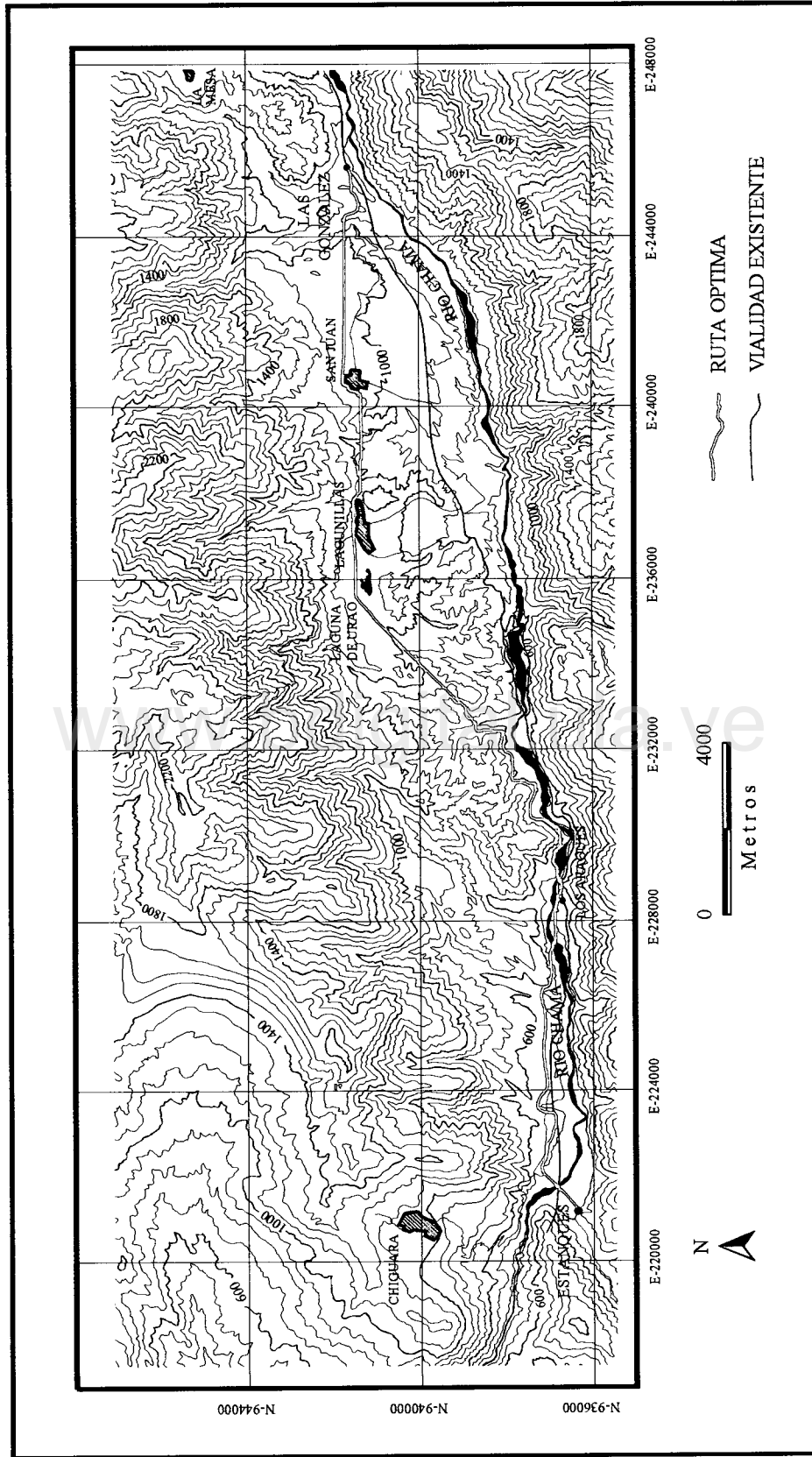


Figura 35. Trazado de la ruta óptima, considerando los costos ambientales junto a los costos de construcción: alternativa desde Estanques a Las González.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- El potencial de los SIG radica, en su capacidad de análisis para la generación y selección de alternativas, además del rápido y eficaz manejo de la información. La asignación de pesos diferenciales para los distintos tipos de variables que intervienen en la selección de la ruta óptima del área de estudio, hace posible un estudio exhaustivo de posibles pasillos óptimos. La participación en el diseño de los pesos y criterios con los que opera el SIG, de expertos en las diferentes áreas como medió ambientalistas, geólogos, ingenieros civiles, etc., garantizará una eficaz evaluación de las variables.

