



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN**



**LABORATORIO DE PROCESAMIENTO INTELIGENTE DE  
INFORMACIÓN GEO-ESPACIAL (PIIG)**

**Conceptualización de Aspectos Geométricos en el  
Contexto de Datos Geo-Espaciales**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**PRESENTA:**

**Karina Verastegui Barranco**

**DIRECTORES DE TESIS**

**M. en C. Marco Antonio Moreno Ibarra  
M. en C. Miguel Jesús Torres Ruiz**

**MÉXICO, D.F.**

**JUNIO 2007**

# AGRADECIMIENTOS

A *Dios*, por darme la oportunidad de vivir, por los pequeños y bellos detalles, por cada cosa que me has dado, por cada cosa que has negado, por tu amor y tu bondad, por embriagarme de luz y de energía con solo mirar al cielo, gracias Padre.

A mi papá *Alfredo Verastegui*, gracias por tu apoyo, tu cariño, por tus atenciones, tu comprensión, sobre todo por tu paciencia. Gracias papá de corazón. Te quiero mucho.

A mi madre *Mercedes Barranco*, por ayudarme y haberme dado fuerzas toda mi vida. Te quiero mucho mami.

A mi *familia* de la que cada vez disfruto más.

A mi guía espiritual *Antonello Scano*, por enseñarme y guiarme a encontrar el verdadero sentido de la vida.

A *Vincenzo Bianchi*, *il piu bell'amore è quello che apre la tua anima e ci ispira a cercare il meglio, è quello che brucia il cuore e anche porta pace, è quello che mi hai dato solo perché esisti. Dedico un pezzo della mia vita a te qualunque posto tu ci sia.*

A *Marco Moreno-Ibarra* por haberme abierto las puertas, por creer en mí por toda la fuerza inyectada para lograr este proyecto y aunque nunca te lo he dicho esta tesis no hubiera sido lo mismo sin tus sabios consejos. Eres un maravilloso ser, gracias por todo tu apoyo.

*“Ho cercato nel mare ed nelle montagne  
Ho domanciato agli uccelli ed ai pesci  
Ma non ho trovato  
la dedica che meriti”  
Ti voglio bene*

A cuatro amigas fenomenales que Dios las ha puesto en mi camino durante mi estancia en el CIC, *Citla, Anabell, Betty y Pao*, por su incondicional apoyo profesional y moral. ¡Son un cielo!

A mis *amigos y compañeros* del PIIG por todo su apoyo.

A mis amigos de toda la vida *Nancy, Laura, Iván, Vivian, Susana, Rosangela, Alfredo, René, P. Fer*, por estar cerca de mí en los momentos buenos y en los más difíciles.

A la memoria de *Gerardo* al que le debo tanta poesía que nunca podré pagar.

*Quanto è magnifico il tuo nome su  
tutta la terra, o Eterno, Signor  
nostro, che hai posto la tua maestà  
al di sopra dei cieli!*

*Dalla bocca dei bambini e dei  
lattanti tu hai stabilito la lode a  
motivo dei tuoi nemici, per far  
tacere il nemico e il vendicatore.  
Quando considero i tuoi cieli, e  
che, sono opera delle tue dita, la  
luna e le stelle che tu hai disposte,  
che cosa è l'uomo, perché te ne  
ricordi, e il figlio dell'uomo,  
perché lo visiti?*

*Eppure tu lo hai fatto di poco  
inferiore a DIO, e lo hai coronato  
di gloria e di onore.  
Lo hai fatto regnare sulle opere  
delle tue mani e hai posto ogni  
cosa sotto i suoi piedi!*

*Pecore e buoi tutti quanti, e anche  
le fiere della campagna, gli uccelli  
del cielo e i pesci del mare, tutto  
quello che passa per i sentieri del  
mare. O Eterno, Signor nostro,  
quanto è magnifico il tuo nome in  
tutta la terra!*

*Salmi 8*

*Señor, Dios nuestro,  
que admirable es tu nombre en  
toda la tierra,  
en toda la tierra.*

*Cuando contemplo el cielo,  
obra de tus dedos,  
la luna y las estrellas que has  
creado.*

*Qué es el hombre para que te  
acuerdes de él; el ser humano,  
para darle poder.  
Qué es el hombre para que te  
acuerdes de él;  
el ser humano, para darle poder.*

*Lo hiciste poco inferior a los  
ángeles, lo coronaste de gloria y  
dignidad, le diste el mando sobre  
las obras de tus manos, todo lo  
sometiste bajo sus pies.*

*Rebaños de ovejas y toros, y  
hasta las bestias del campo, las  
aves del cielo, los peces del mar,  
todo lo sometiste bajo sus pies.*

*Salmo 8*

# ÍNDICE

---

	Página
Resumen.....	1
Abstract .....	2
Agradecimientos .....	3
Índice de Figuras .....	9
Índice de Tablas .....	14
CAPÍTULO I Introducción.....	15
1.1. Fundamentos de la tesis.....	15
1.2. Objetivos.....	18
1.3. Justificación.....	19
1.4. Alcances de la tesis.....	21
1.5. Planteamiento del problema.....	21
1.6. Estructura del informe de la tesis.....	23
CAPÍTULO II Estado del Arte.....	25
2.1. Geometría computacional aplicada en los SIG .....	25
2.1.1. Geometría del OGC.....	26
2.1.2. Descripción de clases del OGC.....	28
2.1.2.1. Clase geometría.....	28
2.1.2.2. Clase colección geométrica.....	29
2.1.2.3. Clase punto.....	29
2.1.2.4. Clase LineString, Line y Linear Ring.....	30
2.1.2.5. Clase MultiLineString.....	30

2.2. Medidas geométricas .....	31
2.3. Conceptualización.....	35
2.3.1. Conceptualización de la sinuosidad de ríos... ..	36
2.3.2. Semántica espacial.....	38
2.3.3. Jerarquías.....	41
2.3.4. Representación conceptual.....	44
2.3.4.1. El enfoque proposicional.....	44
CAPÍTULO III Marco Teórico .....	46
3.1. Estructura vectorial.....	46
3.1.1. Representando datos vectoriales.....	48
3.1.2. Evolución en la información geo-espacial.....	51
3.1.3. ARC/INFO.....	52
CAPÍTULO IV. Metodología Propuesta.....	55
4.1. Introducción.....	55
4.2. Descripción del dominio.....	56
4.2.1. Redes hidrológicas.....	56
4.2.1.1 Atributos de corrientes de agua.....	58
4.2.2. Carreteras.....	59
4.2.2.1. Atributos.....	59
4.2.3. Taxonomía propuesta.....	60
4.3. Metodología propuesta.....	61
4.3.1. ETAPA 1 Medición de los objetos geo-espaciales.....	62
4.3.1.1. Selección de la medición adecuada .....	64
4.3.1.2. Cálculo de la medida de longitud en ríos.....	64
4.3.1.3. Cálculo de la medida de sinuosidad en ríos.....	66
4.3.2. ETAPA 2 Clasificación en intervalos.....	67
4.3.2.1. Escala de medición y resultados de la Etapa 2.....	68
4.3.2.2. Definición de clases.....	69
4.3.3. ETAPA 3 Generación de la representación conceptual.....	70

4.3.3.1 Asignación de conceptos y resultados de la Etapa 3.....	71
4.3.4. ETAPA 4 Validación.....	74
4.3.4.1 Tipos de error.....	77
CAPÍTULO V Pruebas y Resultados .....	80
5.1. Introducción.....	80
5.2. Descripción y diseño de las funciones para realizar mediciones en redes hidrológicas.....	81
5.3. Implantación de la validación.....	85
CAPÍTULO VI Conclusiones.....	112
6.1 Conclusiones.....	112
6.2 Resultados científicos.....	114
6.3 Trabajo a futuro.....	114
6.4 Publicaciones en congresos.....	116
Anexo I MEDICIONES GEOMÉTRICAS.....	116
A.1.1. Determinación del área.....	117
A.1.2. Perímetro de la cuenca.....	118
A.1.2.1. Forma de la cuenca.....	118
A.1.2.1.1. Factor de forma.....	119
A.1.2.1.2. Índice de alargamiento.....	120
A.1.2.1.3. Índice asimétrico.....	120
A.1.2.1.4. Pendiente media de la cuenca.....	121
A.1.2.1.5. Método de Alvord.....	121
A.1.2.1.6. Red de drenaje.....	121
A.1.2.1.7. Orden de las corrientes.....	121
A.1.2.2. Dirección de flujo del río.....	122
Anexo II Sistemas de Información Geográfica.....	126
B.2.1. ¿Qué es un GIS? .....	126
B.2.1.1. Componentes de un GIS.....	127

B.2.1.2. Bases de Datos Geográficas, Sistemas de Información Geográfica y OGC.....	129
B.2.1.2.1. Bases de Datos Geográficas (BDG's).....	130
B.2.1.2.2 Ventajas y Desventajas de una base de datos geográfica...	131
B.2.1.3. Datos espaciales.....	132
B.2.1.4. Tipos de datos.....	133
Anexo III Código fuente.....	135
Anexo IV Formato de la encuesta.....	142
Anexo V Resultados obtenidos por la encuesta.....	144
Anexo VI Perfil de lo expertos encuestados.....	146
Referencias.....	147

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

	Página
CAPÍTULO I	
Figura 1.1	Proceso de evaluación, orientado a generar una representación conceptual ..... 17
Figura 1.2	Generalización de red hidrológica..... 17
Figura 1.3	(a) Representación textual, (b) representación grafica..... 19
Figura 1.4	Avances en el análisis de geométrico..... 20
Figura 1.5	Esquema de conceptualización..... 23
CAPÍTULO II	
Figura 2.1	Tipos de Geometría, definida por OGC..... 29
Figura 2.2	Diferentes tipos de <i>LineString</i> ..... 30
Figura 2.3	Diferentes tipos de <i>MultiLineString</i> ..... 31
Figura 2.4	Características de ríos..... 32
Figura 2.5	Clasificación Morfológica de ríos..... 37
Figura 2.6	Clasificación de sinuosidad..... 37
Figura 2.7	Triángulo semántico [Werner 2005]..... 38
Figura 2.8	En (a) ejemplo de una taxonomía, (b) jerarquía que contiene solo una relación y su partición es completa, (c) ontología con una partición completa y un conjunto de relaciones..... 39
Figura 2.9	Árbol inducido por la jerarquía $H_1$ ..... 41
Figura 2.10	Un conjunto que demuestra la confusión entre sus elementos..... 43
Figura 2.11	Jerarquía de los tipos de Geometría, es decir los tipos de atributos espaciales de una entidad. [OpenGIS SQL, 2002]..... 43
CAPÍTULO III	
Figura 3.1	Componentes del modelo vectorial..... 47
Figura 3.2	Estructura para objetos geo-espaciales..... 48
Figura 3.3	Ilustración de convenciones..... 49
Figura 3.4	Relación entre bordes y objetos línea..... 49
Figura 3.5	Relación entre bordes y objetos área..... 50
Figura 3.6	Evolución en la información geo-espacial [Worboys, Duckham 2004]..... 51

Figura 3.7	Módulos ARC/INFO.....	52
Figura 3.8	Arquitectura de ARC/INFO.....	53
CAPÍTULO IV		
Figura 4.1	Proceso para generar una representación explícita.....	56
Figura 4.2	Esquema simplificado de una cuenca.....	57
Figura 4.3	Tipos de redes hidrológicas.....	58
Figura 4.4	Taxonomía propuesta.....	60
Figura 4.5	Esquema Metodológico.....	62
Figura 4.6	Medición de objetos geo-espaciales (Etapa 1).....	63
Figura 4.7	Clasificación de medidas de la geometría de forma.....	64
Figura 4.8	Longitud de una curva.....	65
Figura 4.9	(a) Sinuosidad de un arco, (b) Ejemplos de sinuosidad.....	66
Figura 4.10	Análisis y resultado de mediciones.....	67
Figura 4.11	Clasificación en Intervalos (Etapa 2).....	68
Figura 4.12	Generación de la representación conceptual (Etapa 3).....	70
Figura 4.13	(a) Objetivo del dominio, (b) Fuente del dominio.....	71
Figura 4.14	(a) Conjuntos, (b) correspondencia matemática.....	72
Figura 4.15	(a) Conjuntos X e Y, (b) Mapeo del conjunto X al B.....	73
Figura 4.16	Correspondencia entre el concepto obtenido por el sistema y el de expertos.....	74
Figura 4.17	Selección de fragmento de la taxonomía.....	75
Figura 4.18	Fragmento de la taxonomía propuesta; de la sinuosidad de ríos.....	75
Figura 4.19	La confusión entre elementos de la taxonomía de ríos.....	76
Figura 4.20	Fragmento de la taxonomía propuesta; de la sinuosidad de carreteras..	76
Figura 4.21	La confusión entre elementos de la taxonomía de carreteras.....	76
CAPÍTULO V		
Figura 5.1	Cobertura de ríos a analizar.....	82
Figura 5.2	(a) Resultados de la longitud de cada río, (b) Longitud almacenada en la base de datos.....	82
Figura 5.3	(a) Resultados de sinuosidad de cada río, (b) Sinuosidad almacenada en la base de datos.....	83
Figura 5.4	Clasificación de ríos por Horton y Strahler.....	84

Figura 5.5	Clasificación de ríos en subsistemas.....	84
Figura 5.6	(a) Río número 1 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	85
Figura 5.7	(a) Base de Datos espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	86
Figura 5.8	Grafica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 1.....	86
Figura 5.9	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 1....	87
Figura 5.10	(a) Río número 4 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	87
Figura 5.11	(a) Base de Datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	87
Figura 5.12	Grafica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 4.....	88
Figura 5.13	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 4....	88
Figura 5.14	(a) Río número 8 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	89
Figura 5.15	(a) Base de Datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	89
Figura 5.16	Grafica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 8.....	90
Figura 5.17	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 8....	90
Figura 5.18	(a) Río número 11 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	90
Figura 5.19	(a) Base de Datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	91
Figura 5.20	Grafica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 11.....	91
Figura 5.21	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 11.....	92
Figura 5.22	(a) Río número 12 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	92
Figura 5.23	(a) Base de Datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	93
Figura 5.24	Grafica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 12.....	93
Figura 5.25	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 12.....	94
Figura 5.26	(a) Río número 14 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	94
Figura 5.27	(a) Base de Datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	94
Figura 5.28	Grafica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 14.....	95
Figura 5.29	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 14.....	95
Figura 5.30	(a) Río número 16 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	96
Figura 5.31	(a) Base de Datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	96
Figura 5.32	Grafica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 16.....	96

Figura 5.33	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 16.....	97
Figura 5.34	(a) Río número 17 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	97
Figura 5.35	(a) Base de Datos espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	98
Figura 5.36	Grafica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 17.....	98
Figura 5.37	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 17.....	99
Figura 5.38	Graficación final de conceptos de ríos seleccionados.....	99
Figura 5.39	(a) Carretera número 2 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	100
Figura 5.40	(a) Base de Datos espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	100
Figura 5.41	Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 2.....	101
Figura 5.42	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 2.....	101
Figura 5.43	(a) Carretera número 3 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	102
Figura 5.44	(a) Base de Datos espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	102
Figura 5.45	Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 3.....	103
Figura 5.46	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 3.....	103
Figura 5.47	(a) Carretera número 9 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	104
Figura 5.48	(a) Base de Datos espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	104
Figura 5.49.	Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 9.....	105
Figura 5.50	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 9.....	105
Figura 5.51	(a) Carretera número 15 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	106
Figura 5.52	(a) Base de Datos espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	106
Figura 5.53	Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 15.....	107
Figura 5.54	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 15.....	107
Figura 5.55	(a) Carretera número 17 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada.....	108
Figura 5.56	(a) Base de Datos espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta.....	108
Figura 5.57	Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 17.....	109
Figura 5.58	La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 17.....	109
Figura 5.59	Graficación final de conceptos de carreteras.....	110

ANEXO I

Figura A1.	Área (km <sup>2</sup> ) y delimitación del parteaguas de una cuenca.....	118
Figura A2.	Formas de cuencas.....	119
Figura A3.	Índice de alargamiento.....	120
Figura A4.	Estimación de la pendiente.....	121
Figura A5.	Línea de flujo.....	123
Figura A6.	Cuando $m=4$ .....	123
Figura A7.	Línea de flujo $a=1$ .....	124
Figura A8.	Diagonal de pendiente.....	125

ANEXO II

Figura B.1	Marco conceptual de un GIS.....	127
Figura B.2	Capas temáticas.....	132
Figura B.3	Modelo vectorial & raster.....	134

## ÍNDICE DE TABLAS

---

	Página
Tabla 2.1 Medidas sobre la geometría .....	33
Tabla 2.2 Descripción de algoritmos para la obtención de medidas.....	34
Tabla 4.1 Conceptualización de ríos.....	73
Tabla 4.2 Conceptualización de carreteras.....	73
Tabla A1. Descripción de algoritmos para la obtención de medidas.....	116
Tabla A2. Fórmulas adicionales para la obtención de medidas de forma.....	117

# RESUMEN

Hoy en día, existen ciertos problemas relacionados con el análisis, manipulación y representación de datos geográficos que no han podido resolverse en su totalidad utilizando los mecanismos computacionales tradicionales (por ejemplo, la generalización). Esto se debe a que la representación (representación cartográfica ya sea analógica o digital) requiere de la experiencia del usuario para sustentar las tareas de elaboración, análisis e interpretación de los datos geográficos o geo-espaciales. Por lo que la presente investigación esta enfocada en presentar una metodología para describir explícitamente la geometría de los objetos geo-espaciales, por medio de una representación conceptual que auxilie las tareas propias del manejo de datos digitales.

El método propuesto se basa en una conceptualización, que se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno del mundo del que se identifican los conceptos que son relevantes. Por otro lado, con la información geo-espacial representada explícitamente; es posible realizar razonamiento espacial, lo que permite analizar e interpretar los datos geográficos. Para la obtención de la representación conceptual se realizan tres etapas; la primera consiste en realizar una medición a los objetos geo-espaciales obteniendo como resultado valores cuantitativos que representan una propiedad. La segunda etapa consiste de una clasificación en intervalos de los valores obtenidos por la medición. Por último, la asignación de conceptos, la cual es obtenida por medio de un mapeo entre el valor obtenido por la medición y el concepto.

Finalmente, se realiza una validación, la cual consiste en conocer que tan buena es la correspondencia que existe entre dos diferentes conceptualizaciones, en este caso, una definida con base en una encuesta aplicada a usuarios de GIS y la segunda, definida por un grupo de expertos hidrólogos.

# ABSTRACT

Nowadays, certain problems related to the analysis, manipulation and representation of geographic data have not been totally solved, by using traditional computational mechanisms (for example, the generalization). This is due to that the representation (cartographic, analogical or digital representation) requires of the user's experience in order to support the analysis and interpretation of the geospatial data.

According to that, this dissertation is focused on explicitly defining a methodology to describe the geometry, by means of a conceptual representation of geospatial objects that aids in the tasks of handling digital data.

The method is based on a conceptualization that refers to an abstract model of a particular phenomenon of the real world. The abstraction model is composed of concepts, which are identified as the main features to make a human computer interaction. On the other hand, with the geospatial data explicitly represented, it is possible to perform semantic processing of spatial data. The method consists of three stages; the first one is based on the measurements of the geospatial object, it is oriented to extract the properties and represent them by means of quantitative values. The second is the classification stage it classifies the quantitative values on intervals. Third stage is the generation on conceptual representation, which is obtained by means of a mapping between the value obtained by the measurements and the concepts.

Finally, it is important to make a validation regarding the obtained values from the matching process. It consists of knowing the quality of the correspondence that exists between two conceptualizations. For this work, one of these conceptualizations is defined through a survey that has been applied to GIS users and the second it is defined by a hydrologic expert group.

# CAPÍTULO I

# INTRODUCCIÓN

*En este Capítulo de “Introducción” se define el marco general de la presente tesis denominada *Conceptualización de Aspectos Geométricos en el Contexto de Datos Geo-Espaciales*. En la Sección 1.1 se presentan los fundamentos de la tesis que llevarán a definir los objetivos, 1.2 justificación, la Sección 1.3 se describen los alcances de la tesis. En la Sección 1.4 se sintetiza el planteamiento del problema y la por último la Sección 1.5 se muestra la estructura del documento.*

## **1.1. Fundamentos de la tesis**

Hoy en día, existen ciertos problemas relacionados con el análisis, manipulación y representación de datos geográficos que no han podido resolverse en su totalidad utilizando los mecanismos computacionales tradicionales (por ejemplo, la generalización). Esto se debe a que la representación (representación cartográfica ya sea

analógica o digital) requiere de la experiencia del usuario para llevar a cabo las tareas de elaboración, análisis e interpretación de los datos geográficos. Por lo que la presente investigación esta enfocada en presentar una metodología para describir explícitamente la geometría de los objetos geo-espaciales, por medio de una representación conceptual que auxilie las tareas propias del manejo de datos digitales. Esto se debe a que generalmente los modelos de datos geográficos representan un conjunto básico de objetos, con su geometría y sus propiedades descriptivas. Sin embargo, los aspectos relacionados con las propiedades geométricas únicamente pueden percibirse al visualizar los datos [Mustiere 2002].

Nuestra meta es realizar una *representación explícita*<sup>1</sup> de la geometría que poseen los datos geo-espaciales, con base en una *conceptualización*<sup>2</sup> del dominio geográfico enfocándose en las propiedades geométricas. La *conceptualización* se utiliza como base para cuantificar y describir la geometría de los objetos geográficos<sup>3</sup>. La cuantificación tiene como propósito extraer las propiedades que implícitamente están representadas. La descripción se realiza utilizando los términos definidos en la conceptualización. De forma más específica el método propuesto se basa en: *medición, clasificación*<sup>4</sup> y *representación conceptual*. A continuación se describirán estos procesos:

- *Medición*: Es el valor numérico asignado a una observación, la cual refleja la magnitud o la cantidad de una característica, que es la base para valorar las representaciones importantes de un objeto geográfico.
- *Clasificación*: Es la agrupación con base en atributos o relaciones comunes. Como resultado se obtienen grupos de objetos con características comunes.
- *Representación Conceptual*: Es la asignación de los conceptos respecto a las grupos de objetos definidos en la *conceptualización*.

En la Figura 1.1 se muestra un ejemplo del proceso de generación de la representación conceptual de las propiedades geométricas. Como se puede observar se muestra una zona

---

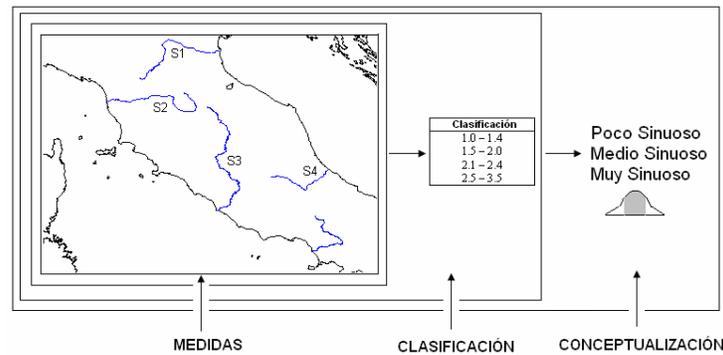
<sup>1</sup> La *representación explícita* es un esquema de representación del conocimiento, donde el conocimiento se almacena como lógica simbólica o alguna otra forma legible para el humano.

<sup>2</sup> *Conceptualización* es el modelo abstracto de un fenómeno que identifica los conceptos relevantes.

<sup>3</sup> Un *objeto geográfico* tiene referencia a la tierra y pertenece al dominio geográfico.

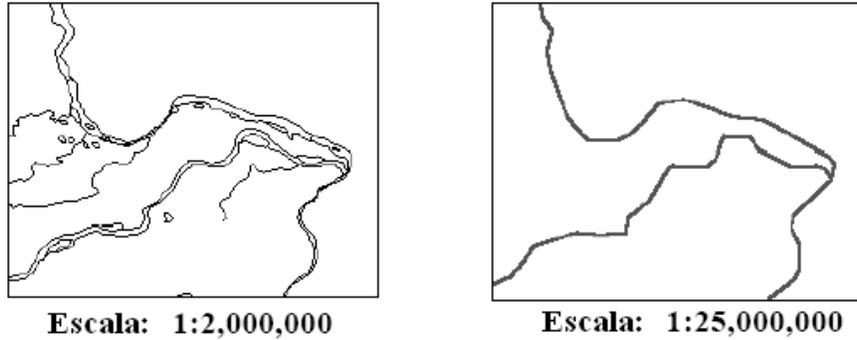
<sup>4</sup> La *clasificación* se realiza utilizando las restricciones que se establecen para pertenecer a una clase.

que contiene ríos (S1, S2, S3 y S4), se realizará una medición sobre cada objeto geográfico, obteniendo un valor numérico. De forma particular nos enfocaremos en la sinusoidad, que es la tendencia de un objeto lineal de ir de un lado a otro al otro a través del terreno, es decir, que tantos cambios de direcciones posee. Posteriormente los valores serán clasificados. Dicha clasificación sirve de base para identificar que concepto representa mejor la propiedad geométrica de un objeto por ejemplo los ríos S1 y S4 son “poco sinuosos”, el río S2 es “medio sinuoso” y el río S3 es “muy sinuoso”.



**Figura 1.1** Proceso de evaluación, orientado a generar una representación conceptual

Para estudiar con detalle la geometría de los objetos espaciales se han desarrollado diferentes algoritmos simples que reflejan en algunos aspectos las características básicas de la geometría. Por ejemplo, en la generalización de una red hidrológica existen algunos problemas geométricos, tales como líneas que se tornan angulosas y pierden detalle, así como nodos que son desplazados como se muestra en la Figura 1.2. La generalización cartográfica conduce a que existan contradicciones entre las exigencias de *exactitud geométrica* y la *coincidencia geométrica*. La *exactitud geométrica* de una visualización presupone que cada objeto de la superficie terrestre se represente en la cartografía exactamente en el mismo lugar con sus contornos y dimensiones, conservando correctamente las posiciones de todos los objetos y las distancias que los separan, de acuerdo con la escala.



**Figura 1.2.** Generalización de red hidrológica

Como se mencionó anteriormente, la geometría cambia al realizar una generalización. Así mismo, algunas propiedades son diferentes o se pierden. Por ejemplo, en la figura anterior la sinuosidad del río es diferente en la escala 1:2, 000,000 que 1:25, 000,000; por lo cual es importante analizar el cambio que existe en la forma geométrica de los datos espaciales. Una forma de hacerlo es obteniendo mediciones de las propiedades geométricas a analizar.

## 1.2. Objetivos

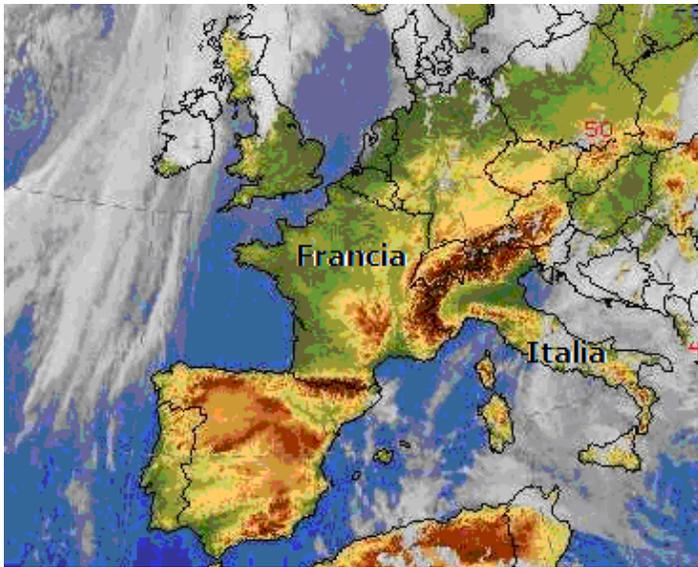
El **objetivo general** de la presente tesis es: Diseñar e implantar en un Sistema de Información Geográfica un descriptor capaz de representar explícitamente la geometría de datos geo-espaciales, por medio de conceptos relacionados con propiedades tales como tamaño, sinuosidad, longitud; así como otros aspectos importantes, con el propósito de conceptualizar y jerarquizar dicha geometría para aplicarla al procesamiento semántico de datos espaciales.

Las metas de la tesis son:

- Definición de las propiedades geométricas de los objetos geo-espaciales (en caso particular de esta tesis objetos geográficos representados por líneas), con el objetivo de identificar las propiedades o características que requieren medir.

- Diseño de una taxonomía que contenga la representación conceptual de los objetos geo-espaciales, en el caso particular de esta tesis la conceptualización de la sinuosidad de ríos y carreteras.
- Diseñar e implantar una metodología que obtengan valores cuantitativos (representan una propiedad) de los objetos geo-espaciales por medio de las mediciones.
- Definir un rango de clasificación, para la obtención de objetos clasificados en grupos según sea la propiedad, por ejemplo, la sinuosidad.
- Obtener una representación conceptual, la cual será obtenida por medio del mapeo realizado entre el concepto y el rango de clasificaciones. Dichos conceptos se almacenarán en la base de datos espacial, para facilitar el análisis y procesamiento de representaciones cartográficas.
- Realizar cuestionarios a un grupo de expertos con el objetivo de obtener una conceptualización y validar el rango de clasificación propuesto en esta tesis.
- Desarrollar medidas para evaluar diferencias entre conceptos a nivel local y global.

El caso particular de esta tesis, se propone una representación conceptual en los datos geo-espaciales, la cual no depende de un sistema de coordenadas, escala, formato, entre otras características, debido a que pretende emular la forma en que las personas interpretan los datos geográficos. Por ejemplo, en la Figura 1.3 (a) se tiene una representación gráfica de Europa donde aparecen identificados Italia y Francia y puede apreciarse sus características relaciones, forma y tamaño. Por otro lado en la Figura 1.3 (b) se muestra el predicado “Italia y Francia son países vecinos”, que representa la relación que existe entre ambos países.



(a)



(b)

**Figura 1.3.** (a) Representación gráfica, (b) Representación textual

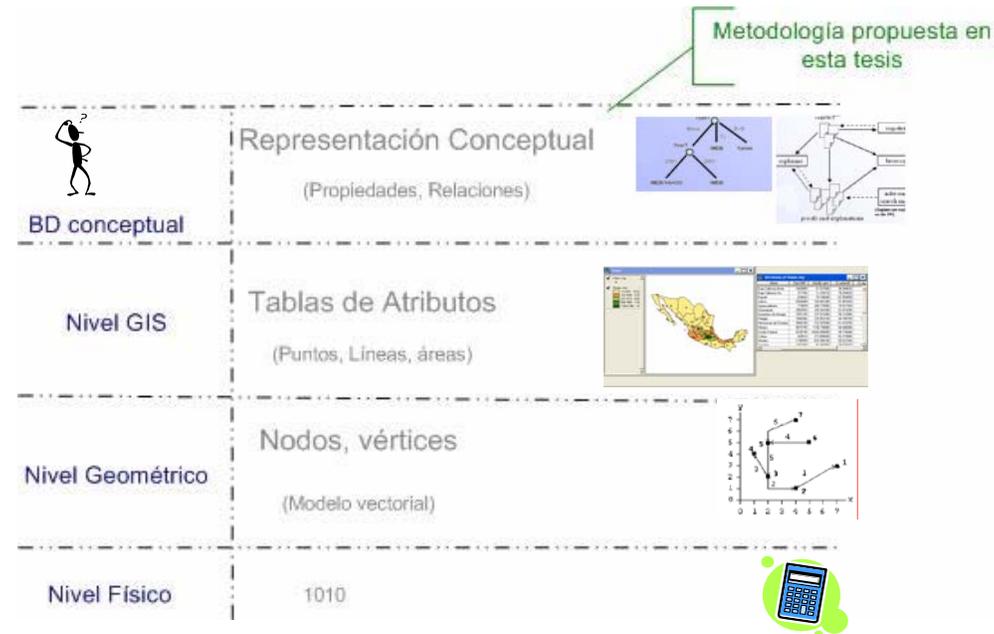
## 1.3. Justificación

Algunos aspectos innovadores de la tesis se presentan a continuación:

- Desarrollo de una metodología general para definir y describir explícitamente la geometría de objetos espaciales por medio de conceptos; sin la necesidad de depender de una escala, sistema de coordenadas o formato.
- La metodología propuesta tiene el objetivo de obtener una representación conceptual por medio de un mapeo entre un rango de clasificación y la representación conceptual.
- Obtención de una representación explícita de la geometría en la base de datos, usando este enfoque, se intenta reflejar el contenido semántico de los datos geoespaciales.

En la Figura 1.4, se muestran los diferentes niveles de análisis de los datos geográficos. Al nivel más bajo los datos se almacenan a nivel físico (es decir a nivel de bits). El siguiente nivel es nivel geométrico, donde los datos son analizados a un nivel geométrico con algoritmos simples y robustos (Sistemas de diseño asistido por computadora como

AutoCad). Posteriormente al un nivel SIG es posible contar con una nueva forma de almacenamiento de la información de los datos geo-espaciales; es decir, en tablas de atributos, lo cual hace posible realizar análisis de tipo cuantitativo (por ejemplo, un análisis geométrico, topológico, etc.), por medio de mediciones o relaciones. En la actualidad ya no es suficiente con solo contar con una medición, el objetivo es contar con una comprensión semántica de los objetos geo-espaciales. El enfoque de esta tesis es proponer una metodología que sea capaz de obtener una representación conceptual basada en propiedades y relaciones de los datos geo-espaciales.



**Figura 1.4.** Avances en el análisis geométrico

## 1.4. Alcance de la tesis

Principales alcances y aplicaciones son:

- Desarrollo de una investigación referida a la conceptualización por medio de mediciones, en el caso particular de esta tesis se analizará la forma geométrica de ríos y carreteras.
- Lo anterior puede ser usado en diferentes áreas como: generalización y descripción de cartográfica, entre otros.

- Se garantiza que los resultados obtenidos en este estudio son de utilidad tanto a nivel científico como para aplicación práctica. En este sentido, con este método, es posible jerarquizar los objetos, de acuerdo con las características geométricas.
- Este método puede emplearse para la población de ontologías en el contexto de datos geo-espaciales.
- Es posible comprimir datos geo-espaciales por medio de una propiedad, como lo es la sinuosidad.
- Los resultados obtenidos en este trabajo se transfieren a la sociedad científica o técnica por medio de publicaciones en congresos y revistas internacionales.

## **1.5. Planteamiento del problema**

La presente tesis pretende describir explícitamente la geometría de los objetos geo-espaciales, por medio de una conceptualización de propiedades geométricas. La conceptualización será obtenida por medio del análisis de las propiedades de objetos geográficos como tamaño, sinuosidad, concentración de puntos, así como otros aspectos importantes.

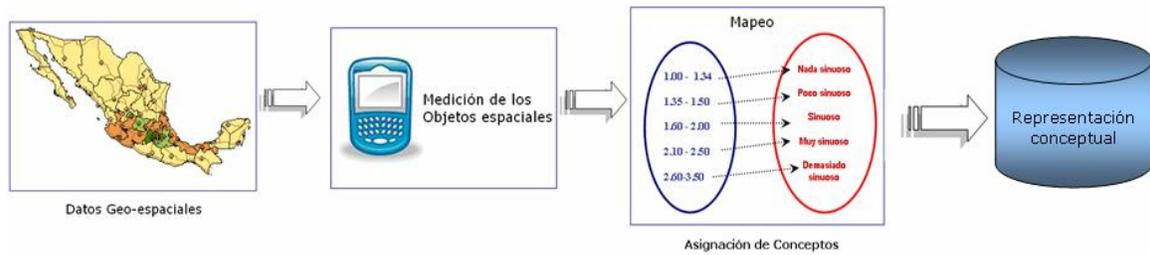
La metodología propuesta tiene el objetivo de obtener una representación conceptual, que se basa en la conceptualización de las características geométricas. El análisis y la representación conceptual parte del dominio del experto. El experto cuenta con una conceptualización de un dominio, es decir, sus conceptos e intervalos de un fenómeno. Para la obtención de la representación conceptual es necesario realizar una medición a los objetos geo-espaciales del dominio, el siguiente paso es realizar una clasificación en intervalos (según sea la conceptualización del experto) y posteriormente la asignación de conceptos (los cuales dependen de la representación conceptual de los expertos). Finalmente, se realiza la validación la cual consiste en conocer que tan buena es la correspondencia entre el concepto obtenido por el sistema y el conocimiento humano del

concepto. A continuación se describe brevemente el procedimiento para la obtención de la representación conceptual.

El procedimiento para la obtención de la representación conceptual consiste de 4 pasos, el paso (1) es la medición de los datos geo-espaciales; objetos punto (es decir, una ciudad) objetos lineales (es decir, un camino o río) y los objetos área (es decir, límite de estado federal o lago), por medio de algoritmos que evalúan las características geométricas.

El paso (2) es la asignación de conceptos, esta etapa se llevará a cabo por un mapeo entre la medición y el concepto. Para esto, es necesario contar con un rango de clasificación de los valores obtenidos por la medición de acuerdo con el atributo que se desea caracterizar. El siguiente paso (3) es la asignación de los conceptos es de acuerdo con la clasificación de los intervalos de las medidas. Los valores y los conceptos son diferentes de acuerdo con el caso de estudio. En otras palabras, cada temática debe ser representada por diferentes intervalos o conceptos. Es importante mencionar que los conceptos generados no son ambiguos, porque solamente pueden ser aplicados en un contexto específico (la forma geométrica), es decir, es diferente la sinuosidad de autopistas que la sinuosidad de ríos o curvas de nivel. Finalmente el paso (3), se realiza una validación, la cual consiste en conocer que tan buena es la correspondencia que existe entre el concepto obtenido por el sistema y el conocimiento humano del concepto.

A continuación se muestra en la Figura 1.4 el esquema del método propuesto para la conceptualización. La representación explícita es basa en la conceptualización de las propiedades geométricas. La conceptualización de las propiedades geométricas es obtenida por medio de una medición de los objetos geo-espaciales. Los valores obtenidos en las mediciones son clasificados para obtener grupos representativos que describirán las propiedades.



**Figura 1.4.** Esquema de conceptualización

## 1.6. Estructura del informe de la tesis

Como se mostró durante este Capítulo se hace referencia a los fundamentos del estudio, los objetivos, justificación, alcances de la tesis y el planteamiento del problema. De este modo, se proporciona el marco base del trabajo desarrollado.

El resto de la tesis esta organizado de la siguiente forma:

El Capítulo 2 sintetiza la recopilación de antecedentes y se describe el Estado del Arte de los temas relacionados con la problemática definida, los temas involucrados son: geometría computacional aplicada a los SIG, medidas geométricas sobre datos geográficos, conceptualización y semántica espacial.

El Capítulo 3 describe algunos aspectos que son necesarios para llevar a cabo esta investigación; y se explica brevemente el software de ARC/INFO en el cual se implantaron los algoritmos de esta tesis.

El Capítulo 4 presenta la formulación de la metodología desarrollada para la determinación de la conceptualización de Aspectos Geométricos en el Contexto de los Datos Geo-Espaciales; en donde se seleccionan las propiedades geométricas que se analizan en los objetos geo-espaciales de mayor interés, así mismo se presenta un análisis y diseño de mediciones en los objetos geo-espaciales.

El Capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos por la metodología propuesta anteriormente. En el caso particular de esta tesis las mediciones son realizadas en las temáticas de ríos y carreteras. Posteriormente, a los resultados obtenidos por dichas mediciones se les asigna un concepto. Esta conceptualización es validada a través de una encuesta realizada a un grupo de expertos.

El Capítulo 6 se presentan las conclusiones, recomendaciones y una propuesta de trabajos futuros.

Una lista de anexos se adjunta, tales como la descripción y formulación de algunas propiedades geométricas (Anexo I), la definición y propiedades de los SIG se muestra en el (Anexo II) el código fuente de la aplicación (Anexo III), formato de la encuesta realizada para la validación de la conceptualización (Anexo IV), los resultados obtenidos por la encuesta realizada se muestran en el (Anexo V), el perfil de los expertos encuestados se muestra en el (Anexo VI). Finalmente se presenta una lista de referencias utilizadas en esta tesis.

# CAPÍTULO II

## ESTADO DEL ARTE

*En este capítulo se presenta el estado del arte relacionado con la tesis, principalmente la descripción geométrica computacional aplicada en los SIG y algunos los trabajos relacionados.*

### **2.1. Geometría computacional aplicada en los SIG**

La geometría computacional es una de las áreas de las Ciencias de la Computación que se enfoca en el estudio de algoritmos para resolver problemas geométricos, utilizando como herramienta una computadora [Preparata y Shamos 1985]. Uno de los principales campos de aplicación son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (ver Anexo II).

En los últimos años los SIG han tenido un gran impacto en diversos campos [Laurini y Tompson 1992]. Esta área de investigación desarrollada desde 1975, a partir de los trabajos de [Shamos 1975] y [Shamos y Hoey 1975], los cuales buscaban algoritmos simples, robustos y eficientes, por medio de problemas prácticos como las consultas de proximidades entre puntos o intersecciones entre conjuntos de segmentos. Es importante mencionar que existen ciertos problemas cartográficos que no han podido resolverse en su totalidad utilizando los mecanismos computacionales tradicionales. Esto se debe a que la cartografía requiere la experiencia de un usuario experto en este campo para su elaboración, análisis e interpretación; ya que en la naturaleza existen muy diversas situaciones. Los cartógrafos hacen uso de recursos visuales tales como color, forma y patrones para comunicar la información sobre los objetos geográficos y las relaciones espaciales que existen entre ellos. Esos están orientados a representar la geometría (incluyendo la topología) de los objetos o sistemas de objetos geográficos y están bien desarrollados computacionalmente.

Por lo tanto, es importante mencionar que en este caso en particular, los datos geográficos serán caracterizados por propiedades espaciales (por ejemplo, ubicación, forma, tamaño) y propiedades no-espaciales, llamadas *atributos*. En este capítulo, consideramos solamente las características relacionadas con la representación y el procesamiento de los *aspectos geométricos de los datos geográficos*, con el énfasis especial, sobre la aplicación de la técnica de geometría computacional.

### **2.1.1. Geometría del OGC**

El *Open Geospatial Consortium* (OGC) es un organismo encargado de definir estándares denominados especificaciones para el uso de datos geográficos [OGC, 2004]. Algunas compañías que participan para la definición de especificaciones son: *Environmental Systems Research Institute Inc.* (ESRI), *IBM Corporation*, *Informix Software, Inc.* y *MapInfo Corporation*. Los estándares son definidos enfocándose en distintos aspectos como: sistemas de referencia, modelo geométrico, modelo topológico, servicios Web, entre otros.

En el Modelo de la Geometría definido por el *OGC*, la geometría es la combinación de una geometría de coordenadas y un sistema de referencia.

La geometría de coordenadas está compuesta por algunos de los siguientes elementos:

1. Una secuencia de puntos coordenados del mismo sistema de referencia.
2. Una colección de otras geometrías pertenecientes al mismo sistema de referencia.
3. Un algoritmo de interpretación, que usa estas geometrías y puntos coordenados para "construir" una entidad geométrica de coordenadas que define indirectamente la extensión de la geometría en tiempo y espacio. Nótese que las entidades geométricas pueden estar compuestas por otras entidades geométricas, y muchas entidades pueden compartir otras entidades geométricas como componentes.
4. Un sistema de referencia espacial que establece una relación entre la geometría de coordenadas y la ubicación; dando a la geometría una interpretación del mundo real.

Los *sistema de referencia espacial* son los sistemas de coordenadas, tanto planas, como geográficas en los que tiene sentido los valores de una geometría. Estos sistemas utilizan distintas entidades, como son: unidades angulares, unidades lineales, datum horizontal, elipsoide, meridiano principal, parámetros de las proyecciones cartográficas, entre otras.

La geometría puede ser simple o compleja. Las *instancias geométricas* simples están asociadas con un número determinado de puntos coordenados que están relacionados con puntos del "mundo real", mediante el uso de un sistema de referencia espacial que permanece constante para esta geometría particular. La *geometría compleja* esta constituida a partir de un determinado número de geometrías más simples. El *punto* es la más simple de las geometrías, y denota como su nombre lo indica, un *punto de coordenadas*. El significado de estas coordenadas viene dado por el sistema de referencia asociado y puede ser, por ejemplo, latitud y longitud en un determinado elipsoide. Los puntos son entidades geométricas de *dimensión cero*.