2.- Por medio de los SIG se ha podido modelizar el desplazamiento espacial sobre el territorio estudiado, en función de los diferentes factores tomados en cuenta (referidos a costos de construcción y ambientales), los cuales representaron la superficie de fricción para facilitar u obstaculizar el paso de la vía. Resulta muy importante esta modelización, ya que permite crear diferentes escenarios para la toma decisiones.

3.- Otras variables que podrían considerarse serian: los aspectos geomorfológicos de la zona como son los conos de deyección activos y cárcavas, aspectos de estabilización del terreno, etc., para ponderarlos y evitar que la carretera pase por zonas desfavorables. A una escala mayor podrían considerarse estas variables y otras que se requieran en el estudio para el trazado de la ruta óptima.

4.- Las variables desarrolladas para este modelo pueden aplicarse a otros muchos, siendo susceptibles de introducirse como capas temáticas de otros modelos, como por ejemplo, la localización de rutas de acceso a los poblados. Al tratarse de cartografía digital, su capacidad de integración y análisis es muy diversa.

5.- Se debe tener en cuenta la importancia en la valoración de cada una de las variables a ser consideradas en el estudio, por lo que se recomienda un trabajo posterior que permita aplicar técnicas en este sentido, de acuerdo a los criterios establecidos y con la ayuda de

los expertos determinar la importancia o el peso que deben ser asignados a cada una de ellas, un ejemplo de ello sería la creación de matrices de ponderación.

6.- También se podría pensar, luego de haber hecho el estudio de la zona en conjunto, en trabajar a escalas mayores, en aquellos lugares que se consideren de alta sensibilidad o de alto riesgo, que ameriten un estudio más detallado.

7.- Mediante este trabajo de investigación se ha podido validar la metodología propuesta por Gómez y otros (1995) en la zona de estudio, lo más importante serán los criterios tomados en cuenta por los expertos, para la evaluación de los diferentes factores que se presenten en la zona.

8.- Esta metodología dará resultados confiables, siempre y cuando se tome una escala adecuada de trabajo y se tenga la información veraz y detallada de las variables relevantes que intervienen en la selección de la ruta en la zona de estudio. Dado que los mapas tradicionales constituyen la fuente primaria de datos para un SIG y de que los mapas existentes a escala 1:25.000 y 100.000 fueron elaborados mediante compilación cartográfica cuyas ediciones corresponden a la década de los años setenta, se considera que dicha cartografía no representa fidedignamente el estado actual del territorio, sino una situación que se aproxima a treinta años atrás, lo cual invalida su utilización como base cartográfica para un proyecto como el indicado. Por lo tanto, se debe proceder a la actualización de toda la cartografía, a escala de trabajo del área correspondiente al proyecto.

## **BIBLIOGRAFIA**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

## BIBLIOGRAFIA

- ANDUEZA, S.**, 1994. El Diseño Geométrico de Carreteras, Tomo II, Universidad de los Andes, Talleres Gráficos Universitarios, Mérida.
- ARONOFF, S.**, 1989. Geographical Information Systems: A management perspective, WDL, Ottawa.
- BARREDO, J.**, 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio, en la Ordenación del Territorio, Editorial RA-MA, Madrid.
- BERRY, J. K.**, 1987. A mathematical structure for analysing maps, *Environmental Management*, vol. 11, n.3, pp. 325-327.
- BRAVO, P. E.**, 1976. Trazado y localización de carreteras, Bogota.
- BOISIER, S.**, 1976. Diseño de Planes Regionales, C.I.C.C.P., Madrid.
- BOSQUE, J.**, 1992. Sistemas de Información Geográfica, Ediciones Rialp, S.A., Madrid.
- BOSQUE, J., ESCOBAR, F., GARCIA, E. y SALADO, M.**, 1994. Sistemas de Información Geográfica: practicas con PC ARC/INFO e IDRISI, Editorial RA-MA, Madrid.
- CARCIENTE, J.**, 1978. Carreteras, estudio y proyecto, Universidad Central de Venezuela, Ediciones Vega, S.R.L, Caracas.

- CARRERO, J.**, 1997. Normativa ambiental, para carreteras, Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Dirección General Sectorial de Vialidad Terrestre. Ediciones “Angelber”.
- CEBRIÁN, J.**, 1988. Sistemas de Información Geográfica, en J. Bosque et al (Ed.) Aplicaciones de la informática a la Geografía y las ciencias sociales, Síntesis, Madrid.
- CEOTMA**, 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico, Contenido y metodología, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- CHOCONTA, P. A.**, 1999. Diseño Geométrico de Vías, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- CHUVIECO, E.**, 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial, Ediciones Rialp, S.A., Madrid.
- CHUVIECO, E. Y Salas, J.**, 1993. Los SIG en el análisis y gestión del medio ambiente, en *Catastro, Revista del Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria*, n. ° 18, 61-72, España.
- CIDIAT**, 1999. Curso regional sobre SIG y ambiente. Aplicaciones, Mérida.
- COMISIÓN ESTADAL DE ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO DEL ESTADO MERIDA**, 1998. Plan de Ordenamiento del Territorio de la Unidad Especial Eje Vial Carretera Mérida-Panamericana, Sector Las González-Estanques, Mérida.
- CURRAN, P.J.**, 1985. Image Processing (Chapter 6), en: Principles in Remote Sensing, Logman, pp. 223-226. , New York.

- ESCARIO, J.**, 1967. Caminos, estudio y construcción de la explanación Tomo I. Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
- ESPINOZA, S. H.**, 1977. La Fotogrametría en el proyecto de carreteras, Universidad de los Andes Departamento de Vías, Mérida.
- FELICÍSIMO, M. A.**, 1994. Modelos Digitales del Terreno, Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales, Universidad de Oviedo, Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio, Pentalfa Ediciones, Oviedo.
- FONTUR**, 1996. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, II Curso Intensivo en Transporte Urbano, Módulo de Planificación, Caracas.
- GÓMEZ, M., RODRÍGUEZ, V., RODRÍGUEZ, A., CHUVIECO, J. y CHUVIECO E.**, 1995. Diseño de carreteras mediante un Sistema de Información Geográfica: Costes de Construcción y Costes Ambientales, Ciudad y Territorio, Vol. III, Tercera época, No. 104, pp. 361-376, España.
- GUTIERREZ, J. Y GOULD, M.**, 1994. SIG: Sistemas de Información Geográfica, Espacio y Sociedades, Editorial Síntesis, España.
- HEWES, L.**, 1942. American highway practice, Vol. I, John Wiley & asoc, New York.
- HICKERSON, T.**, 1964. Route location and desing, Mac Graw-Hill, New York-Sydney.
- HICKERSON, T.**, 1964. Route location and desing, 5ta edición, Mac Graw Hill.

- INSTITUTO GEOGRAFICO, "AGUSTÍN CODAZZI", 1995.** El Uso de Mapas y Fotografías Aéreas, Ministerio de Hacienda y crédito Público, Subdirección de Geografía, Colombia.
- JOYANES, L., 1997.** Cibersociedad, Los retos sociales ante un nuevo mundo digital, Mc Graw-Hill/Interamericana de España, SAU, Madrid.
- KORTH, H. F. Y SILBERSCHATZ, A., 1985.** Fundamentos de Bases de Datos, 1ra Edición, McGraw-Hill, University of Texas at Austin, Texas.
- KRYNINE, D. P. and JUDD, W. R., 1957.** Principles of engineering geology and geotechnics, Geology, soil and rock mechanics and other, earth sciences as used in civil engineering, Mc Graw Hill, New York.
- LAUDER, D. R., 1959.** Aerial photographic interpretation, Mc Graw Hill, New York.
- LOPEZ V. M., 1978.** Manual de Fotogeología, Publicaciones Científicas de la Junta de Energía Nuclear, Ediciones J.E.N, Madrid.
- MAGUIERE, D., 1991.** An overview and definition of GIS, en D. Maguire, M Goodchild y D Rhind (eds), Geographical Information Systems, Vol. I, New York.
- MENDEZ, V. E., 1999.** Planificación y gestión ambiental para el desarrollo sostenible, Centro interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial, (CIDIAT), Mérida.
- MERRITT F. S., 1999.** Manual del Ingeniero Civil, Tomo II, McGraw-Hill, México.