Las *curvas* son entidades geométricas unidimensionales, almacenadas usualmente como secuencias de puntos. Las más simples son las cadenas de *líneas* (*LineString*), que se interpolan linealmente entre los puntos almacenados. Los *anillos lineales* (*LinearRings*) son cadenas de líneas cerradas. Ejemplos de curvas son las cadenas de líneas y su caso más simple, la línea.

Las *superficies* son las entidades geométricas de *dimensión dos*. Los polígonos son ejemplos de superficies, los cuales se definen mediante un anillo exterior y un conjunto de anillos interiores que representan "huecos" del polígono.

Las *colecciones de geometrías* son colecciones de entidades geométricas representadas en el mismo sistema de referencia espacial; pueden ser *homogéneas* (todas las geometrías que contiene son del mismo tipo, por ejemplo colecciones de puntos) o *heterogéneas*. La dimensión de una colección de geometrías se define como la máxima dimensión de las geometrías que contiene. Como vimos al inicio, una *colección de geometrías* es también una geometría, por lo que debe implementar toda la funcionalidad asociada a ésta. El tipo más simple de colección de geometrías es la *colección de puntos* (*MultiPoint*), que es una geometría de dimensión cero; se definen además las *colecciones de curvas* (*Multicurve*) y las de *superficies* (*Multisurface*).

## 2.1.2. Descripción de clases del OGC

### 2.1.2.1. Clase geometría

Es la clase raíz de la jerarquía y es una clase abstracta (no instanciable). Las subclases de Geometría en esta especificación están restringidas a 0, 1 y 2 dimensiones. Todas las clases que se describen en esta especificación son definidas como instancias válidas de una geometría siempre y cuando estén topológicamente cerradas.

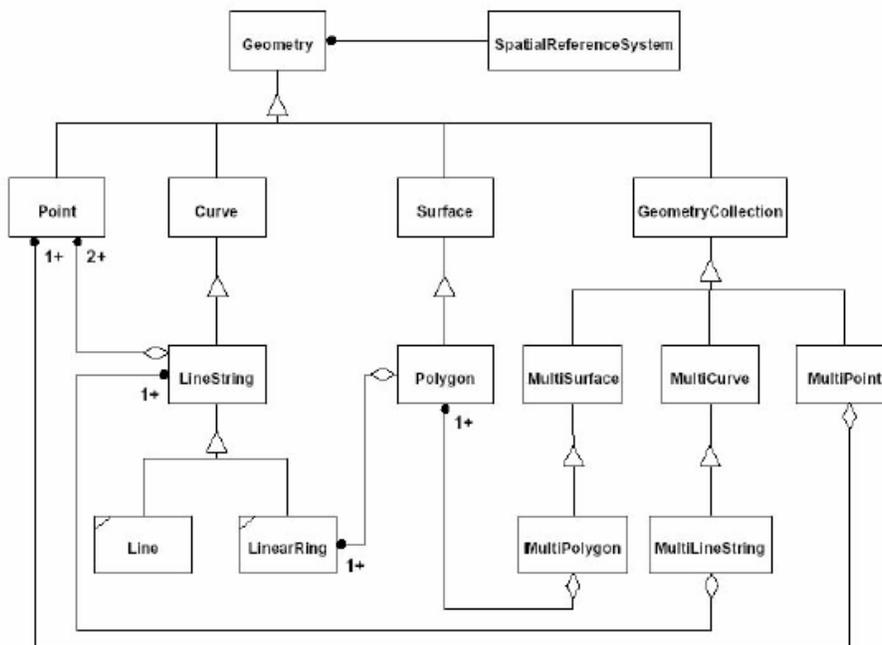
Los métodos definidos de la clase Geometría se dividen en tres tipos:

1. Métodos básicos: *Dimension*( ), *GeometryType*( ), *SRID*( ), *Envelope*( ), *AsText*( ), *AsBinary*( ), *IsEmpty*( ), *IsSimple*( ), *Boundary*( ).

2. Métodos para las relaciones espaciales entre objetos geométricos: *Equals( )*, *Disjoint( )*, *Intersects( )*, *Touches( )*, *Crosses( )*, *Within( )*, *Contains( )*, *Overlaps( )*, *Relate( )*.
3. Métodos para el análisis espacial: *Distance( )*, *Buffer( )*, *ConvexHull( )*, *Intersection( )*, *Union( )*, *Difference( )*, *SymDifference( )*.

### 2.1.2.2. Clase Colección geométrica

Esta clase describe la geometría, la cual es una colección de una o más geometrías. Esta relación se puede ver en la Figura 2.1 y es la definida por OGC. Todos los elementos de la colección, deben estar en el mismo sistema de referencia espacial. Esta clase no pone restricciones en sus elementos, sin embargo las subclasses pueden restringir la pertenencia basada en la dimensión y puede poner también otras restricciones en el grado de empalme espacial entre elementos.



**Figura 2.1.** Tipos de Geometría, definida por OGC

Los métodos definidos en la clase Colección Geométrica son los siguientes:

1. *NumGeometries( )*: Regresa un entero el cual es el número de geometrías en esta Colección Geométrica.
2. *GeometryN(int N)*: Regresa la N-ésima geometría de la Colección Geométrica.

### 2.1.2.3. Clase punto

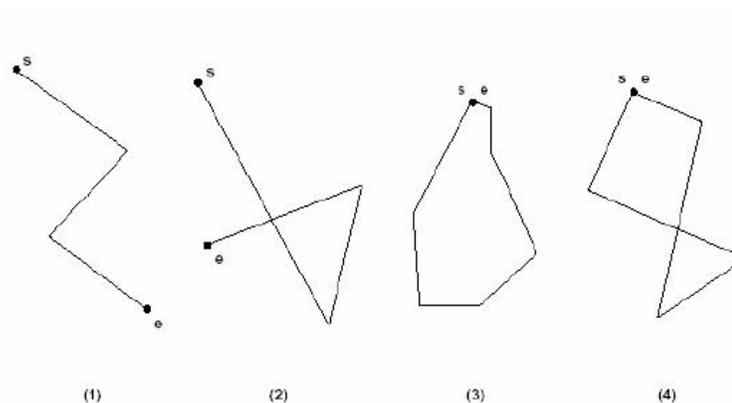
Un punto es una clase de 0 dimensiones y representa un simple punto en el espacio. Un punto consta de una coordenada en el eje X y otra en el eje Y. Las coordenadas están definidas como tipo *Doble*. El punto se encuentra limitado por un conjunto vacío. Los métodos definidos para la Clase Punto son los siguientes:

1. *X( )*: *Coordenada X* del Punto de tipo *Doble*.
2. *Y( )*: *Coordenada Y* del Punto de tipo *Doble*.

### 2.1.2.4. Clase *LineString*, *Line* y *Linear Ring*

Un *LineString* es una curva con interpolación lineal entre puntos. Cada par de puntos consecutivos define un segmento de línea. Una línea es un *LineString* con exactamente dos puntos. Un *LinearRing* es un *LineString* que es cerrado y simple.

En la Figura 2.2 (a) podemos observar que se trata de un *LineString* simple, la Figura 2.2 (2) muestra un *LineString* complejo, la Figura 2.2 (3) muestra un *LineString* cerrado que también es un *LinearRing*, y por último la Figura 2.2 (4) presenta un *LineString* cerrado complejo.



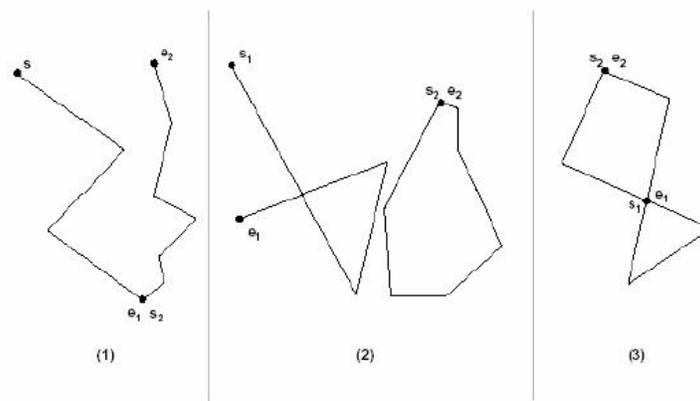
**Figura 2.2.** Diferentes tipos de *LineString*

Los métodos definidos para las clases *LineString*, *Line* y *LinearRing* son:

1. *NumPoints* ( ): El número de puntos en este *LineString* (entero).
2. *PointN* (*N*: entero): Regresa el punto *N* de este *LineString* (Punto).

### 2.1.2.5. Clase *MultiLineString*

Una *MultiLineString* es una multicurva cuyos elementos son *LineStrings*. En la Figura 2.3 podemos observar que el inciso 1 es una *MultiLineString* simple, el inciso 2 es una *MultiLineString* compleja y el inciso 3 es una *MultiLineString* cerrada, compleja de dos elementos.



**Figura 2.3.** Diferentes tipos de *MultiLineString*

## 2.2. Medidas geométricas

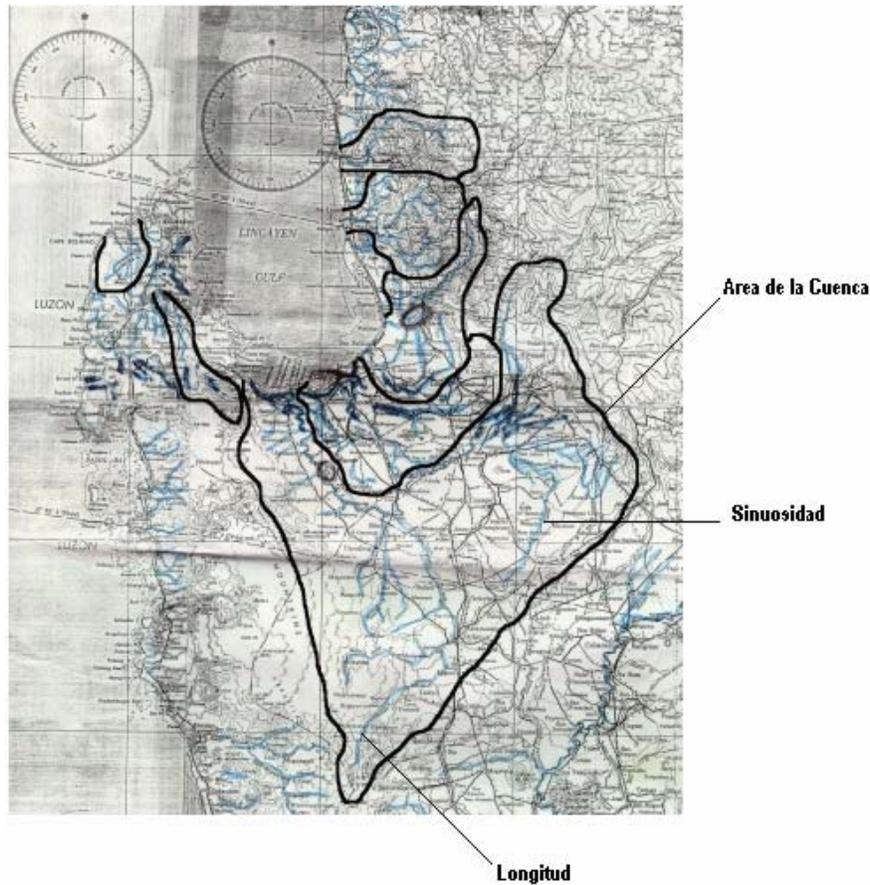
Una *medida* es un método que no cambia el estado de los objetos de una visualización, pero se utiliza para caracterizarlo [Bader, Barrault et al 1999]. Las *medidas* se utilizan frecuentemente para diversos propósitos, tales como:

- Ayudar a detectar estructuras significativas en una visualización, tales como grupos de objetos de una visualización (por ejemplo, alineaciones) o características espaciales (por ejemplo, las formas de objetos y distribución de objetos).

- Agrupar aquellas estructuras representadas por grupos de objetos; es decir, agrupar situaciones semejantes bajo un mismo concepto.
- Encontrar las peculiaridades de un objeto (por ejemplo, que tan sinuoso o largo).

En general, las mediciones son un valor numérico asignado a una observación que refleja una magnitud, cantidad o una característica. Las medidas de objetos definen la manera en que pueden ser caracterizadas en una forma lógica. Por ejemplo la sinuosidad, la longitud y orientación. En 1997 en Francia un proyecto de investigación inició AGENT : *Proyecto europeo ESPRIT / LTR / 24939*, por el Instituto Geográfico Nacional de Francia, el Instituto Politécnico de Francia, la Universidad de Edimburgo, la Universidad de Zurich, y del Reino Unido LASER-SCAN y la Universidad de Cambridge. El objetivo del AGENT fue producir una nueva generación del software para el diseño de mapas basado en la tecnología del multi-agente. El proyecto se enfocó en el diseño y visualización automática de mapas según el tema y la escala específica considerando las necesidades de los usuarios. Esta enfocado en el diseño automatizado de de mediciones a los objetos espaciales que son representados en temáticas de multi-escala [IGN 1999].

La clasificación de medidas para la descripción geométrica puede ser obtenida analizando *posición y geometría, forma y topología*. Sin embargo, la geometría que es obtenida por medio de la *posición, geometría y topología* es implícita porque solo se puede medir la posición y orientación de objetos; así como las relaciones topológicas existentes entre objetos geográficos. Como se puede observar, la descripción de la geometría por su forma es la más óptima ya que puede representarse explícitamente, por lo que puede ser descompuesta en diferentes componentes, donde cada componente es representado por un valor. Por ejemplo, en la Figura 2.4 podemos observar algunas características importantes de un río como longitud, pendiente, sinuosidad, el área de la cuenca, es importante mencionar que estas características describen la forma geométrica de un río.



**Figura 2.4.** Características de ríos

En conclusión para poder obtener una representación explícita, [Wentz 1997] propone usar medidas existentes para identificar las propiedades de los objetos. En el caso particular de esta tesis las mediciones serán enfocadas a la geometría de forma. En la Tabla 2.1 se muestra una clasificación de medidas para la descripción geométrica [IGN 1999]. La geometría de forma está compuesta por características como lo son el tamaño, la sinuosidad/complejidad, el alargamiento/excentricidad, la compactibilidad; así como también otros aspectos importantes.

Las medidas de tamaño están relacionadas con algunas características básicas como lo son: área, perímetro, longitud, entre otras. Estas mediciones son obtenidas por el cálculo de coordenadas. La medida de *sinuosidad*: es la tendencia de cambio de dirección en una línea, en forma o movimiento por ejemplo, la sinuosidad de un río o de un camino, la obtención de esta medida es por medio del análisis del conjunto de vértices que

componen al objeto. La *excentricidad* una constante que describe la forma de una sección cónica. Es igual a la proporción de la distancia de un punto fijo con respecto a cualquier otro punto sobre la curva, esta medida es obtenida para el caso particular de la generalización en donde estos aspectos son muy comunes. Dentro de otros aspectos importantes podemos encontrar mediciones como la concentración de puntos, la forma de la curva etc., por ejemplo la concentración de poblados.

**Tabla 2.1** Medidas sobre la geometría

POSICION Y GEOMETRIA	FORMA
<b>Posición</b>	<b>Tamaño</b>
Posición	Longitud Área Perímetro Altura de la curva Altura de inclinación máxima
<b>Orientación</b>	<b>Sinuosidad / Complejidad</b>
Orientación total de un objeto Orientación de una curva	Medidas de angulosidad Medidas de Curvas Altura máx. de la curva Función de densidad de la pendiente Entropía Sinuosidad
	<b>Alargamiento / excentricidad</b>
	Excentricidad Alargamiento Expansión Circularidad Elípticidad
	<b>Compactibilidad</b>
	Deficiencias convexas Compactibilidad - medidas Cuadratura Cuadratura de pared
	<b>Aspectos importantes</b>
	Ancho mínimo de un edificio Forma de la curva Descripción de la curva Bode mas pequeño

A continuación en la Tabla 2.2 se realiza una descripción breve de algunos algoritmos para la obtención de las medidas anteriormente mencionadas. Esta descripción cuenta con

el nombre de la medida, la descripción del algoritmo, tomando en cuenta los tipos de datos en la entrada como los tipos de datos de salida.

**Tabla 2.2** Descripción de algoritmos para la obtención de medidas

<i>Nombre</i>	<i>Descripción corta</i>	<i>Tipos de datos de entrada</i>	<i>Tipos de datos de salida</i>
<i>Medidas de angularidad</i>	El cambio de porcentajes en la angularidad puede ser expresado como la suma de los ángulos sobre el punto de partida entre los vectores consecutivos sobre una línea simplificada y dividida por esta suma sobre el punto de partida.	Dos líneas	Número de ángulos
<i>Sinuosidad</i>	Sinuosidad es calculada a cada vértice a lo largo de una polilínea, construyendo una proporción con la distancia + / - k vértices de la longitud de una línea que conecta el primer y último vértice [Dutton 1999].	Polilínea	Total de números de curvas
<i>Alargamiento</i>	Es la proporción entre el ancho y la longitud de un rectángulo limitado. Variando entre 0 para una línea y 1 para un cuadrado [Regnauld 1998].	Polígono	Total
<i>Altura de una curva</i>	La curva es definida como una parte ininterrumpida de una polilínea frotado aquí entre dos puntos de inflexión. Una curva, en donde la altura es entonces calculada distancia entre la curva y los dos puntos de inflexión segmentan [Wang, Müller 1998].	polilínea	1 describe la distancia real. 1 valor entre 0 y 1, la relación de valor de orientación de curva.

En este caso, el enfoque es usar los valores obtenidos de las mediciones y clasificarlos. Dicha clasificación esta orientada en la agrupación de los valores en una representación de intervalos o en un rango de valores; en donde cada rango de valores intenta agrupar las mediciones y así agrupar los objetos con las características similares.

## 2.3. Conceptualización

La *conceptualización* es una perspectiva abstracta y simplificada del conocimiento que tenemos del "mundo", y que por cualquier razón queremos representar. La

conceptualización es obtenida por medio del conocimiento previo por medio de conceptos [Genesereth, Nilsson 1987].

Un *concepto* es la abstracción intelectual de las características o notas esenciales de un elemento físico o ideal, y prácticamente es toda aquella especificación que se le da algún objeto, trabajo, etc. Mediante los conceptos comprendemos lo que una es una “cosa”, sea colectivo o individual, o lo que esa situación supone. Separando lo que tiene de común con otras cosas y situaciones, de lo que es único e irreplicable. Eso común, aplicable a otras cosas y situaciones tiene por eso un carácter universal; por lo tanto los conceptos son universales, pues se refieren a muchos individuos, cosas, o situaciones. En otras palabras, el concepto universal es la forma o formalidad bajo la cual comprendemos las cosas y las situaciones. Gracias a los conceptos podemos nombrar y expresar las cosas y situaciones con palabras, lo que hace posible construir los lenguajes. Las palabras significan conceptos universales.

Por medio del lenguaje podemos compartir lo conocido individualmente y subjetivo y en la medida en que los demás pueda comprender lo mismo, el conocimiento adquiere un carácter objetivo. De ahí la importancia de los conceptos. Por eso cuando no sabemos algo decimos que "no tenemos ni idea". Por lo tanto, la asignación del concepto está innatamente ligada al aprendizaje. Esto significa que todos los elementos, incluyendo lenguaje y cultura, y la información percibida por los sentidos que sea accesible al momento de que una persona construye el concepto de algo o alguien, influyen en la *conceptualización*. El conocimiento de la experiencia siempre es concreto, tiene una referencia a una cosa, una situación o algo que es único e irreplicable. Por otro lado, la experiencia siempre es subjetiva.

Las únicas cosas e irrepetibles no se pueden conceptualizar desde premisas, usando la capacidad de la mente de inferirlos. En este caso, el cerebro ha de recurrir a las sensaciones derivadas de los cinco sentidos principales y asignar una 'etiqueta' para poder aludir de forma inequívoca a la combinación exacta de sensaciones que nos despertaron

la curiosidad de conceptualizar eso en concreto. Por lo tanto, nace lo que se conoce como *nombre propio*.

A efectos de la lógica, las palabras que significan conceptos universales se consideran como *clases*. Los nombres propios se consideran como una *clase* universal formada por un solo individuo u objeto, así es que mediante los conceptos clasificamos las cosas y ordenamos el mundo.

Las relaciones entre las palabras y los conceptos son complejas y variables, pues no siempre la misma palabra significa el mismo concepto; un mismo concepto puede expresarse con varias palabras y formas de expresión. La expresión de un mismo concepto puede variar de forma importante según el idioma en que se exprese. En su máxima abstracción, cuando carecen de contenido material algunos conceptos son denominados como conceptos formales.

### **2.3.1. Conceptualización de la sinuosidad de ríos**

En 1964 Leopold, presentó un sistema de clasificación de ríos naturales, el cual clasifica algunas características de una corriente por medio de un análisis morfológico. La clasificación morfológica consiste en el análisis de la pendiente, ancho / profundidad, y sinuosidad. El desarrollo de esta clasificación fue obtenida de acuerdo con una muestra de 400 ríos en EE.UU., Canadá y Nueva Zelanda. Los ejemplos de esta aplicación incluyen algunas relaciones de geometría e hidráulica.

En la Figura 2.5 se muestra la clasificación morfológica obtenida por mediciones como son el ancho de canal, profundidad, velocidad del río, pendiente de canal, aspereza de materiales del canal y el sedimento [Leopold 1964].