- MIELE, L. Y CADENAS, R.**, 1982. Atlas del Estado Mérida, Universidad de los Andes, Escuela de Geografía, Mérida.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES – DIRECCIÓN GENERAL DE VIALIDAD**, 1985. Normas de proyectos de carreteras, Caracas.
- MOLINA, G.**, 1998. Análisis de calidad ambiental de vida para la ciudad de Maracay ( Venezuela ) usando la teledetección y los SIG, Tesis doctoral, Universidad de Alcalá de Henares, Madrid.
- OGLESBY, C.**, 1969. Ingeniería de carreteras, calles, viaductos y pasos a desnivel, Compañía Editorial Continental, México.
- OTERO, I. Y ALCAIDE, M.**, 1994. Utilización de un SIG para encontrar el trazado de una carretera con un coste ambiental mínimo, en: II Congreso de Ingeniería Automática (en prensa), Toledo.
- PACHECO V. H.**, 1998. La Fotointerpretación y los Sensores Remotos, Ediciones de la Universidad Ezequiel Zamora, Vicerrectorado de Producción Agrícola, Guanare.
- PEREZ, G, URIEL Y OTROS**, 1992. Uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para el Ordenamiento Territorial, Revista CIAF.
- PERNIA E. J.**, 1989. Guía Práctica de Fotointerpretación, Universidad de los Andes, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Mérida.

- ROA, J. G. y SANDIA, L., 1970.** Evaluación del Impacto ambiental del Proyecto carretero Mérida-Panamericana, Trabajo especial de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Geografía de la Universidad de los Andes, para optar al título de Geógrafo, Mérida.
- ROJAS, L., 1970.** El paisaje semiárido de la cuenca media del río Chama, Trabajo especial de grado presentado a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de los Andes, para optar al título de Geógrafo. Escuela de Geografía, Mérida.
- REEVES, R. G., ANSON, A. And LANDEN, D., 1975.** Manual of remote sensing, theory, instruments and techniques, Vol I, The American Society of Photogrammetry, Virginia.
- RUIZ, J. Y BELLOSO G., 1976.** Selección de rutas, anteproyecto y proyecto de carreteras mediante el uso de fotografías aéreas y calculo electrónico, Trabajo especial de grado presentado en la Universidad del Zulia para optar al título de ingeniero civil, Maracaibo.
- TEVAR S., G., 1996.** La cuenca visual en el análisis del paisaje, Serie Geografía, Vol. 6, pp. 99-113, Departamento de Geografía Universidad de Alcalá, España.
- THORNBURY, W., 1954.** Principles of geomorphology, 2da Edition, Department of Geology, Indiana University, New York-London, John Weley & asoc.
- TOGNO, F., 1968.** Ferrocarriles, Representación y servicios de ingeniería, S.A., México.

**UZZATEGUI, F. y MENDOZA, G., 1982.** Levantamiento de información básica en vegetación y uso actual de la cuenca del río Las González, (Fase III), Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Mérida.

**UFORGA, 1997.** Evaluación Ambiental-Territorial del Ámbito Geográfico de la Zona Libre Cultural, científica y Tecnológica del Estado Mérida, Diagnostico ambiental- Territorial, Geología y Geomorfología, Universidad de los Andes, Mérida.

**UFORGA, 1997.** Evaluación Ambiental-Territorial del Ámbito Geográfico de la Zona Libre Cultural, científica y Tecnológica del Estado Mérida, Diagnostico ambiental- Territorial, Unidades climáticas y recursos hídricos, Universidad de los Andes, Mérida.

**UFORGA, 1997.** Evaluación Ambiental-Territorial del Ámbito Geográfico de la Zona Libre Cultural, científica y Tecnológica del Estado Mérida, Diagnostico ambiental- Territorio., Análisis de sensibilidad ambiental, Universidad de los Andes, Mérida.

**VALERO, M., 1986.** Estudio Socio económico de las Cuencas de “Las González”, con fines de ordenamiento territorial, Trabajo especial de grado, para optar al título de Geógrafo. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Geografía, Mérida.

**VILCHEZ, J., 2000.** Introducción a los Sistemas de Información Geoespacial, Universidad de los Andes, Consejo de Desarrollo Científico y Tecnológico, Venezuela.

**WATERSTON, A., 1969.** Planificación de Desarrollo, Fondo de Cultura Económica, México.

ANEXO I

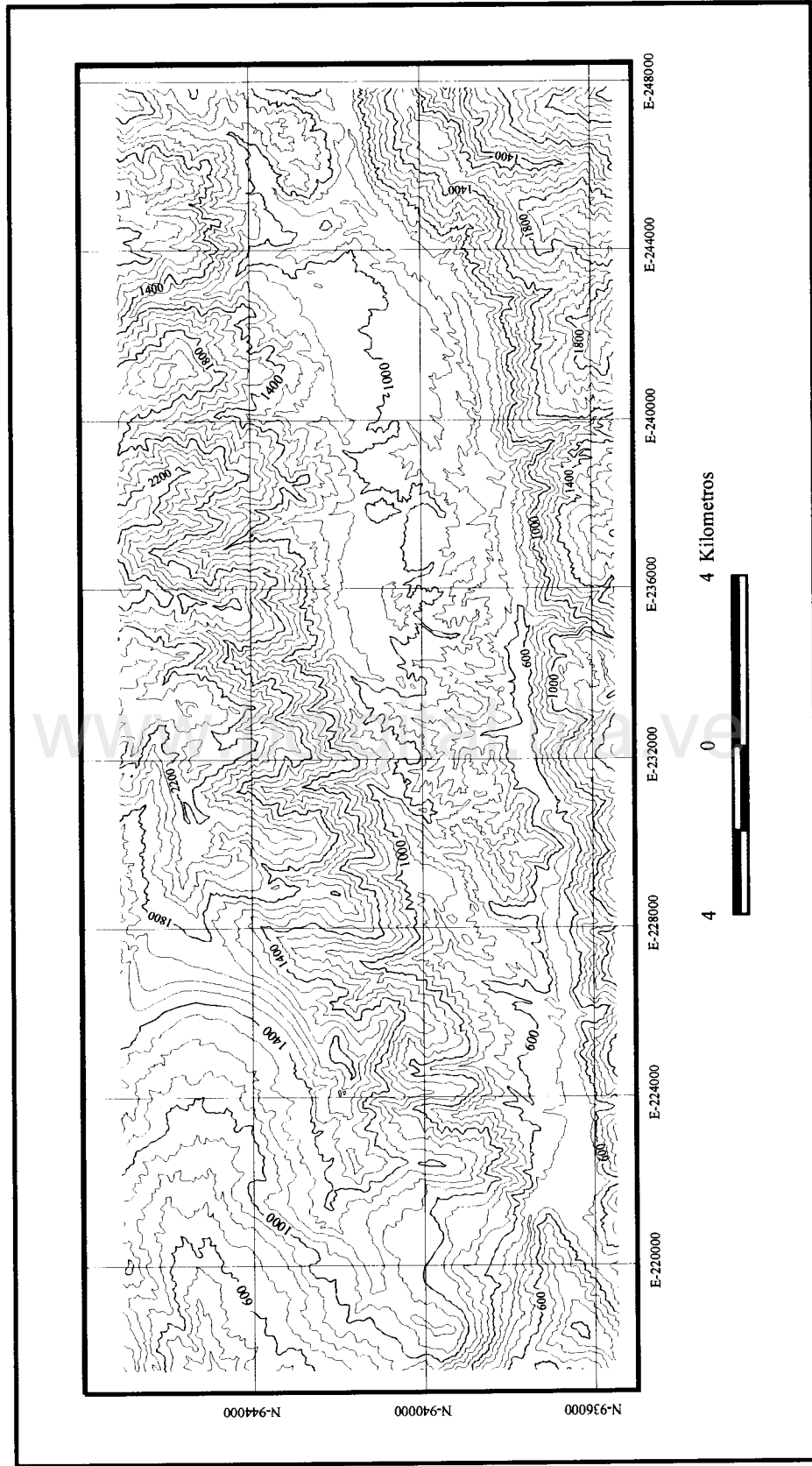


Figura 36. Curvas de nivel digitalizadas  
Fuente: cartas 1: 25000 de Cartografía Nacional del año 1952