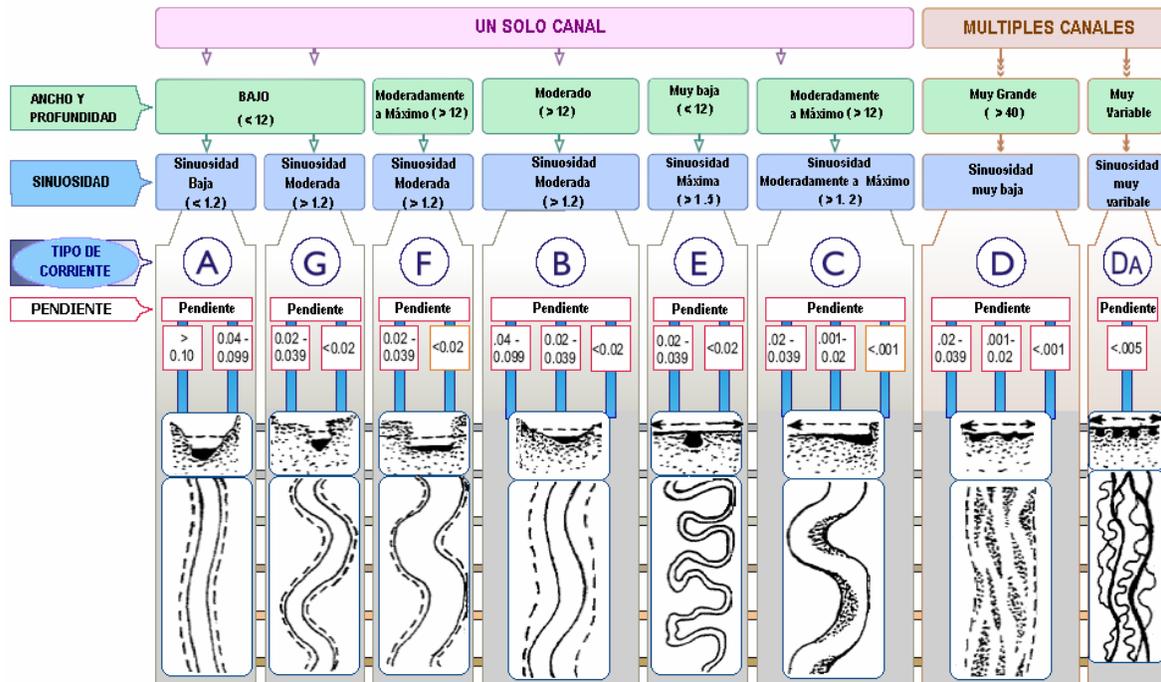


Figura 2.5. Clasificación morfológica de ríos

Geoffrey Dutton propone una clasificación de sinuosidad basada en la longitud de la curva, mostrada en la Figura 2.6. Esta clasificación depende de la curva y del número de vértices que se quieren analizar en la curva. Así mismo, el rango de clasificación está denotado de 0 a 1 [Dutton 1999].

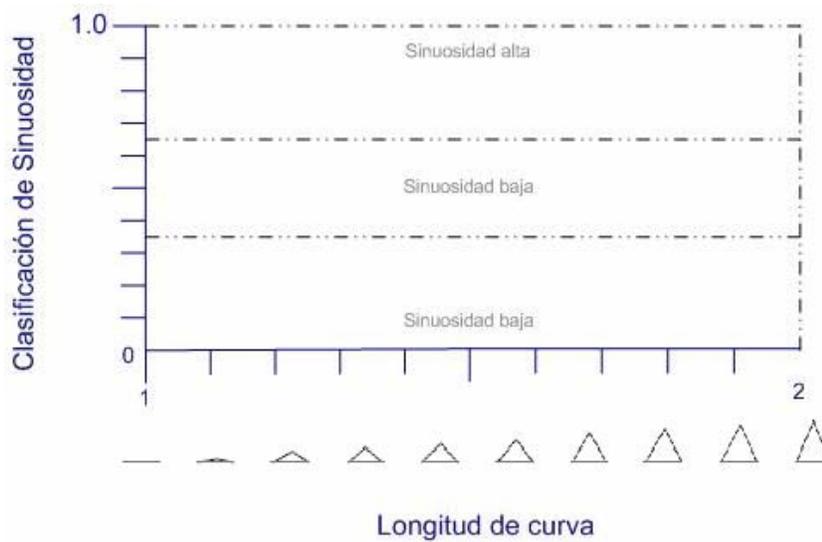
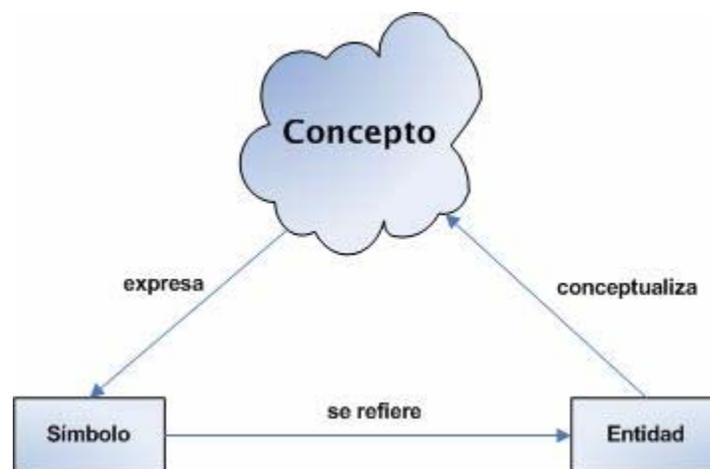


Figura 2.6. Clasificación de sinuosidad

### 2.3.2. Semántica espacial

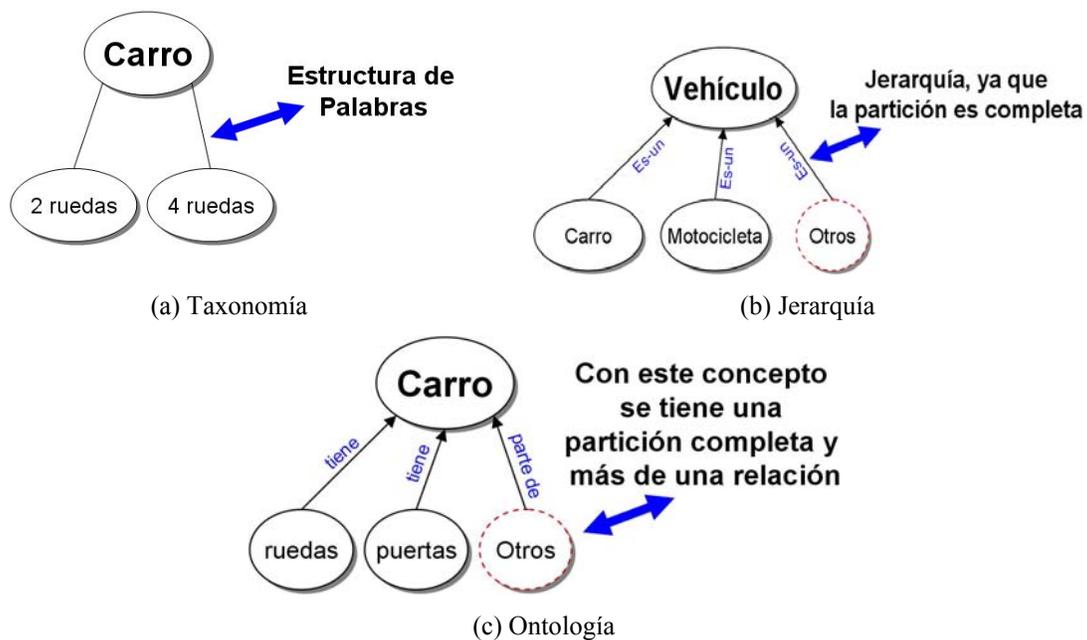
El término *semántica* (proviene del griego *semantikos*, 'lo que tiene significado'), se refiere a los aspectos del significado o interpretación de un determinado signo lingüístico, lenguaje o representación formal; esto es, palabras, expresiones y oraciones. La finalidad de la semántica es establecer el significado de los signos, lo que significan dentro del proceso que asigna tales significados. Quienes estudian la semántica tratan de responder a preguntas del tipo "¿Cuál es el significado de X (la palabra)?" en el mundo físico o abstracto que puede ser descrito por dicho medio de expresión. Para ello, es necesario estudiar qué signos existen y cuáles son los que poseen significado es decir, qué significan para los hablantes, cómo los designan (es decir, de qué forma se refieren a las ideas y cosas), y por último, cómo lo interpretan los receptores.

Para poder llevar a cabo una expresión significativa es necesario que se cuente con los siguientes puntos: (1) la relación que existe en una muestra de signos con situaciones objetivas, reales o posibles, (2) la relación que existe en una muestra de signos con otras muestras, y con los conceptos que conciben. Estos conceptos dependen del contexto que se estén analizando. El contexto es un conjunto de circunstancias que permiten su correcta comprensión. En la Figura 2.7 se muestra el triángulo semántico, el cual engloba las relaciones anteriormente mencionadas [Werner 2005].



**Figura 2.7.** Triángulo semántico [Werner 2005]

En la Figura 2.8 se presentan diversas percepciones de las estructuras de datos para representar objetos, cosas, o conceptos. Como se puede observar se muestran diversas estructuras de datos para poder representar el vocabulario de algún lenguaje, en donde este vocabulario describe objetos o cosas. En Figura 2.8 (a) se presenta una taxonomía para clasificar palabras del vocabulario de un lenguaje. En Figura 2.8 (b) Se muestra una jerarquía que contiene solo una relación y su partición es completa. En Figura 2.8 (c) se despliega una ontología con una partición completa y un conjunto de relaciones



**Figura 2.8.** En (a) ejemplo de una taxonomía, (b) jerarquía que contiene solo una relación y su partición es completa, (c) ontología con una partición completa y un conjunto de relaciones

Como se aprecia en la Figura 2.8 en (a) existe una **taxonomía**<sup>1</sup> con la palabra “carro”, la cual puede describirse como un objeto que puede tener dos o cuatro ruedas; asimismo en (b) se presenta una **jerarquía**<sup>2</sup> la cual cuenta con un nodo raíz denominado “vehículo”, en donde solo se presenta una sola relación “es-un” (“is-a”), por lo cual se forma una

<sup>1</sup> Una taxonomía se define como una estructura que permite clasificar diversas entidades u objetos en una forma arborea, en la cual las particiones no son completas, no se cuenta con un orden dentro de las particiones y las relaciones permiten la clasificación de las entidades.

<sup>2</sup> Una jerarquía es una estructura que permite organizar el vocabulario de un lenguaje a través de conceptos, en donde la estructura típicamente se representa en forma de árbol. Ésta es más rica que una taxonomía, utiliza restricciones y una relación base para clasificar a las entidades. Además utiliza particiones completas; así como el concepto de cadena. Una ventaja de esta estructura es que los términos o conceptos agrupados en particiones pueden ser elementos mutuamente excluyentes pero completos.

partición completa, en donde ésta es requerida para formar una jerarquía. Por último en (c) se presenta una estructura que está compuesta por la palabra “carro”, la cual ya se considera como un concepto. Este nodo es descrito por diversos conceptos que se encuentran enlazados por varias relaciones, las cuales pueden ser: “*parte de*” (“*part of*”) y “*tiene*” (“*has*”). Para formar una partición completa, es necesario en este caso agregar el concepto “otros”, lo cual puede dar origen a decir intuitivamente que esta estructura de representación de objetos o entidades se le puede llamar **ontología**<sup>3</sup>.

Adicionalmente, cabe mencionar algunos aspectos intuitivos con respecto a lo anterior:

- El vocabulario de un lenguaje origina conceptos, con lo cual las ambigüedades son eliminadas.
- Las aristas o arcos presentados en la Figura 2.7 representan relaciones entre los términos.
- Cuando términos de un vocabulario representan un concepto único se forma una ontología, posteriormente se definen relaciones como parte de la estructura y que caracterizan a estos conceptos.
- Es importante conservar en forma explícita las relaciones de una partición en una jerarquía y en una ontología.
- Una taxonomía es una jerarquía incompleta, ya que no cuenta con una partición completa.
- Una jerarquía es un caso particular de una ontología; puesto que presenta solo una relación y particiones completas.
- La definición de relaciones está en función del dominio de aplicación, en el caso de las ontologías estas relaciones pueden ser conceptos.

Algunos de los aspectos más notables de los enfoques semánticos son el desarrollo de ontologías y la anotación semántica de datos. Ontologías [Gruber 1993, Guarino 1998], las ontologías definen un dominio-específico, está en los enfoques más semánticos.

---

<sup>3</sup> Una ontología según [Gruber 1995] es una especificación explícita de una conceptualización.

Muchas ontologías han sido desarrolladas en dominios como biología, y en un menor grado en la geografía [Harding 2003].

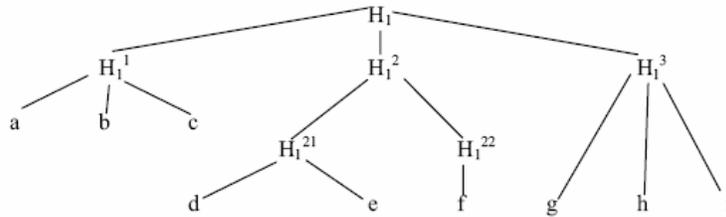
El análisis geo-espacial se basa en gran parte en medidas métricas (es decir, cuantitativo). Pero la mayoría de las personas expresan y entienden mejor las relaciones espaciales con un lenguaje natural en lugar de las mediciones (por ejemplo, es más fácil expresar que un río es sinuoso que tener una medición de sinuosidad del río). Por esta razón es importante establecer una semántica geo-espacial con el objetivo de poder llevar a cabo preguntas espaciales usando referencias espaciales y así analizar asociaciones semántica-geo-espacial usando una información textual y una métrica. Es importante mencionar que este enfoque también puede ayudar al descubrimiento de un conocimiento geográfico eficaz, el cual permita una respuesta rápida de información.

Como se mencionó anteriormente es necesario desarrollar teorías de la semántica geo-espacial que apoye un razonamiento espacial eficaz. Esto incluyen el uso de modificantes cualitativos (por ejemplo, *muy*, *poco*, *casi*), relaciones de orientación cardinal (por ejemplo, *al este de la ciudad*, *al oeste del río*), y relaciones de distancia que describen (por ejemplo, *cerca*, *lejos*). Así mismo estos aspectos son importantes en la semántica de dominio, conceptos geo-espaciales y terminología, con el objetivo del desarrollo de algoritmos para la proximidad y asociaciones de un objeto [Budak, Amit et al. 2004].

### **2.3.3. Jerarquías**

Una jerarquía es el orden de los elementos de una serie según su valor. Por ejemplo, personas, animales o cosas. En orden ascendente o descendente, según criterios de clase, o cualquier otro asunto que conduzca a un sistema de clasificación.

Los conjuntos representados por cada elemento de una jerarquía forman un árbol bajo subconjunto de una relación. Ejemplo: en la Figura 2.9 se muestra un árbol para  $H_1$  [Levachkine y Guzmán 2004b].



**Figura 2.9.** Árbol inducido por la jerarquía  $H_1$

Para un nodo  $n$  en un árbol, las relaciones **padre\_de**( $n$ ), **hijo\_de**( $n$ ), **hermano\_de**, **ascendente\_de**, se definen, según lo que se requiere expresar [Levachkine y Guzmán 2004b].

Una jerarquía  $H$  es un árbol cuya raíz es un conjunto  $S$ , y si un nodo tiene hijos, entonces forma de estos hijos una partición de su padre. Una partición es un subconjunto del padre disjunto que al unirlos se forma el padre. A menudo, se dan los nombres (valores simbólicos, secuencias) a diversos subconjuntos de  $S$ . Las jerarquías son utilizadas en el almacenamiento de datos y minería de los datos, por ejemplo,  $H$ -conjuntos de [Bhin, Tjoa *et al.* 2000]. Una Jerarquía ordenada es la cual donde los nodos de algunas particiones obedecen a una relación ordenada.

Cabe mencionar que puede existir confusión entre los elementos de una jerarquía. Por ejemplo, si se preguntara a un grupo de personas ¿Cuál es la capital de Nayarit?, algunos pudieran contestar "Tepic" lo cual es una respuesta correcta; en cambio si respondieran "Guadalajara" está respuesta sería errónea pero esta cercana a la verdad, pero si contestaran "Mazatlán" sería un error, y aun peor si otros contestaran la "Ciudad de Victoria" sería un error fatal. Para medir la distancia semántica entre los diferentes conceptos, se desarrolló una medida denominada fusión. La confusión se representa como  $\text{conf}(r, s)$  y se lee como la confusión de tener  $r$  en vez de  $s$  [Levachkine y Guzmán 2004b].

La confusión entre dos concepto dentro de una jerarquía puede expresarse de la siguiente manera.

Si  $r, s \in H$  la confusión de usar  $r$  en lugar de  $s$ , es  $\text{conf}(r, s)$ :

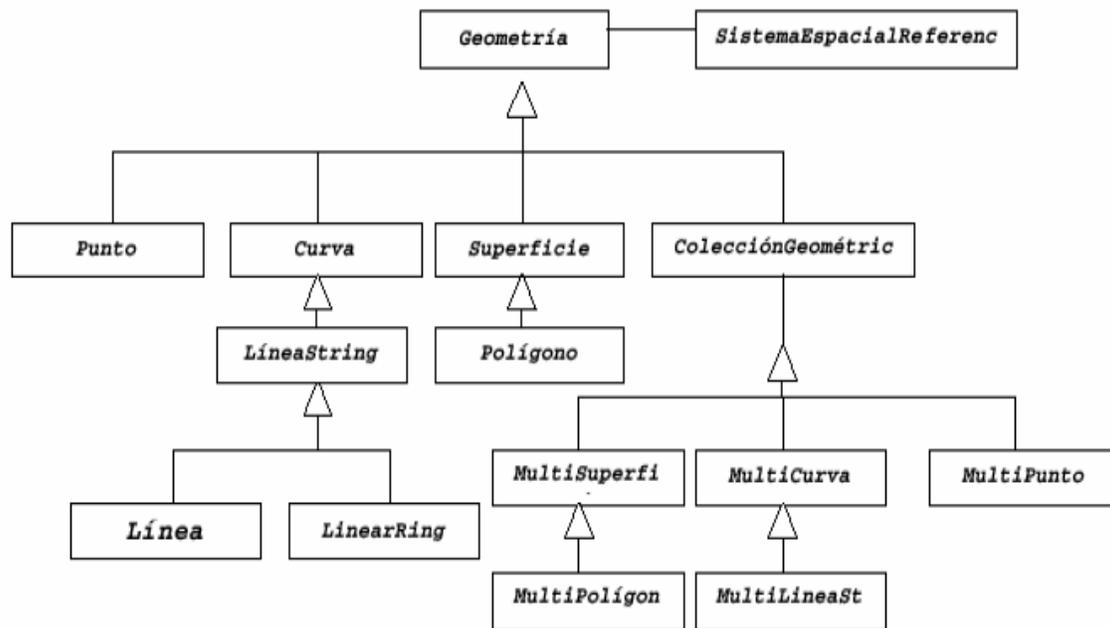
- $\text{conf}(r, r) = \text{conf}(r, s) = 0$ , cuando  $s$  es antecesor de  $r$ .
- $\text{conf}(r, s) = 1 + \text{conf}(r, \text{padre\_de}(s))$ .

Por otro lado, la confusión entre dos nodos hermanos es 1. Es decir, para un conjunto ordenado, la confusión entre dos hermanos depende de cómo se considere lejos en su orden. Por ejemplo, si una jerarquía ordenada tiene solamente un elemento  $e$ , entonces el  $\text{conf}(e, e) = 0$ . Si se tiene dos elementos, entonces el  $\text{conf}(e_1, e_2) = 1$ . Para conjuntos ordenados con más de dos elementos,  $n > 2$ , la confusión entre dos elementos contiguos es  $1/(n-1)$ . En la siguiente Figura 2.10 se muestra un ejemplo [Levachkine y Guzmán 2004b]. Por lo tanto,  $\text{conf}(\text{helado}, \text{frío}) = \text{conf}(\text{frío}, \text{helado}) = 0.2$ ;  $\text{conf}(\text{frío}, \text{tibio}) = 0.4$



**Figura 2.10.** Un conjunto que demuestra la confusión entre sus elementos

A continuación se muestra en la Figura 2.11 la jerarquía de los tipos de Geometría, es decir los tipos de atributos espaciales de una entidad. [OGC SQL, 2002]. La clase base es "Geometría" la cual tiene como subclases, "Punto", "Curva", "Superficie" y "Colección Geométrica". Cada objeto geométrico está asociado con un Sistema Espacial (*Spatial Reference System*), el cual describe las coordenadas del espacio en las cuales el objeto geométrico está definido.



**Figura 2.10.** Jerarquía de los tipos de Geometría, es decir los tipos de atributos espaciales de una entidad [OGC SQL, 2002]

El trabajo descrito aquí es similar a modelar clasificadores, pero éstos clasifican objetos según los valores de sus características, mientras que las jerarquías ayudan a clasificar estos valores, cuando no son numéricos.

## 2.3.4. Representación conceptual

### 2.3.4.1. El enfoque proposicional

Muchas teorías asumen que las listas de características representan conceptos [Barsalou, 1992b, 1993] [Barsalou y Hale 1993]. Una lista de características contiene las descripciones lingüísticas, y las características relacionadas con los miembros de una categoría. Por ejemplo, río, afluente, dirección de flujo e inunda. La interpretación más simple de estas características es que son expresiones lingüísticas de la memoria. Sin embargo, es necesaria una descripción que constituya al significado de la expresión lingüística de una característica.

El movimiento estándar para evitar este problema es interpretar las características como proposiciones de modo de abstracción, de tal manera que sean representadas en una cierta “idea del lenguaje”. Por ejemplo, como la lógica proposicional o el cálculo de predicados. Por tal razón, una lista de características memoria no es una lista de expresiones lingüísticas para las características, sino es una lista de descripciones, en una cierta forma de representación conceptual [Barsalou, Wenchi 2003].

Es importante mencionar que las listas de características se utilizan extensamente para representar conceptos, incluyendo esquemas, marcos, scripts, [Barsalou 1992b] [Gentner 1989]. Las características (features) tienen un contexto más rico. Con otro tipo de asociaciones topológicas, la representación espacial y relaciones generales, no sólo definen las cualidades de una característica sino su contexto con otras características. Esto permite especificar que pasa cuando una característica es movida, cambiada o borrada. Este contexto también permite localizar e inspeccionar un componente que está relacionado con otros.