## ANEXO II: Verificación del MDE

Para la generación del modelo definitivo a utilizar en este estudio, ya se corrigieron muchos de los problemas atributivos asociados a la capa de curvas de nivel. Por esta razón, y partiendo del hecho de que los errores introducidos en el proceso de digitalización y los provenientes de la fuente cartográfica son aceptables, se realiza una valoración del error aleatorio a través del cálculo del Error Medio (EM) y el Error Medio Cuadrático (EMC). El error local de un punto  $i$  ( $e_i$ ), se define como la diferencia entre la altitud en el MDE y la del punto de verificación:  $e_i = Z_i - Z_j$ . Dado un conjunto de  $n$  puntos de control, el EM para este conjunto de datos se define como:

$$EM = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n e_i$$

El EM para un conjunto dado de puntos de control tiene interés para comprobar si las desviaciones del modelo son aleatorias o no. En el primer caso, EM no será significativamente diferente de cero. Sin embargo, como las desviaciones positivas y negativas se anulan, el EM no es una medida válida de la calidad del MDE, siendo lo más habitual utilizar el ECM, que se calcula mediante la expresión:

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n^2} * \sum_{i=1}^n e_i^2}$$

El uso de estadísticos permite una evaluación objetiva de la calidad de los MDE sí, del mismo modo que en el caso de la cartografía convencional, se plantea unas reglas de calidad o baremos para los MDE. Para la aplicación de un baremo se asume que los grandes errores han sido corregidos, así como los posibles errores sistemáticos y sólo resta la componente aleatoria (Felicísimo, 1997).

Vista así, la fase de verificación permitirá conocer el grado de fiabilidad del

MDE creado. Para ello se calculó el error medio general del MDE. Este indicador fue obtenido a partir de una comparación entre una muestra de 64 puntos (X,Y) con altitudes reales conocidas, obtenidas a partir de un muestreo aleatorio simple aplicado sobre el modelo y sus homólogos en el MDE. La distribución de los puntos utilizados se muestra en la figura 37.

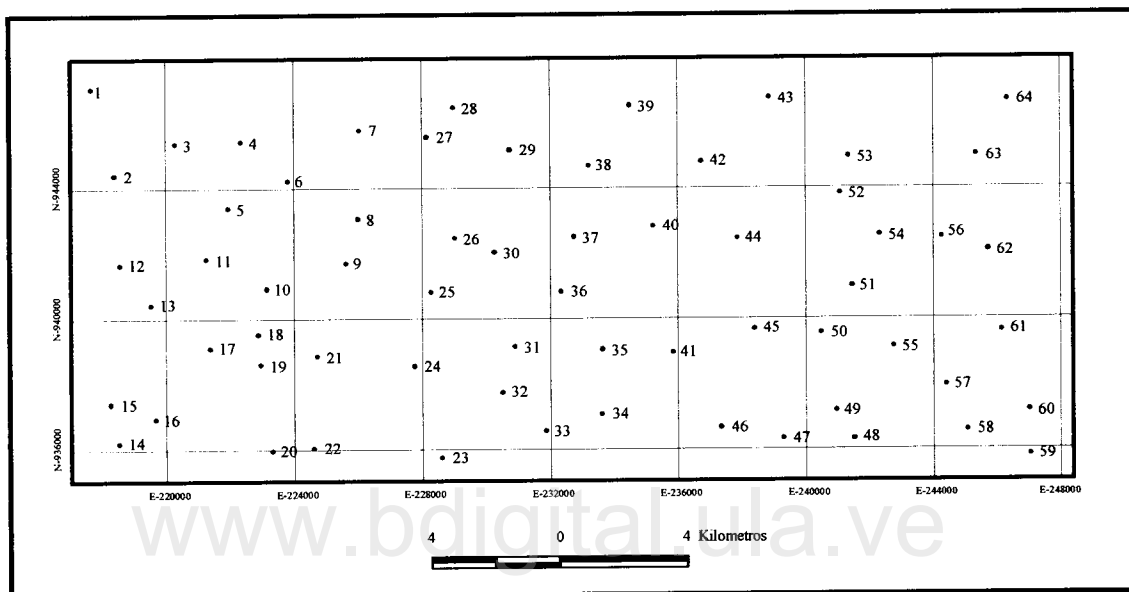


Figura 37. Distribución de los puntos utilizados en la verificación del MDE.

Sobre esta muestra de puntos, cuyos valores de alturas en el mapa se obtuvieron por interpolación manual de datos entre dos curvas consecutivas, sobre mapas a escala 1:25.000 (el MDE fue obtenido a partir de curvas digitalizadas sobre estos mapas a escala 1:25.000), fue posible, además de obtener el error medio, calcular el error medio cuadrático.