Un dato es una entidad relacionada. Nada es un dato por sí mismo; es decir se requiere un contexto<sup>4</sup>. Por tal razón, se utilizan las jerarquías para medir semejanza y desemejanza entre los valores cualitativos, intentando tomar en cuenta el contexto. Hasta cierto punto, la noción de la jerarquía proporciona una herramienta adecuada para el análisis de datos cualitativos, procesamiento y clasificación, debido a que las jerarquías consideran las relaciones (a veces ordenadas) entre las particiones del conjunto de datos y mantienen fácilmente el contexto [Levachkine y Guzmán 2003] y [Levachkine y Guzmán 2004a].

---

<sup>4</sup> La noción del contexto depende de un ambiente en particular (es decir, el dominio y el espacio de representación) en el que los datos se encajan. Por lo tanto, las relaciones entre los elementos dependen del contexto. Por ejemplo, México e Italia pueden estar en un contexto de *países* y ser muy legible, pero también pueden estar en el contexto de *pertenece al continente* lo cual estarían muy distanciados.

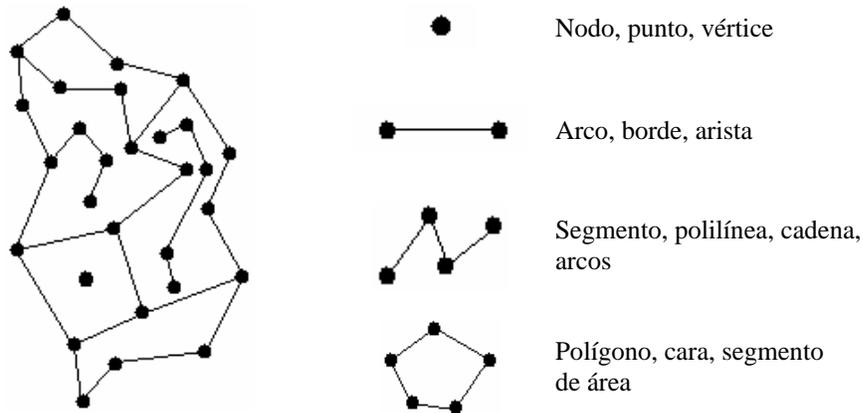
# CAPÍTULO III

## MARCO TEORICO

*En este capítulo se presentan algunos aspectos importantes que son necesarios para llevar a cabo la metodología propuesta de esta investigación. Como primer paso se definirá la estructura vectorial, así como la representación de los datos vectoriales. Posteriormente se describe la evolución de la información geo-espacial. Por ultimo, se presenta la interfaz ARC/INFO en la cual se implantaron los algoritmos de esta tesis, es por ello que se explica brevemente su funcionamiento.*

### **3.1. Estructura vectorial**

Los elementos geométricos de la estructura espacial en una representación vectorial, pueden ser interpretados como los componentes de un grafo (ver la Figura 3.1). Un grafo consiste de nodos conectados por arcos o bordes. Con estos elementos se pueden formar cadenas, las cuales pueden ser interpretadas como polilíneas en un sentido geométrico. Las polilíneas pueden ser combinadas para formar anillos, circuitos cerrados o polígonos que encierran caras o segmentos de área [Martínez 2006].



**Figura 3.1.** Componentes del modelo vectorial

En la literatura pueden encontrarse diferentes nombres o expresiones para los componentes geométricos de un grafo, como se indican en la Figura 3.4. Las siguientes convenciones son usadas para evitar ambigüedades:

- Un punto en un grafo es llamado *nodo*.
- Un par de nodos conectados puede ser llamado *arista* o *borde*.
- Una cadena de aristas puede ser llamada *arco* o *arcos*.
- Un segmento de grafo es una cadena de arcos que no contiene nodos y más de dos arcos están conectados.
- Una combinación de arcos que forman un circuito cerrado puede ser llamado *polígono*.
- Un polígono encierra un *segmento de área*.
- Un segmento de área que no es intersectado por un polígono es llamado *cara*.

Considerando la geometría de los objetos geográficos o espaciales, éstos pueden clasificarse en tres tipos<sup>1</sup>: *objetos punto*, *objetos línea* y *objetos área*. Los objetos punto no tienen dimensión espacial, únicamente tienen una posición y pueden ser representados por nodos. Los objetos línea tienen una dimensión espacial, ya que tienen longitud y forma, y pueden ser representados por arcos. Los objetos área tienen dos dimensiones espaciales y pueden ser representados por polígonos.

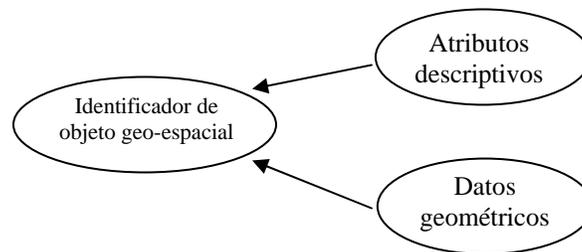
<sup>1</sup> Primitivas geométricas de representación

### 3.1.1. Representación de datos vectoriales

Hay tres conjuntos de datos que se almacenan para los objetos espaciales en un SIG:

- Identificadores para cada objeto espacial.
- Atributos descriptivos.
- Geometría de los datos geo-espaciales.

Éstos deben estar ligados entre sus diferentes tipos de datos; de manera que las relaciones entre las capas de datos y los datos geométricos puedan ser analizadas. Estos datos son conectados a través de los identificadores de los objetos geo-espaciales (ver Figura 3.2).



**Figura 3.2.** Estructura para objetos geo-espaciales

Las relaciones topológicas entre los objetos espaciales pueden ser manipuladas en una geometría estructurada vectorialmente. La formulación del modelo vectorial está basada en algunas convenciones para la definición de las primitivas geométricas y sus usos para la descripción geométrica de los objetos geo-espaciales:

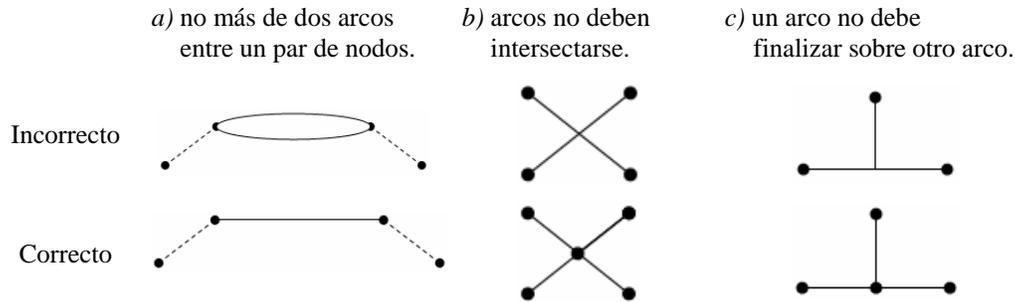
**Convención 1.** Todos los puntos que se usan para describir un terreno serán tratados como nodos.

**Convención 2.** Todos los elementos lineales que describen el terreno serán tratados como arcos dirigidos.

**Convención 2a.** El nodo de inicio de un arco  $a$  debe ser diferente al nodo final del arco  $a$ .

**Convención 3.** Para cada par de nodos, cuando más un arco debe conectarlos directamente (ver Figura 3.3a).

**Convención 4.** Los arcos no deben intersectarse. Si dos arcos están intersectados, deben reemplazarse por 4 segmentos unidos por un nodo (ver Figura 3.3b). Si el nodo inicial o final se encuentra en otro arco, entonces ambos arcos deben conectarse (ver Figura 3.3c).

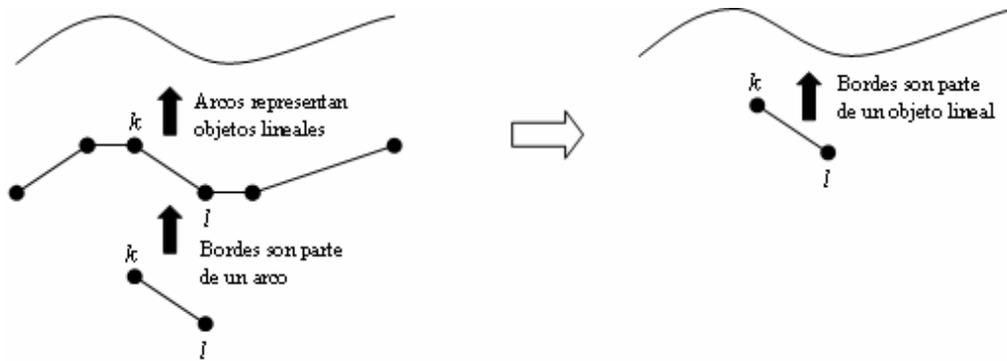


**Figura 3.3.** Ilustración de convenciones

Con base en las convenciones presentadas sobre los elementos geométricos, se pueden definir los objetos geo-espaciales:

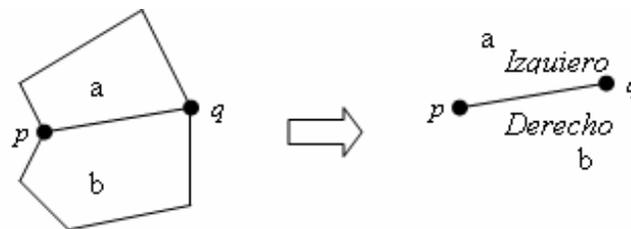
**Objetos punto.** La única información geométrica dada por un objeto puntual es la localización y se representa por un nodo.

**Objetos línea.** La información geométrica dada por un objeto lineal es la localización, forma y longitud. Éste puede ser representado como un arco. Los nodos contienen la información de posición. La información sobre la forma se puede derivar de los ángulos entre los bordes y su longitud. Los bordes pueden estar ligados al objeto línea a través del arco, esto puede expresarse como “el borde es parte del objeto línea” (ver Figura 3.4).



**Figura 3.4.** Relación entre bordes y objetos línea

**Objetos área.** La geometría de los objetos área está dada por sus límites. La geometría de los límites está descrita por bordes. Entonces, cualquier borde tiene un objeto área a su lado *derecho* y un objeto área al lado *izquierdo*, esto si los bordes son dirigidos (ver Figura 3.5).



**Figura 3.5.** Relación entre bordes y objetos área.

Los nodos pueden jugar dos roles diferentes en el modelo:

- Pueden actuar como nodos inicial y final de un arco. Este rol toma gran importancia para la definición de la geometría de una estructura vectorial.
- Pueden representar objetos punto.

Los arcos también pueden jugar dos roles diferentes:

- Pueden ser parte de un objeto línea
- Pueden ser parte del límite entre dos objetos área.

**Convención 5a.** Un nodo puede representar cuando más un objeto puntual.

**Convención 5b.** Un borde puede ser parte de a lo más un objeto línea y tiene exactamente un objeto área a la derecha y exactamente un objeto área a la izquierda.

**Convención 6.** Todos los objetos espaciales deben pertenecer a una capa de datos y cada objeto espacial pertenece exactamente a una capa de datos. Por lo tanto, las capas de datos son disjuntas y exclusivas. Las capas de datos forman una *partición temática* del conjunto de objetos geo-espaciales.

**Convención 7.** Cada capa de datos de objetos espaciales es de únicamente un tipo de geometría. Por lo tanto, una capa de datos contiene únicamente un tipo geométrico de objeto espacial; objetos punto, objetos línea u objetos área.

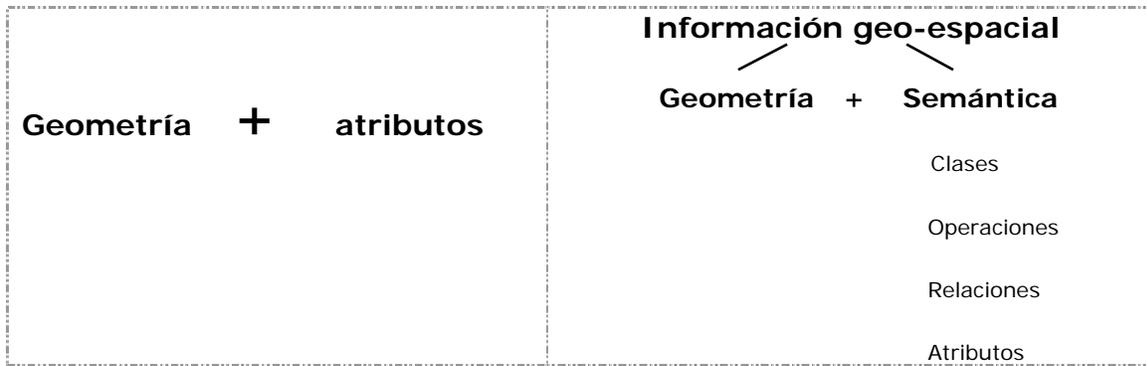
Como se puede observar aun no se encuentran definidas propiedades como es la sinuosidad. En el caso particular de esta tesis nos enfocaremos al análisis de la sinuosidad.

### **3.1.2. Evolución en la información geo-espacial**

Los datos geoespaciales en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son almacenados en las denominadas Bases de Datos Espaciales. En donde frecuentemente se almacenan únicamente identificadores de objetos, algunos atributos descriptivos y los objetos geográficos son clasificados utilizando tres primitivas de representación (punto, línea y área). Algunas propiedades como longitud, área y perímetro son almacenadas, pero de forma cuantitativa, lo que implica que para gran parte de usuarios esto no signifique mucho. Adicionalmente, un gran conjunto de propiedades no son almacenadas. Para los SIG actuales ya no es suficiente solo contar con una geometría implícita y atributos. Lo que se busca es obtener información geo-espacial en un SIG, por medio de una geometría explícita, con la cual se representa la semántica de los datos, como se muestra en la Figura 3.6 [Worboys, Duckham 2004]. La semántica es el componente que definen las ontologías. Las ontologías nos permiten obtener conceptualizaciones múltiples del mismo fenómeno, así como, realizar un testeó para conocer que tan buena es la correspondencia entre un concepto ontológico y el conocimiento humano del concepto [Worboys, Duckham 2004].

*de geometría en un SIG*

*a información geo-espacial en un SIG*



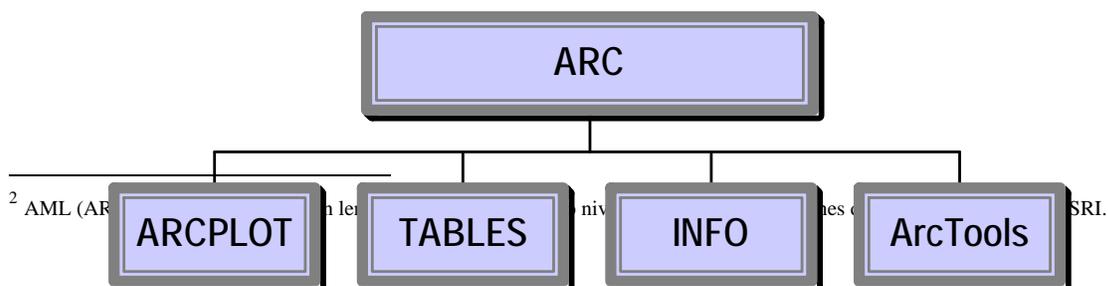
**Figura 3.6.** Evolución en la información geo-espacial [Worboys, Duckham 2004]

Como se mencionó anteriormente, este trabajo de investigación tiene como objetivo la obtención de una geometría explícita. Para esto es necesario realizar mediciones a los objetos geo-espaciales y posteriormente asignarle un concepto. Para lograr dicho objetivo existe diferente software enfocado a los SIG que pueden ser implementados como es el caso de: ArcView, ArcView Spatial Analyst, ArcView 3D, CAD Reader, Arc Explorer, ARC/INFO, entre otros. La implantación de los algoritmos de esta tesis se realizó en ARC/INFO.

### 3.1.3. ARC/INFO

Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) con la capacidad de integrar los datos espaciales y tabulares dentro de su propia arquitectura o bien puede asociarlos directamente con los datos almacenados en los principales manejadores de bases de datos como DBase, Oracle, Informix, Sybase e Ingres, SQL Server, entre otros.

ARC/INFO almacena datos tabulares con elementos de cartográficos en un formato de base de datos relacional y está integrado con un RDBMS comercial. Proporciona un entorno de desarrollo para aplicaciones e interfaces por medio de un lenguaje de macro (AML<sup>2</sup>). En la Figura 3.7 se muestra algunos de los módulos de ARC/INFO.

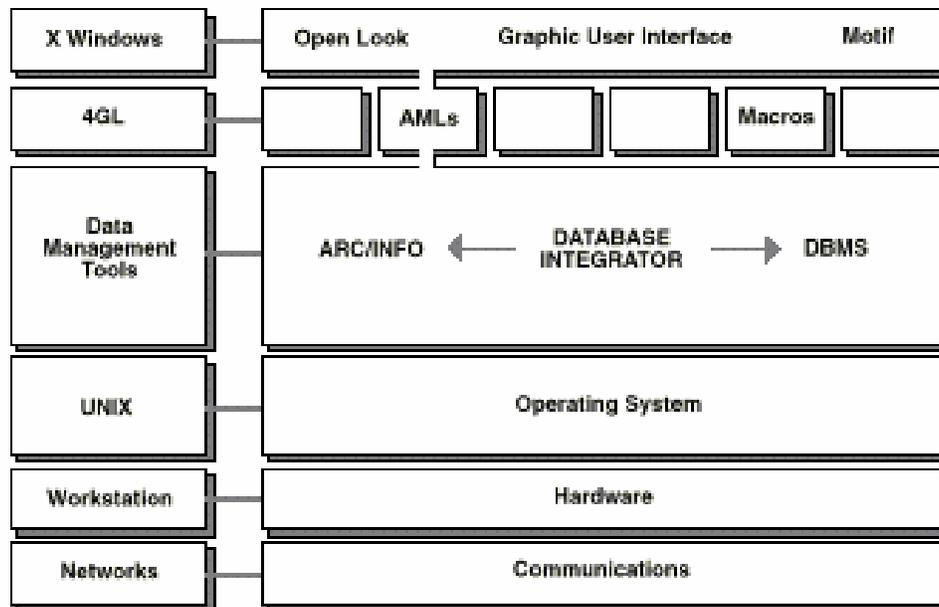


**Figura 3.7.** Módulos ARC/INFO

Principales características de ARC/INFO:

- Programación estructurada
- Arquitectura de base de datos relacional con SQL
- Estándares de comunicación como Ethernet, TCP/IP, NFS, NCS, y SNA
- Un lenguaje SIG de cuarta generación (AML)
- Formatos de intercambio estándar como DLG, TIGER, SIF, PostScript, IGES, DXF, Scitex, RasterImage data, DEM, DTM.

En la Figura 3.8 se muestra la arquitectura de ARC/INFO.



**Figura 3.8.** Arquitectura de ARC/INFO

Con ArcInfo es posible disfrutar de todas las ventajas de los elementos de la familia ArcGIS:

- ✓ Herramientas para crear, manipular, distribuir y aplicar la información geográfica.
- ✓ Facilita e incrementa la productividad.
- ✓ Permite combinar las propiedades de los objetos con su “comportamiento”.
- ✓ Personalización de interfaces.

Este modelo tiene dos facetas claves:

1. Los datos espaciales son combinados con atributos. Los datos espaciales son almacenados en archivos binarios como índices, los cuales optimizan el acceso y la visualización. Los atributos son almacenados en tablas con un número de renglones igual al número de componentes en las tablas binarias y son unidos por un identificador común.
2. Las relaciones topológicas entre componentes vectoriales pueden ser almacenadas. Esto significa, que un record de un dato espacial para una línea contiene información acerca de cuales nodos delimitan la línea, y por inferencia, que líneas están conectadas. También contiene información sobre que polígonos se encuentran a la izquierda y a la derecha de la línea.

Los datos geográficos representados vectorialmente se almacén en coberturas (covergare). El modelado de datos con cobertura produjo un alto rendimiento en los SIG, y la facilidad de poder almacenar relaciones topológicas, mejoró el análisis geográfico y una mayor exactitud en los datos de entrada.

## **Síntesis del capítulo**

En este capítulo se presentan algunos aspectos importantes que son necesarios para llevar a cabo la metodología de esta tesis. Como se mencionó anteriormente, el objetivo de la misma es obtener una geometría explícita acuerdo con su forma, para esto realizará una conceptualización por medio de mediciones, y se incluirá un contenido semántico. Este contenido es expresado por los conceptos.

Estos conceptos son generados por medio de un análisis a un conjunto de datos en un dominio geográfico, y representados por los conceptos. Es importante mencionar que los conceptos representan la interpretación y significado de los objetos geo-espaciales.

Nuestra metodología está basada en la representación explícita de las propiedades geométricas. El análisis espacial se llevará a cabo con datos vectoriales (punto, línea y área), el primer paso consiste en realizar las mediciones a los datos geo-espaciales, en el caso particular de esta tesis, se realizará en las temáticas de redes hidrológicas y carreteras. Posteriormente, los resultados obtenidos por las mediciones se les asignarán un concepto. La implantación de los algoritmos de esta tesis se realizó en ARC/INFO.

# CAPÍTULO IV

# METODOLOGÍA

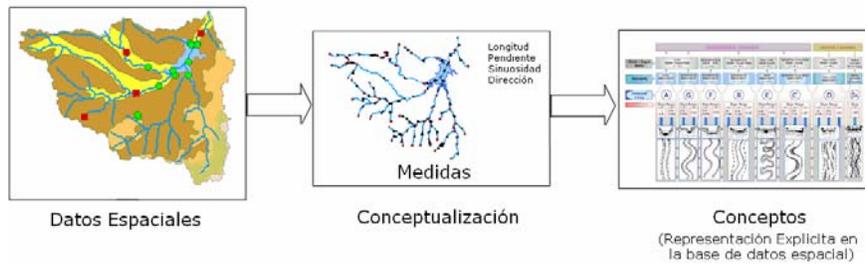
# PROPUESTA

*En éste Capítulo se presenta la formulación de la metodología para la conceptualización de Aspectos Geométricos en el Contexto de Datos Geo-Espaciales. En la sección 4.1 se desarrollará la metodología propuesta, posteriormente en la sección 4.2 se presenta detalladamente las etapas de la metodología. La síntesis se detalla en la sección 4.3.*

## **4.1. Introducción**

La problemática que interesa desarrollar con la presente metodología propuesta, está enfocada a una conceptualización geométrica de objetos geo-espaciales, por medio de la obtención de mediciones. Esta investigación tiene como propósito principal, diseñar un Sistema de Información Geográfica (SIG) orientado a representar explícitamente la geometría de datos geo-espaciales. La representación explícita está basada en la

conceptualización de las propiedades geométricas como se muestra en la Figura 4.1. La conceptualización de las propiedades geométricas se obtiene por una medición de los objetos geo-espaciales; en donde los valores obtenidos por las mediciones son clasificados en intervalos que describen las propiedades geométricas. Cabe mencionar que dichos valores se utilizan para definir mejor los conceptos que representan las características de cada objeto.



**Figura 4.1.** Proceso para generar una representación explícita

Usando este método, intentamos captar la semántica que contiene los datos geo-espaciales, en el contexto geométrico.

## 4.2. Descripción del dominio

A continuación se describe de forma general el dominio, formado por las temáticas de ríos y carreteras. Esta descripción representa la conceptualización de dicho dominio por un experto. Donde se presentan el conjunto de relaciones relevantes, entidades, propiedades que posee el dominio.

### 4.2.1. Redes hidrológicas

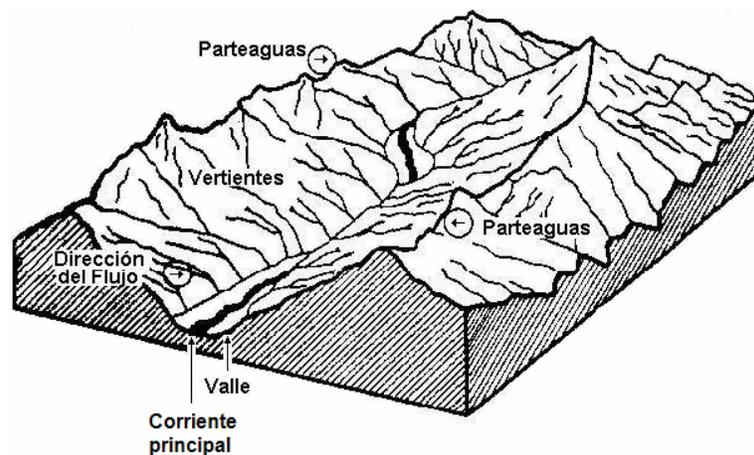
Una red hidrológica es un sistema de circulación lineal, jerarquizado y estructurado que asegura el drenaje de una cuenca; especialmente una cuenca hidrográfica. Los ríos forman parte de cuencas hidrográficas, estas son áreas surcadas por un sistema de corrientes formadas por escurrimientos producto de las precipitaciones que fluyen hacia un cauce común, obedeciendo a las variaciones topográficas del terreno.

La cuenca está delimitada por los puntos de mayor elevación latitudinal que constituyen fronteras entre cuencas y subcuencas contiguas. A la unión de dichos puntos se les conoce como parteaguas y conjunta en un punto de salida el drenaje de las aguas que pueden formar grandes ríos arroyos o corrientes.

Las partes constitutivas de una cuenca son:

- a) El Parteaguas
- b) Sus vertientes
- c) Su valle o cuenca baja
- d) Su red de avenamiento o drenaje

En la Figura 4.2 se muestran las partes constitutivas de una cuenca. El parteaguas es la línea altimétrica de mayor elevación. Que delimita orográficamente a cuencas vecinas. Este lindero real marca las variaciones de la conducción del drenaje superficial que por efectos de la pendiente confluyen hacia la parte baja en ambas vertientes. Con fines prácticos, el parteaguas se cierra artificialmente en el estrangulamiento natural que se forma, donde se delimita la montaña del valle y a este lugar generalmente se le llama boquilla, porque aquí es donde se marca el volumen de los escurrimientos.



**Figura 4.2.** Esquema simplificado de una cuenca

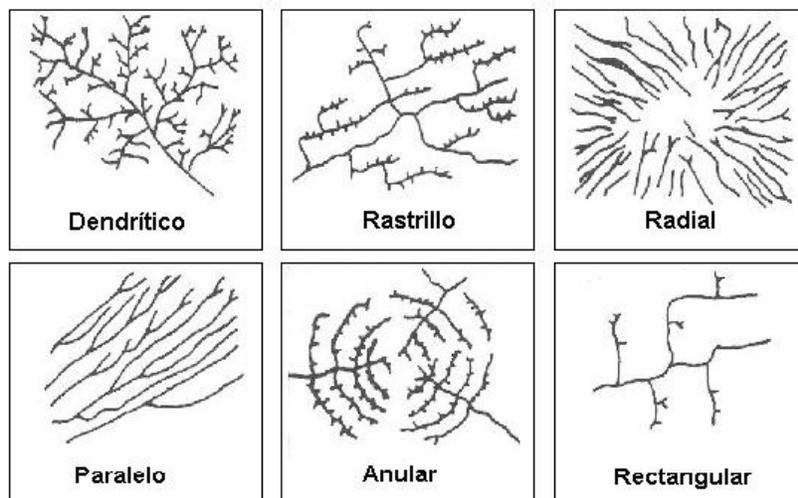
Las vertientes son las áreas de captación y se constituyen como las zonas más estratégicas de la cuenca, dado que en ellas la susceptibilidad del fenómeno es altamente significativa. Las vertientes tienen diversas exposiciones topográficas, se pueden presentar como laderas, declives, depresiones, planicies, cauces, barrancos, taludes y Cantiles.

El valle o cuenca baja, es la zona de menor altitud y donde generalmente se encuentran, los cultivos agrícolas y los asentamientos humanos, aquí la conjunción de las corrientes tributarias han formado un río.

La red de drenaje es la disposición de los cauces y lechos por donde de manera superficial corre el agua excedente producto de la precipitación hacia un depósito natural o artificial. La red de drenaje consta de una corriente principal y un sistema de corrientes tributarias de menor importancia.

La configuración de las redes es el producto de las influencias que tienen sobre ellas los suelos, las rocas, el grado de fracturación y topografía. Los estudios realizados con los sistemas de drenaje han permitido diferenciar cierto número de éstos, basados exclusivamente en su forma, lo cual ha dado lugar a una clasificación de estos patrones de drenaje y sus modificaciones.

El significado de cada patrón de drenaje tiene relación con la geología, aunque es imposible señalar en una forma precisa la correlación geológica para cada sistema de drenaje. Las 6 formas más comunes son: Dendríticas, Enrejado, Radial, Paralelo, Anular y Rectangular, en la Figura 4.3 las podemos observar [Moreno 2001].



**Figura 4.3.** Tipos de redes hidrológicas

Como se puede observar en la figura anterior, los ríos cuentan con una geometría muy interesante; por ejemplo, propiedades como la sinuosidad es diferente en todos los casos. Es por ello, la motivación de esta tesis de analizar los aspectos geométricos en el caso particular de redes hidrológicas y carreteras.

#### **4.2.1.1 Atributos de corrientes de agua**

De acuerdo al diccionario de datos Topográfico escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática INEGI [INEGI 1996], los atributos que deben tener las corrientes de agua son:

##### **Condición de la corriente de agua**

Intermitente: Con presencia de agua en determinadas épocas del año.

Perenne: Con presencia de agua permanentemente.

##### **Identificador de la corriente de agua:**

Un número secuencial que se incrementa con cada ocurrencia.

##### **Dominio de valores:**

En el intervalo de 1 a N.

#### **4.2.2. Carreteras**

Vía de comunicación terrestre cuya estructura consta de un terraplén<sup>1</sup>, obras de arte y revestimiento, para tránsito de vehículos. Se distingue de un simple camino porque está especialmente concebida para la circulación de vehículos de transporte [INEGI 1996].

##### **4.2.2.1. Atributos**

De acuerdo al diccionario de datos Topográfico escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática INEGI [INEGI 1996], los atributos que deben tener las corrientes de agua son:

##### **Tipo de Carretera**

Pavimentada: De asfalto o concreto.

---

<sup>1</sup> Plataforma de tierra.

Terracería: De arena y grava compactada.

### **Número de Carriles**

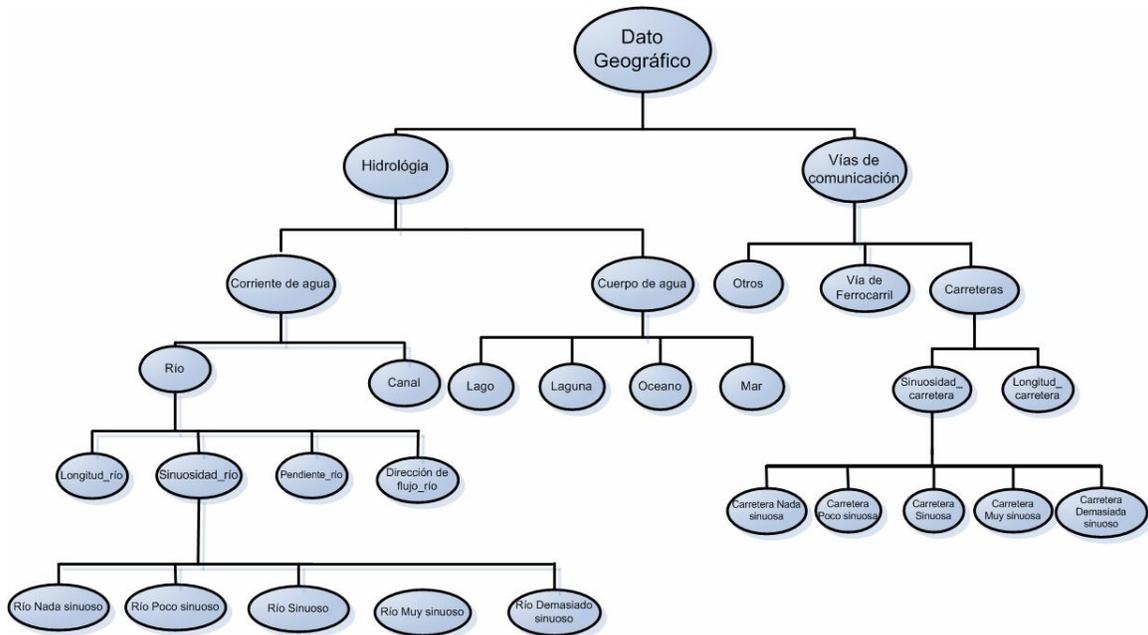
- Un carril
- Dos carriles
- Tres carriles
- Cuatro carriles
- Cinco carriles
- Seis carriles
- Más de seis carriles

### **Restricciones del Atributo**

No aplicable (N/A): Indica que este atributo no es válido, cuando el valor del atributo condición de la carretera es fuera de uso o en construcción o cuando el valor del atributo derecho de tránsito es restringido.

### **4.2.3. Taxonomía propuesta**

Una vez que se ha descrito el dominio, requerimos de una taxonomía. En la Figura 4.4 se muestra la taxonomía propuesta en esta tesis, los conceptos fueron definidos por el Estándar Internacional de Datos (ISO) [ISO/IEC 18025, 2005]. Se utilizó el documento de ISO ya que representa un consenso de una comunidad.



**Figura 4.4.** Taxonomía propuesta

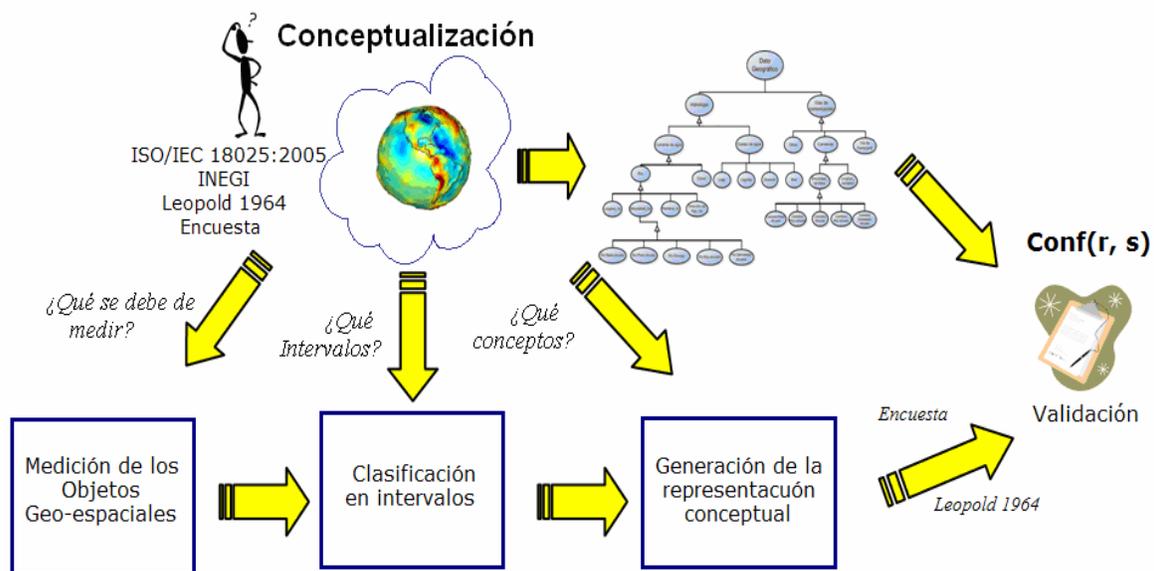
Esta taxonomía está formada por dos clases (representadas < >), que son <Vías\_de\_comunicación> e <Hidrología>. Como subclases de <Vías\_de\_comunicación> tiene <Carreteras>, <Via\_de\_ferrocarril>, <Otros>. En la subclase <Carreteras> tiene <Sinuosidad\_carretera>, <Longitud\_carretera>. La subclase <Sinuosidad\_carretera> cuenta con una partición completa (*Carretera\_Nada\_sinuosa*), (*Carretera\_Poco\_sinuosa*), (*Carretera\_Sinuosa*), (*Carretera\_Muy\_sinuosa*), (*Carretera\_Demasiado\_sinuosa*). Como subclases de <Hidrología> tiene <Cuerpo\_de\_agua>, <Corriente\_de\_agua>. Así mismo la subclase <Corriente\_de\_agua> tiene las subclases <Río>, <Canal>. La subclase <Río> cuenta con una partición completa (*Río\_Nada\_sinuoso*), (*Río\_Poco\_sinuoso*), (*Río\_Sinuoso*), (*Río\_Muy\_sinuoso*), (*Río\_Demasiado\_sinuoso*). Cabe mencionar que solo se tiene la relación uno a uno.

En buena parte, el análisis espacial se ha desarrollado mediante la importación de la metodología estadística y su adaptación al estudio de los datos geo-espaciales. No obstante, también se incluyen en él ciertos procedimientos que analizan exclusivamente las características geométricas de los hechos espaciales (geográficos), sin considerar simultáneamente los valores temáticos asociados a ellas. En el análisis espacial es de

suma importancia el manejo de los datos atributivos y descriptivos para obtener nuevos resultados a partir de la utilización de los mismos, ya que con éstos hacemos una relación intrínseca de la información espacial, acorde al resultado esperado, haciendo substracción, unión de datos geo-espaciales con base en los atributos o viceversa, pero contando siempre con las características de los datos espaciales en toda representación y en los resultados finales.

### 4.3. Metodología propuesta

La metodología propuesta tiene el objetivo de obtener una representación conceptual, que se basa en la conceptualización de las características geométricas. Como se muestra en la Figura 4.5, el análisis y la representación conceptual parte del dominio del experto. El experto cuenta con una conceptualización de un dominio (es decir, sus conceptos, relaciones e intervalos de un fenómeno). Para la obtención de la representación conceptual es necesario realizar una medición a los objetos geo-espaciales, el siguiente paso es realizar una clasificación en intervalos (según sea la conceptualización del experto) y posteriormente la asignación de conceptos (los cuales dependen de la representación conceptual de los expertos). Finalmente, se realiza la validación la cual consiste en conocer que tan buena es la correspondencia entre el concepto obtenido por el sistema y el conocimiento humano del concepto.



**Figura 4.5.** Esquema metodológico

Como podemos observar el esquema metodológico (ver Figura 4.5) está compuesto por cuatro etapas de análisis

Etapa 1: Medición de los objetos geo-espaciales.

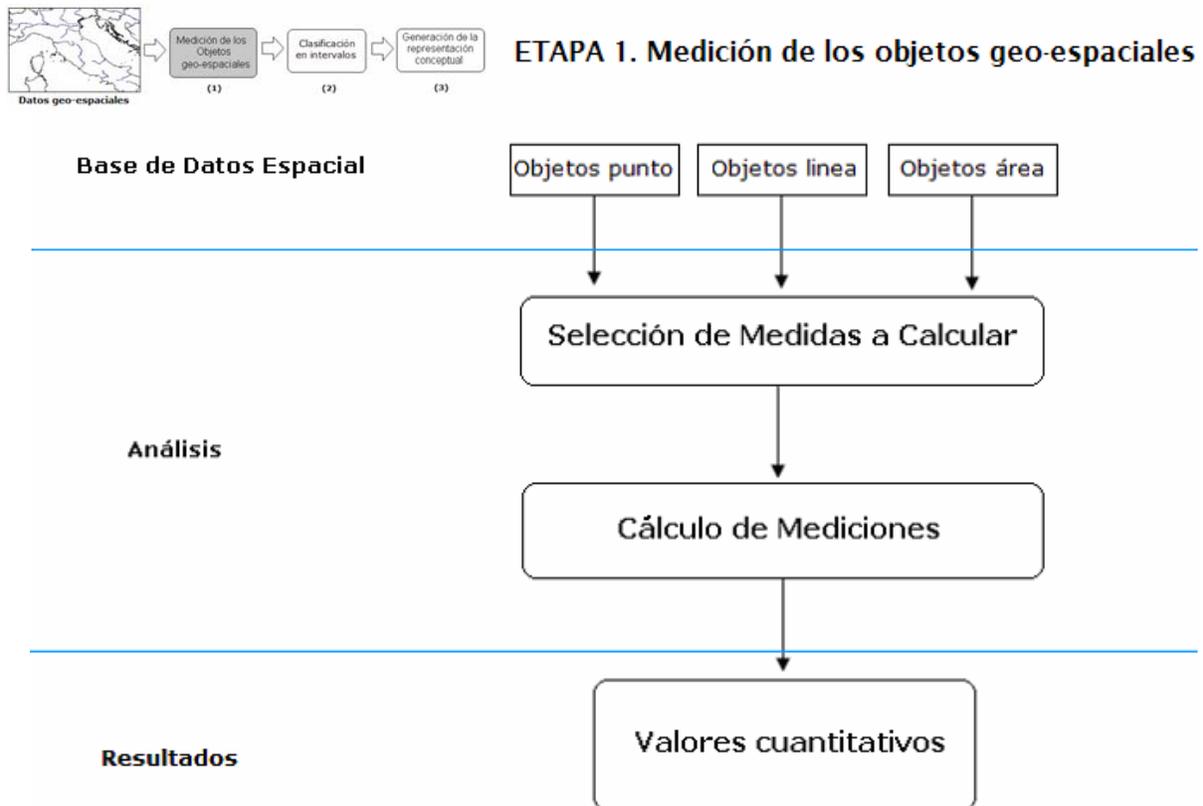
Etapa 2: Clasificación en intervalos.

Etapa 3: Generación de la representación conceptual.

Etapa 4: Validación.

### 4.3.1. ETAPA 1 Medición de los objetos geo-espaciales

El primer paso es realizar a cabo una medición a los datos espaciales; en caso particular de esta tesis a los objetos lineales (es decir, carreteras y ríos). El diagrama del módulo de análisis se presenta en la Figura 4.6.



**Figura 4.6.** Medición de objetos geo-espaciales (Etapa 1)

Una medida es un procedimiento para el cálculo de mediciones, lo cuál es la base para valorar las características de una entidad geográfica. Una medida puede constar de una simple fórmula o puede involucrar un algoritmo. Es importante recordar que una medición es un valor numérico atribuido a una observación, la cual refleja la magnitud o cantidad de una característica [Davis 1986]. Es importante mencionar que es posible calcular mediciones individuales (i.e. un solo objeto geográfico por ejemplo un punto, línea y área) así como en organizaciones (es decir, con un par de objetos por ejemplo una línea y un punto).

Las medidas en objetos definen las formas de caracterizar lógicamente a un objeto (entidad). Por ejemplo, en un río se pueden medir diferentes características como: la sinuosidad, longitud y orientación. Así mismo, se puede extraer otra información importante por medio de la relación que existe entre los objetos vecinos, como lo es el paralelismo de caminos, poblados, etc. De igual forma, cuando tales medidas describen geometría del objeto, el valor que resulta es una descripción de un carácter que sea unido al objeto.

#### **4.3.1.1. Selección de la medida adecuada**

Como primera acción se propone realizar el análisis de las medidas que se desean obtener, ya que del tipo de capa dependerá la medida empleada. En el caso particular de esta tesis, se emplearán mediciones relacionadas con la forma geométrica. En la Figura 4.7 se muestra la clasificación del análisis de medidas de la forma geométrica. Es importante mencionar que al analizar la forma geométrica se desarrollan unidades fundamentales para identificar y describir objetos geo-espaciales explícitamente.

Como podemos observar en la Figura 4.7, se pueden calcular mediciones de tamaño, sinuosidad, excentricidad; así como otros aspectos geométricos en los objetos geo-espaciales.

		<i>Tamaño</i>	Longitud Área Perímetro
--	--	---------------	-------------------------------

		<i>Sinuosidad / Complejidad</i>	Medidas de Sinuosidad Número de curvas
		<i>Elongación/ Excentricidad</i>	Excentricidad Alargamiento Expansión
		<i>Compactibilidad</i>	Deficiencias convexas Compactibilidad - medidas Cuadratura
		<i>Aspectos Importantes</i>	Forma de la curva de puntos Caracterización usando una dirección-distancia

**Figura 4.7.** Clasificación de medidas de la geometría de forma

En el caso particular de esta tesis las medidas seleccionadas son la *longitud* y la medida de *sinuosidad*. A continuación se presenta el procedimiento para calcular las mediciones de *longitud* y *sinuosidad* (ver Anexo I).