Por su parte el valor de  $EM = 1.30$  metros y  $EMC = 0.91$  metros obtenidos al aplicar las ecuaciones correspondientes se considera adecuado.

La tabla 9 muestra los puntos considerados en la verificación del modelo. Cada punto muestra su coordenada X, Y, el valor de altura obtenido para ese punto en el modelo y el obtenido en la cartografía 1:25.000. También se muestra la diferencia entre Z real y Z estimada y los resultados de EM y EMC.

Tabla 9. Puntos utilizados en la verificación del MDE.

No.	X	Y	Zmodelo	Zmapa	RESIDUAL $e_i$	RESIDUAL $e_i^2$
1	217664.33	947085.80	809.61	800.00	9.61	92.3521
2	218380.39	944413.09	502.51	500.00	2.51	6.3001
3	220278.81	945381.29	593.35	600.00	-6.65	44.2225
4	222335.82	945446.40	836.28	836.64	-0.36	0.1296
5	221932.04	943408.79	1101.92	1100.00	1.92	3.6864
6	223801.05	944234.12	1097.72	1100.00	-2.28	5.1984
7	226041.09	945786.85	1363.00	1365.25	-2.25	5.0625
8	225997.52	943088.12	1688.41	1700.00	-11.59	134.3281
9	225615.19	941701.43	1553.42	1548.14	5.28	27.8784
10	223134.32	940924.13	1304.13	1300.00	4.13	17.0569
11	221254.64	941846.29	1298.70	1300.00	-1.30	1.69
12	218545.37	941658.87	941.89	941.74	0.15	0.0225
13	219516.79	940425.31	1100.47	1100.00	0.47	0.2209
14	218512.95	936199.39	992.68	1000.00	-7.32	53.5824
15	218247.24	937403.22	653.32	657.84	-4.52	20.4304
16	219651.11	936943.62	791.16	800.00	-8.84	78.1456
17	221360.95	939099.60	901.63	900.00	1.63	2.6569
18	222867.41	939520.43	1187.98	1200.00	-12.02	144.4804
19	222948.02	938602.44	1090.83	1100.00	-9.17	84.0889
20	223303.78	935966.34	594.07	600.00	-5.93	35.1649
21	224713.13	938865.15	811.40	800.00	11.40	129.96
22	224598.57	936045.53	688.82	700.00	-11.18	124.9924
23	228600.56	935745.36	1087.89	1100.00	-12.11	146.6521
24	227752.07	938549.31	814.46	800.00	14.46	209.0916
25	228273.74	940813.49	1295.00	1300.00	-5.00	25
26	229017.36	942485.89	1697.48	1700.00	-2.52	6.3504
27	228141.76	945573.54	1837.03	1837.22	-0.19	0.0361
28	228977.12	946486.18	1801.01	1800.00	1.01	1.0201
29	230738.51	945169.45	2193.74	2200.00	-6.26	39.1876
30	230258.42	942036.79	1791.99	1800.00	-8.01	64.1601
31	230897.25	939144.91	892.77	900.00	-7.23	52.2729
32	230500.76	937731.09	797.51	800.00	-2.49	6.2001
33	231856.35	936565.27	1089.35	1100.00	-10.65	113.4225
34	233613.26	937071.49	890.75	900.00	-9.25	85.5625
35	233635.57	939054.87	858.17	857.48	0.69	0.4761
36	232336.66	940821.03	1103.87	1100.00	3.87	14.9769
37	232740.86	942514.30	1597.64	1600.00	-2.36	5.5696
38	233201.44	944681.65	2298.24	2300.00	-1.76	3.0976
39	234492.07	946537.61	2358.77	2360.62	-1.85	3.4225
40	235215.49	942848.24	1509.90	1500.00	9.90	98.01
41	235835.93	938962.00	807.17	800.00	7.17	51.4089

### **ANEXO III : Glosario de términos del programa IDRISI 2.01 bajo Windows, que fueron empleados en el trabajo**

**AREA:** mide el área asociada a cada categoría en una imagen raster con datos de tipo entero. El resultado puede obtenerse en forma de tabla, como una imagen en la que cada píxel tomará el valor del área que ocupa la categoría a la que pertenece o mediante un archivo de atributos en el que aparecerá listada cada categoría y el área que ocupa.