#### **4.3.1.2. Cálculo de la medida de longitud en ríos**

La longitud de una línea es probablemente la cualidad geométrica más simple. La longitud sin embargo, no puede representar la complejidad de la línea. Cabe mencionar que puede ser utilizada para representar los efectos de la simplificación. Debido a que se modifica la longitud, porque gran parte de la sinuosidad se elimina; por ejemplo, una línea llega a ser más corta, cuando pasa por el proceso de simplificación. McMaster [McMaster 1986] presenta "el cambio de porcentajes de una línea de acuerdo con su longitud" como una medida de longitud. Esta medida ha sido expresada como la longitud total de la línea simplificada dividida por la longitud de la línea original, el objetivo es presentar como unos porcentajes de variación [Shahriari 2002]. Como se mencionó anteriormente, la longitud a pesar de ser una medida geométrica muy sencilla, sirve como base para la obtención de otras medidas. Además de que en el caso particular de esta tesis se analizará la geometría de ríos y carreteras.

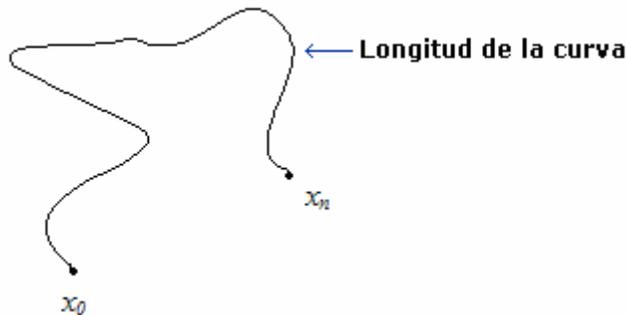
Para obtener la longitud, la geometría nos dice que la distancia más corta entre un nodo y una recta es la perpendicular a dicha recta que pasa por ese nodo. En otras palabras, si pensamos en vectores en vez de líneas, sería el vector que pasando por el punto de medición de la distancia mantiene un producto escalar = 0 (precisamente por ser perpendicular). Una fórmula inmediata para el cálculo de la distancia entre un nodo  $(x, y)$  se muestra en la ecuación (1):

$$d = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \quad (1)$$

Para obtener la longitud total del arco es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=0}^{n-1} d(x_i, x_{i+1}) \quad (2)$$

En donde, la suma de la distancia  $(d)$  del nodo inicial  $(x_i)$  al nodo final  $(x_{i+1})$  es la longitud del arco, como se muestra en la Figura 4.8.



**Figura 4.8.** Longitud de una curva

### 4.3.1.3. Cálculo de la medida de sinuosidad en ríos

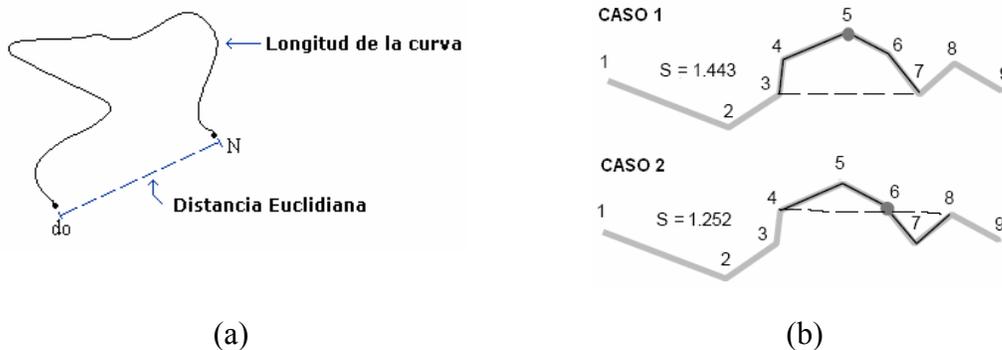
La sinuosidad de un río es la tendencia de moverse de un lado a otro al otro a través del terreno. La medida de sinuosidad evalúa específicamente los cambios angulares individuales a lo largo de una línea. McMaster [McMaster 1986] definió como el "ángulo absoluto del cambio entre cada par de vectores consecutivos" como la medida

básica de la sinuosidad. Jasinski en 1990 definió otra fórmula para calcular la " medida de sinuosidad", la cual se extiende a partir 0 (línea recta) a 1 (una línea con sinuosidad) y otra medida, que denominó *Coficiente de la variación de la angulosidad media* [Jasinski 1990].

Matemáticamente el cálculo de la sinuosidad ( $s$ ), es obtenida por la ecuación 3, en donde se divide la longitud de la curva ( $\sum_{i=0}^{n-1} d(x_i, x_{i+1})$ ) entre la distancia Euclidiana (es decir, la distancia en línea recta que existe entre el nodo inicial  $\mathbf{d}_0$  al nodo final  $\mathbf{N}$ ) ( $\sqrt{(x_0, N)}$ ), como se muestra en la Figura 4.9(a).

$$\text{Sinuosidad} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} d(x_i, x_{i+1})}{\sqrt{(x_0, N)}} \quad (3)$$

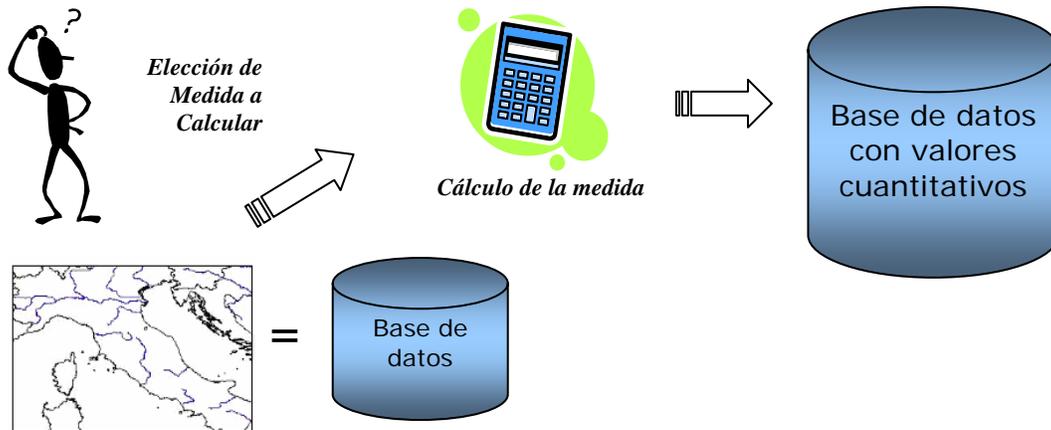
En la Figura 4.9 (b) se muestran algunos ejemplos del cálculo de sinuosidad, como se puede observar la sinuosidad depende del número de vértices que se analizan y de la distancia Euclidiana es decir, en el primer caso se analiza toda la curva, por lo tanto la sinuosidad es mayor, en el siguiente caso solo se calcula la mitad de la curva obteniendo una sinuosidad menor. En el caso de esta tesis, la sinuosidad será calculada analizando todos los vértices como en el caso 1.



**Figura 4.9.** (a) Sinuosidad de un arco, (b) Ejemplos de sinuosidad

Una vez seleccionada la medición a evaluar, se inicializa el algoritmo que realiza el cálculo de la medición. Al terminar, el proceso obtiene como resultado una *base de datos con valores cuantitativos*, con un nuevo campo de información que corresponde a los

valores cuantitativos es decir, los resultados obtenidos por la medición, como se muestra en la Figura 4.10.



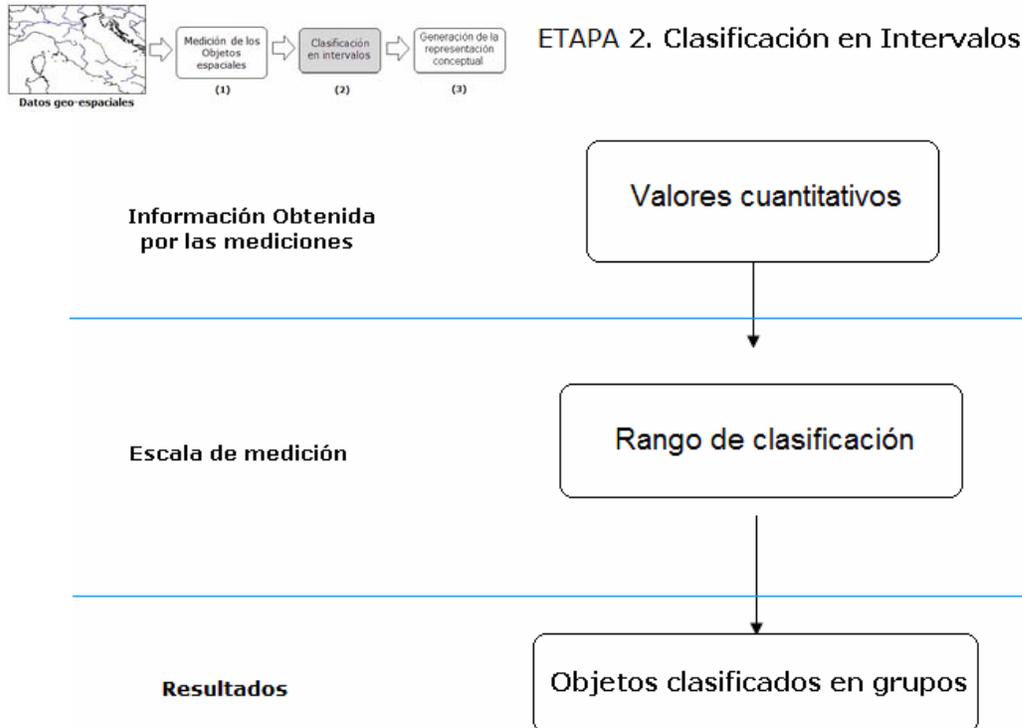
**Figura 4.10.** Análisis y resultado de mediciones

### 4.3.2. ETAPA 2 Clasificación en intervalos

Esta etapa consiste en clasificar los valores cuantitativos obtenidos por las mediciones, en intervalos definidos por un experto. Obteniendo como resultado objetos clasificados en grupos, en donde posteriormente se les asignara un concepto.

Como se menciona anteriormente, en nuestro modelo la geometría de forma de los objetos geo-espaciales será descrita por medio de los conceptos que representan las propiedades geométricas como es la sinuosidad, longitud, etc.

En la etapa anterior se obtuvieron como resultado valores cuantitativos. La siguiente etapa es *clasificar en intervalos* los valores cuantitativos obtenidos de las mediciones obtenidas anteriormente. Para esto es necesario establecer una escala de medición en donde se definen los rangos de clasificación, obteniendo como resultado objetos clasificados. El diagrama de la etapa de clasificación en intervalos se muestra en la Figura 4.11.



**Figura 4.11.** Clasificación en Intervalos (Etapa 2)

#### 4.3.2.1. Escala de medición y resultados de la Etapa 2

La primera fase consiste en clasificar en definir el rango de clasificación, es decir, establecer una escala de medición por medio de los valores obtenidos por las mediciones. Lo importante es que la medición que se establece no resulte inconsistente con las relaciones observadas en el mundo real. Por lo tanto, la asignación que se define entre el mundo real y los valores de medidas se denomina *escala de medición*.

Dicha escala puede ser obtenida por medio de la opinión de un experto, es decir, por valoraciones subjetivas (por ejemplo, utilizando cuestionarios donde se clasifican u ordenan las opiniones de los expertos sobre un atributo).

Para llevar a cabo la clasificación en grupos es necesario de establecer las restricciones para pertenecer a una clase (es decir, el rango de valores de la clasificación), a continuación se explica como se definen las clases.

### 4.3.2.2. Definición de clases

En base en [Carnap 1956] se explica como las clases se definen por las propiedades que son características de sus miembros; es decir, los objetos de una clase tienen propiedades que los distinguen de objetos que no pretenden a la clase. Esto implica que para cada uno de los descriptores cuantitativos (DC) siempre debe decidirse si es miembro o no de una determinada clase. Un criterio debe ser formulado para cada clase para considerar a que clase pertenece cada DC. Los criterios describen la *intensión* de la clase y describen si un  $DC_i$  cumple con un criterio para ser miembro de una clase  $C_j$ , será miembro de esa clase. Así la función de membresía de la clase se define como:

$$M[DC_i, C_j] = 1 \text{ si } DC_i \text{ si es miembro de } C_j ; \text{ de otra forma } M[DC_i, C_j] = 0$$

Para cada  $DC^*$  se define la que especifica la clase a la que el objeto pertenece:

$$CLASE(DC) = \{C/M[DC, C]=1\}$$

La extensión de la clase es el conjunto de todos los objetos que pertenecen a ella:

$$EXT(C_j) = \{DC_i/M[DC_i, C_j]=1\}$$

La forma correcta de expresar la relación entre el  $DC$  y la clase es la sentencia: *el descriptor cualitativo  $DC_i$  (no) es un elemento de la clase  $j$* . Es posible que la clase  $C$  que se defina no tenga elementos, en este caso la extensión es vacía  $EXT(C)=\emptyset$ . Considerar el caso de un estudio demográfico de poblaciones, con clases compuestas por:

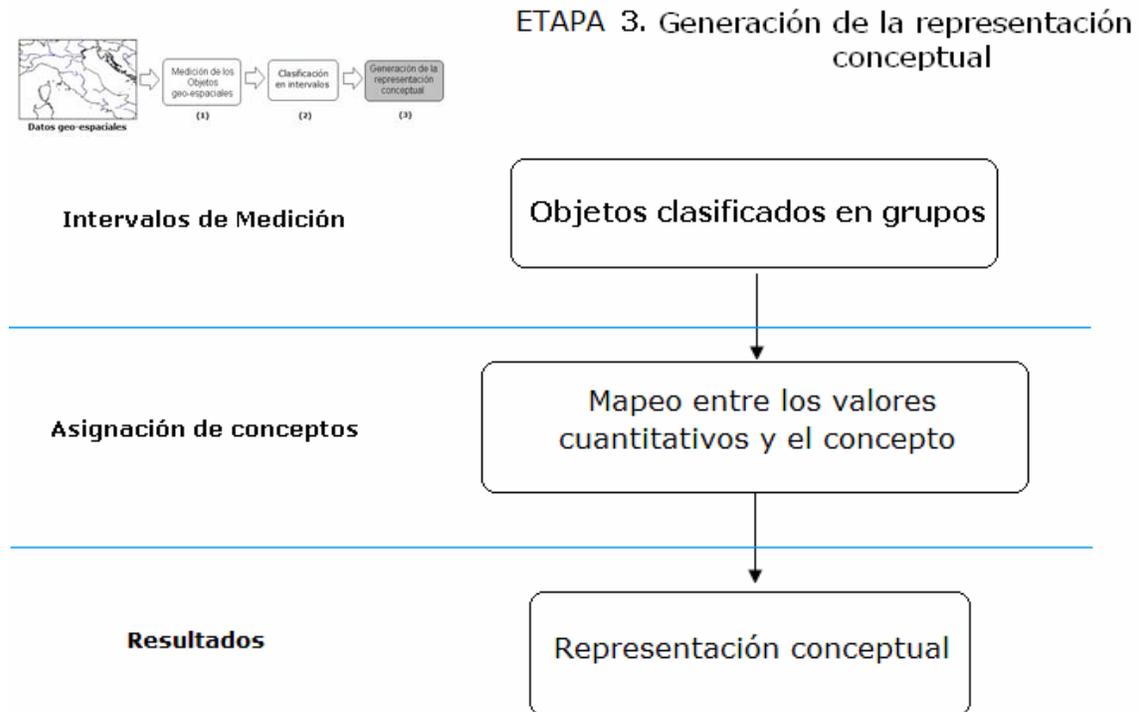
Poblados:	<i>intensión</i> $100 < \text{número de habitantes} < 1,000$
Cabecera Municipal	<i>intensión</i> $1,000 < \text{número de habitantes} < 50,000$
Ciudades	<i>intensión</i> $50,000 < \text{número de habitantes} < 10,000,000$
Mega ciudades	<i>intensión</i> $10,000,000 < \text{número de habitantes}$

Existen muchos países que tendrán mega ciudades, pero para la gran mayoría de países esta clase no tendrá miembros por lo que su extensión es vacía. En caso del ejemplo anterior, el número de habitantes representa a los descriptores cuantitativos. Adicionalmente del ejemplo antes citado, se observa que se asigna un concepto a cada clase, por ejemplo: una entidad Morelia (población con 500,000 habitantes) se le asigna el concepto Ciudad, por lo que se puede decir que Morelia es un elemento de la clase ciudades o bien Morelia *es* Ciudad.

La siguiente fase después de obtener los intervalos de las mediciones es realizar el proceso de conceptualización.

### **4.3.3 ETAPA 3 Generación de la representación conceptual**

Una vez que se cuenta con los objetos clasificados en grupos, la siguiente etapa es la asignación de conceptos. La asignación de conceptos se realiza por medio del mapeo entre los *objetos clasificados en grupos* y el *concepto*. El diagrama de este módulo de análisis se muestra en la Figura 4.12. En este caso, los objetos clasificados en grupos representan un concepto. Los intervalos representativos son definidos en la clasificación (por ejemplo, la sinuosidad de una línea puede ser poco, medio, o muy sinuosa).



**Figura 4.12.** Generación de la representación conceptual (Etapa 3)

### 4.3.3.1 Asignación de conceptos y resultados de la Etapa 3

Antes de definir que es un mapeo, es importante explicar que existen dos componentes principales para un dominio conceptual:

- La *fente del dominio*: es el dominio conceptual del cual se dibujan o se tienen las expresiones.
- El *objetivo del dominio*: es el dominio conceptual que se intenta entender.

Por ejemplo, si quisiera hacer un viaje a Norte América (el cual sería mi fuente de dominio) y se proporcionan algunos requerimientos para elegir el país, como son: vacaciones, tequila, mariachi, mayas y bajo precio (éstos serían el objetivo del dominio). En la Figura 4.13 (a) se tiene el objetivo del dominio, en la Figura 4.13 (b) se muestra la fuente del dominio, así mismo podemos ver el mapeo que existe entre los dos dominios.

**Tequila**  
**Mariachi**  
**Mayas**  
**Bajo precio**

(a)



(b)

**Figura 4.13.** (a) Objetivo del dominio, (b) Fuente del dominio

El *mapeo* es la técnica de las correspondencias que existen entre los elementos de la fuente del dominio y el objetivo del dominio. Por lo tanto, podemos decir que una metáfora conceptual es el sistema de mapeo que se realiza de la fuente al objetivo. Así mismo, esta misma idea de mapeo entre la fuente y el objetivo se utiliza para describir el razonamiento e inferencias analógicas.

Es decir, dados dos conjuntos: **X**, **Y**; una relación **f**, que determina una correspondencia matemática entre todos los elementos de **X** con los elementos de **Y**, diremos que esa relación: **f**, define un **mapeo** entre **X** e **Y**, que representaremos:

$$f : X \rightarrow Y$$

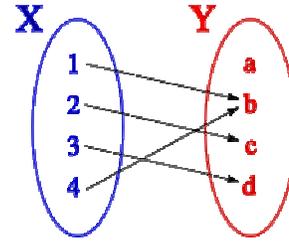
Cuando:

1. todos los elementos de **X** están relacionados con los elementos de **Y**.
2. cada elemento de **X**, está relacionado con un único elemento de **Y**.

Esto es, un **mapeo** es una **aplicación**, si todos los elementos del conjunto inicial tienen un dominio y es única. En la Figura 4.14 (a) se tienen dos conjuntos **X** e **Y**, Figura 4.14 (b) la correspondencia matemática (o bien el mapeo entre los 2 conjuntos).

$$X = \{1, 2, 3, 4\}$$

$$Y = \{a, b, c, d\}$$



(a)

(b)

**Figura 4.14.** (a) Conjuntos, (b) Correspondencia matemática

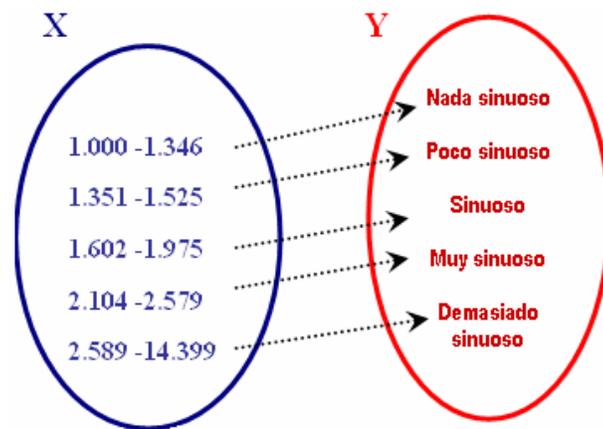
Como se puede ver, a cada uno de los elementos de **X** le corresponde un único elemento de **Y**. El elemento **a** de **Y** no tiene origen y el elemento **b** tiene dos orígenes (el **1** y el **4**), pero esto no afecta a la definición de aplicación como tipo de correspondencia.

En el caso particular de esta tesis, el mapeo que se realizará es por medio del rango de clasificación y el concepto. El rango de la clasificación es obtenido por el promedio de los valores máximos y mínimos, de los resultados obtenidos por las mediciones de una encuesta (Ver Anexo IV). Dicha encuesta esta enfocada en conocer como es interpretada una característica (como es el caso de la sinuosidad de un río), en un grupo de expertos (Los perfiles de los expertos están en el Anexo VI). La encuesta tuvo una muestra de 60 encuestados, de los cuales 30 geógrafos y topógrafos, 15 expertos en SIG y 5 usuarios de SIG (ver anexo VI).

En la Figura 4.15 (a) Se tienen los conjuntos X e Y sus elementos, estos conjuntos dependen del caso de estudio, en (b) se muestra la correspondencia del conjunto X al Y.

$$X = \{(1.000 - 1.346), (1.351 - 1.525), (1.602 - 1.975), (2.104 - 2.579), (2.589 - 14.399)\}$$

$$Y = \{\text{Nada sinuoso}, \text{Poco sinuoso}, \text{Sinuoso}, \text{Muy Sinuoso}, \text{Demasiado sinuoso}\}$$



(a)

(b)

**Figura 4.15** (a) Conjuntos X e Y, (b) Mapeo del conjunto X al B

En la Tabla 4.1 se muestra la conceptualización para la temática de ríos. Como se puede observar, cada concepto cuenta con un rango de intervalos, lo que permite realizar el mapeo entre el concepto y la medición (por ejemplo, Si un río tiene una *medida de sinuosidad* de 1.231, el concepto que lo define es “*Nada sinuoso*”).