**ASSIGN:** genera una nueva imagen uniendo la localización geográfica de unos elementos, definida en una imagen raster, con sus atributos, definidos en un archivo de valores. La separación de atributos y localización geográfica permite utilizar las posibilidades de una hoja de cálculo y de paquetes de base de datos como una parte integral del sistema de IDRISI para Windows. Un claro ejemplo sería el caso en el que una sencilla imagen define la delimitación de áreas censales, mientras que los numerosos atributos asociados a ella son introducidos, almacenados y parcialmente analizados en una hoja de cálculo. Sólo cuando necesitemos generar un mapa con un atributo en particular, utilizaremos ASSIGN para crear esa imagen. Por otro lado, ASSIGN puede utilizarse como un módulo de reclasificación rápida siempre que los datos de la imagen sean de tipo entero.

**COST:** genera una superficie de distancias/proximidad (también denominada superficie de costes), donde la distancia se mide como el mínimo esfuerzo de movimiento sobre una superficie de fricción.

La unidad de medida es el "equivalente de celda". Un equivalente de celda de 1 indica el coste de movimiento de atravesar una celda cuando la fricción es igual a 1. Un coste de 5 equivalentes de celda podría significar un movimiento a través de 5 celdas con fricción 1 ó 1 celda con fricción 5.

Los costes se determinan radialmente a los ejes de la imagen, desde una serie de objetos de referencia.

**LINERAS:** rasteriza archivos vectoriales de líneas. En este proceso de conversión, se actualiza una imagen raster con los valores de atributo de las líneas de un archivo vectorial, en las áreas de coincidencia entre ambos archivos.

**OPERADOR DE IMÁGENES:** es un módulo interactivo de construcción de expresiones que agrupa las funciones de OVERLAY, SCALAR, TRANSFOR y parte de RECLASS. La mayoría de las operaciones realizadas por estos módulos pueden ejecutarse desde OPERADOR DE IMÁGENES con mucho menos esfuerzo y sin la necesidad de utilizar macros. OPERADOR DE IMÁGENES dispone de dos tipos de operaciones: Expresiones Matemáticas y Expresiones Lógicas. Ambos tipos de expresiones pueden introducirse directamente en el editor de expresiones desde el teclado o presionando con el ratón sobre las propias teclas del editor.

**ORTHO:** visualiza e imprime perspectivas tridimensionales de imágenes raster de IDRISI para Windows. Generalmente, se visualizan imágenes de topografía (MDT), aunque puede visualizarse cualquier imagen de IDRISI para Windows. A esta imagen de topografía se le puede superponer una segunda (temática).

**OVERLAY:** genera una nueva imagen a partir de los datos de dos imágenes de entrada. Los nuevos valores son el resultado de aplicar una de las nueve posibles operaciones a las dos imágenes de entrada, denominadas como primera y segunda imagen durante el proceso de funcionamiento.

**PATHWAY:** determina el camino de coste mínimo entre una o más celdas objetivo y una o más celdas terminales (con los valores más bajos) de una superficie de coste acumulado. PATHWAY se usa en conjunción con COST. COST determina la distancia de coste desde una o más celdas. Los puntos más bajos de esta superficie representan los puntos terminales para el módulo PATHWAY. A partir de esta superficie de coste, PATHWAY determina el camino de mínimo coste que enlaza la celda terminal y la

celda objetivo. Se genera una imagen binaria donde el camino de mínimo coste posee valor uno y el fondo valor cero.

**POINTRAS:** rasteriza archivos vectoriales de puntos. En este proceso de conversión, se actualiza una imagen raster con los valores de atributo de los puntos de un archivo vectorial, en las áreas de coincidencia entre ambos archivos.

**POLYRAS:** rasteriza archivos vectoriales de polígonos. En este proceso de conversión, se actualiza una imagen raster con los valores de atributo de los polígonos de un archivo vectorial, en las áreas de coincidencia entre ambos archivos.

**SURFACE:** calcula las pendientes y orientaciones, y genera una imagen de iluminación del relieve a partir del modelo digital del terreno.

**VIEWSHED:** determina todas las celdas visibles desde uno o más puntos (celdas) de observación situados en una superficie topográfica. El resultado es una nueva imagen en la que a las celdas visibles se les asigna un valor 1, a las celdas con los puntos de observación un valor 2, y a las celdas no visibles un valor 0.