**Tabla 4.1.** Conceptualización de ríos

Rango	Concepto
1.000 - 1.346	Nada sinuoso
1.351 - 1.525	Poco sinuoso
1.602 - 1.975	Sinuoso
2.104 - 2.579	Muy sinuoso
2.589 - 14.399	Demasiado sinuoso

Es importante mencionar que la sinuosidad puede ser calculada en ríos, carreteras ó curvas de nivel, pero los rangos para la conceptualización no son los mismos para todas las temáticas. En caso particular de esta tesis, se define la conceptualización para río y carreteras. A continuación se muestra en la Tabla 4.2 el rango de conceptualización correspondiente a la temática de carreteras.

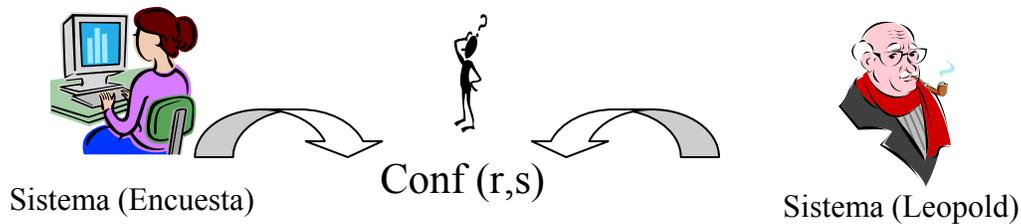
**Tabla 4.2.** Conceptualización de carreteras

Rango	Concepto
1.005 - 1.089	Nada sinuosa
1.110 - 1.226	Poco sinuosa
1.234 - 1.436	Sinuosa
1.630 - 2.099	Muy sinuosa
2.100 - 3.781	Demasiado sinuosa

La representación conceptual (*RC*) esta dada en tuplas de la forma: *RC (Objeto, Relación, Propiedad)*, donde, *Objeto*, representa el identificador de un objeto geográfico; *Propiedad*, representa una característica de un objeto (en este caso sinuosidad); *Relación*, representa la relación entre el objeto y la propiedad (generalmente la relación empleada es “tiene” o “es”). Por ejemplo, podemos tener una tupla: *RCi {Río\_1, es, Poco sinuoso}*.

#### **4.3.4. ETAPA 4 Validación**

La validación consiste en conocer que tan buena es la correspondencia entre el concepto obtenido por el sistema y el conocimiento humano del concepto (ver Figura 4.16). Para esto se utiliza una medición denominada confusión<sup>2</sup> ( $conf(r, s)$ ) [Levachkine y Guzmán 2003], la cual esta enfoca en calcular la diferencia que existe entre dos conceptos sobre una jerarquía. En el contexto de este trabajo,  $conf(r, s)$  se puede interpretar como la confusión de tener una sinuosidad  $r$  en vez de tener una sinuosidad  $s$ . Donde,  $s$ , corresponde al valor obtenido automáticamente por el sistema con base en una encuesta y  $r$ , corresponde al valor obtenido por el sistema utilizando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

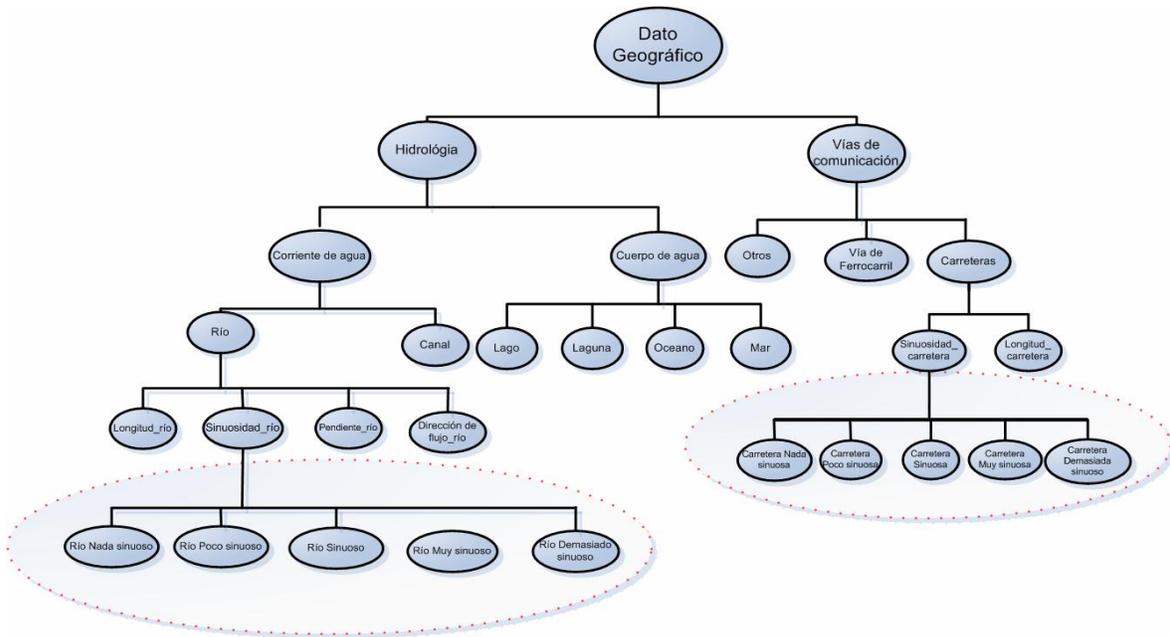


**Figura 4.16.** Correspondencia entre el concepto obtenido por el sistema y el de expertos

La confusión es obtenida por  $conf(r,s) = |r-s|/n$ , en donde  $r$  es el concepto que asignado por el sistema usando los intervalos obtenidos por la encuesta y  $s$  es el concepto obtenido por la usando los intervalos propuestos por [Leopold 1964],  $n$  es el número de elementos del fragmento de la taxonomía que se refiere a sinuosidad. El valor obtenido de  $conf(r,s)$  representa la *similitud semántica* que existe entre ambos conceptos. En la Figura 4.17 se muestra la taxonomía propuesta.

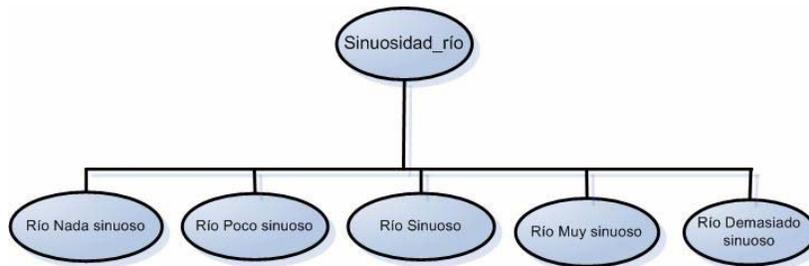
---

<sup>2</sup> El termino confusión fue introducido para diferenciar este enfoque de otros que se orientan a medir distancias entre conceptos (i.e., simetría, medidas independientes del contexto, cercanía, similitud). La asimetría de la confusión se da por su definición y su dependencia al contexto por la estructura jerárquica. El concepto de confusión permite definir la cercanía a la que un objeto cumple un predicado como también derivar otras operaciones y propiedades entre valores jerárquicos [Levachkine y Guzmán 2003].



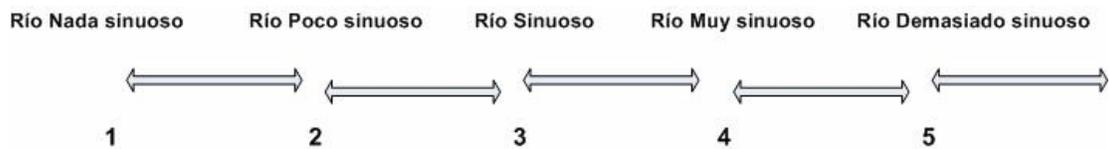
**Figura 4.17.** Selección de fragmento de la taxonomía

En la Figura 4.18 se propone un fragmento de la taxonomía en el caso de la sinuosidad de un río. Este fragmento de la taxonomía tiene forma de una jerarquía ordenada, servirá para poder calcular la *similitud semántica* entre los conceptos por medio de una validación.



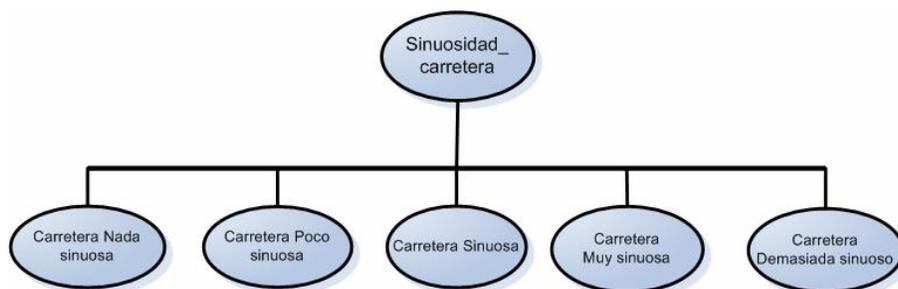
**Figura 4.18.** Fragmento de la taxonomía propuesta; de la sinuosidad de ríos

Es importante mencionar, que la confusión entre sus elementos puede medirse sobre un fragmento de la taxonomía, el cual tiene forma de una jerarquía. En la Figura 4.19 se muestra la confusión de los elementos, la confusión ( $r, s$ ) entre dos elementos es obtenida por  $(r-s)/n$ , en donde  $r$  es el concepto de nuestra conceptualización basada en la encuesta y  $s$  es el concepto obtenido el uso de los intervalos propuestos por Leopold,  $n$  es el número de elementos del fragmento de la taxonomía. Las características que tiene la  $conf(r,s)$ , depende del contexto a analizar y de su estructura.



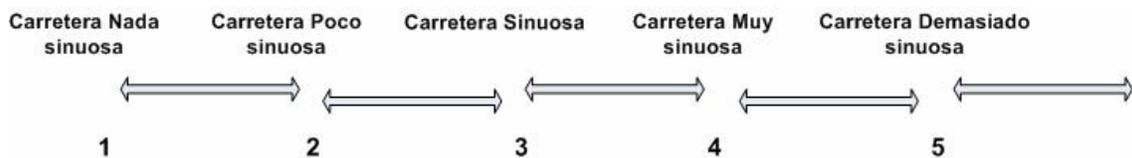
**Figura 4.19.** La confusión entre elementos de la taxonomía de ríos

En la Figura 4.20 se presenta el fragmento de la taxonomía de la sinuosidad de carreteras. Por lo tanto, este fragmento de la taxonomía servirá para poder calcular la *similitud semántica* entre los conceptos.



**Figura 4.20.** Fragmento de la taxonomía propuesta; de la sinuosidad de carreteras

Como se ha mencionado anteriormente, es necesario conocer la confusión entre los elementos de la taxonomía de carreteras. En la Figura 4.21 se muestra la confusión entre los elementos. Dicha confusión es obtenida por  $r-s/n$ . Las características que tiene la  $conf(r,s)$ , depende del contexto a analizar y de su estructura.



**Figura 4.21.** La confusión entre elementos de la taxonomía de carreteras

Los valores son diferentes de acuerdo con el caso de estudio. Por que no es lo mismo conceptualizar la sinuosidad de las curvas de nivel que la sinuosidad de carreteras. Lo cual se comprueba al analizar los resultados de la encuesta. Es importante mencionar que se puede tener una misma medida para dos objetos que pertenecen a diferentes temáticas, por lo tanto deben representarse por diferentes conceptos.

Usando este enfoque, intentamos representar el *contenido semántico*, que contienen los datos espaciales implícitamente. Los cuales son representados de manera que no dependen de la escala, ni de otros factores que comúnmente se utilizan en cartografía. Además, es posible jerarquizar los objetos de acuerdo con sus características geométricas. En el Anexo IV se muestra el formato de la encuesta realizada, enfocada a la clasificación de la sinuosidad en ríos y carreteras, en el Anexo V se muestran los resultados obtenidos en dicha encuesta.

#### 4.3.4.1 Tipos de error

La siguiente fase de la validación consiste en calcular de error *Local* ( $e_L$ ), *Total* ( $e_T$ ) y el *Sistémico* ( $e_S$ ).

El *error local* ( $e_L$ ) representa la confusión que existe entre los conceptos definidos por los intervalos de la encuesta ( $o'$ ) con los conceptos definidos usando la clasificación propuesta por [Leopold 1964]. Y se describe como:

$$e_L = \text{conf}(o, o')$$

El valor obtenido representa la *similitud semántica* entre ambos conceptos, para esto:

- Un objeto *a* es *idéntico* un objeto *b*, si  $e_L = 0$
- Un objeto *a* es *Muy similar* un objeto *b*, si  $0 < e_L \leq 0.2$
- Un objeto *a* es *Similar* un objeto *b*, si  $0.2 < e_L \leq 0.4$
- Un objeto *a* es *Algo similar* un objeto *b*, si  $0.4 < e_L \leq 0.6$
- Un objeto *a* es *Nada similar* un objeto *b*, si  $0.6 < e_L \leq 1$

En el error *acumulado* ( $e_A$ ) nos dará el error acumulado, considerando el total de *errores locales* evaluados y es obtenido por:

$$e_A = \sum_{i=1}^n \text{conf}(r_i, s_i)$$

En el error *sistémico* ( $e_s$ ), describe la similitud que existe entre dos diferentes conceptualizaciones, en este caso, una definida con base en una encuesta aplicada a usuarios de GIS y la segunda, definida por un grupo de expertos hidrólogos. es obtenido por:

$$e_s = \frac{\sum_{i=1}^n \text{conf}(r_i, s_i)}{n}$$

Donde, n, representa el numero de muestras analizadas.

El valor obtenido nos dará el promedio de todas las confusiones obtenidas al comparar conceptos generados a partir de diferentes intervalos de clasificación, considerando las siguientes reglas:

- Si  $e_s$  es *idéntico*, si  $e_s = 0$
- Si  $e_s$  es *Muy similar*, si  $0 < e_s \leq 0.2$
- Si  $e_s$  es *Similar*, si  $0.2 < e_s \leq 0.4$
- Si  $e_s$  es *Algo similar*, si  $0.4 < e_s \leq 0.6$
- Si  $e_s$  es *Nada similar*, si  $0.6 < e_s \leq 1$

## **Síntesis del capítulo**

Se ha presentado la metodología para definir la Conceptualización de Aspectos Geométricos en el Contexto de Datos Geo-Espaciales, la cual procesa la conceptualización de los objetos espaciales por medio de mediciones.

Esta investigación tiene como propósito principal diseñar un Sistema de Información Geográfica (SIG) orientado a representar explícitamente la geometría de datos geo-espaciales. La representación explícita se basa en la conceptualización de las características geométricas. Esto se representa por medio de conceptos asignados a las mediciones obtenidas.

En el caso particular de esta tesis la conceptualización es orientada para generar información ontológica, permitiendo homogeneizar las bases de datos. Lo que se quiere es buscar un formato de la representación de datos que no dependa de la escala, formato, referencias, etc. Según [Genesereth, Nilsson 1987] un cuerpo de conocimiento formalmente representado se basa en una conceptualización: de objetos, conceptos, y otras entidades, que existen en un cierto campo de interés y así como las relaciones que sostienen entre ellas. Una conceptualización es una opinión abstracta y simplificada del mundo que deseamos representar para algún propósito [Gruber 1995]. Las ontologías codifican relaciones semánticas entre los conceptos y por lo tanto facilitan la detección de asociaciones entre los términos relacionados. Como se mencionó anteriormente, en los sistemas de información modernos basados en ontologías, se buscan descripciones canónicas del dominios de conocimiento así como la asociación de las teorías clasificadas [Mark, Egenhofer *et al* 2001].

La validación de la representación conceptual, se realizó comparando los conceptos generados utilizando los valores obtenidos por la encuesta, con los generados a partir de los intervalos propuestos por [Leopold 1964]. La validación se realizó a diferentes niveles, que son local, acumulado y sistémico. Local se refiere a la confusión entre un par de valores. Acumulado se refiere a la suma de todas las confusiones y Sistémico se refiere a la similitud que existe entre todos los valores obtenidos utilizando diferentes intervalos. Es decir, se desarrollaron mediciones enfocadas en medir la similitud a diferentes niveles de detalle.

# CAPÍTULO V

## RESULTADOS

*En este capítulo se presentan los resultados obtenidos por la implantación de la metodología propuesta en el capítulo 4. Como primer punto se presentan los resultados obtenidos por las mediciones en las temáticas de ríos y carreteras. Posteriormente, los resultados de las mediciones geométricas se les asignan un concepto. Cabe mencionar que una conceptualización es más real si se valida, es por eso que se presentan algunos resultados de la encuesta realizada a un grupo de expertos.*

## 5.1. Introducción

El diseño e implementación del sistema tiene como meta mostrar una conceptualización basada en mediciones geométricas, en caso particular de esta tesis las mediciones se realizan en redes hidrológicas y carreteras.

El objetivo principal del sistema es: obtener una representación conceptual de las propiedades geométricas, de los datos geo-espaciales. La conceptualización de las propiedades geométricas es obtenida por medio de una medición de los objetos geo-espaciales. Los valores obtenidos en las mediciones son clasificados para obtener grupos representativos que describirán las propiedades.

## 5.2. Descripción y diseño de las funciones para realizar mediciones en redes hidrológicas

La función siguiente tiene como propósito la realización de la medición de longitud (ver Anexo III). El pseudocódigo de dicha función es el siguiente:

```
AÑADIR ATRIBUTO LONGITUD a la tabla de arcos.AAT
CURSOR DE ARCOS ABIERTO
INICIO DE LA ITERACIÓN A TRAVÉS DE TODOS LOS ARCOS
    x = 1 hasta x = n
    VARIABLE SegmentsLength = 0
    VARIABLE IndivLength = 0
    VARIABLE LongitudIndex = 0
    VARIABLE VerticesInArc = [Muestra el arco Recorrido]
    VARIABLE TotalVertices = [Calcula Total vértices + Vértices en el Arco]
INICIO DE LA ITERACIÓN A TRAVÉS DE TODOS LOS VÉRTICES
    i = 2 hasta i=n
    SegmentsLength = [Calcula longitud total + longitud del arco]
FIN DE LA ITERACIÓN DE VÉRTICES
CÁLCULO DE LONGITUD
    SI LONGITUD >0 ENTONCES
        &sv LongitudIndex = [calcula longitud]
```

ESCRIBE EL VALOR AL CAMPO CREADO Y LO GUARDA

&sv :edit.LONGITUD = %LongitudIndex%

FIN DE LA ITERACIÓN DE ARCOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos, por la medida de longitud en ríos. En la Figura 5.1 se observa la cobertura de ríos que se analizará. Posteriormente será aplicada la función que obtendrá la longitud.

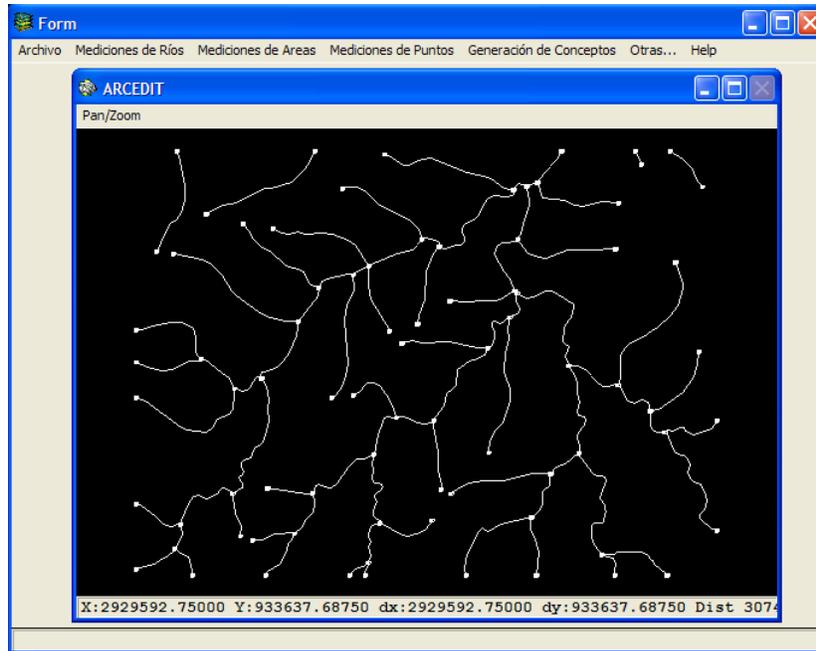
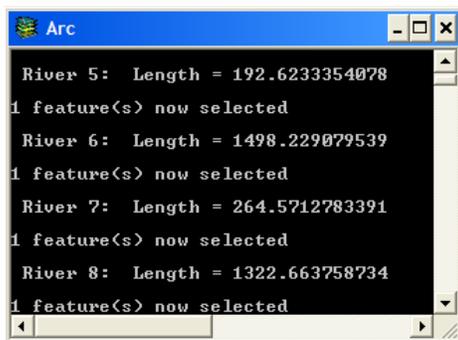
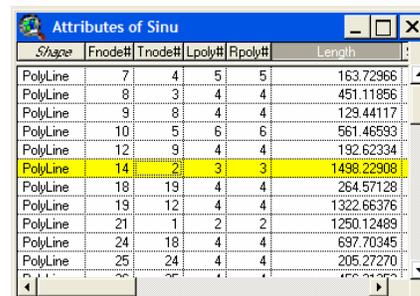


Figura 5.1 Cobertura de ríos a analizar

En la Figura 5.2 (a) se muestra el resultado de la longitud de cada río, cabe mencionar que esta medida es almacenada en la base de datos espacial como se muestra en la Figura 5.2 (b). A partir de esta medida es posible obtener la sinuosidad de una línea.



(a)



S/Age	Fnode#	Tnode#	Lpoly#	Rpoly#	Length
PolyLine	7	4	5	5	163.72966
PolyLine	8	3	4	4	451.11856
PolyLine	9	8	4	4	129.44117
PolyLine	10	5	6	6	561.46593
PolyLine	12	9	4	4	192.62334
PolyLine	14	2	3	3	1498.22908
PolyLine	18	19	4	4	264.57128
PolyLine	19	12	4	4	1322.66376
PolyLine	21	1	2	2	1250.12489
PolyLine	24	18	4	4	697.70345
PolyLine	25	24	4	4	205.27270

(b)

**Figura 5.2** (a) Resultados de la longitud de cada río,(b) Longitud almacenada en la base de datos

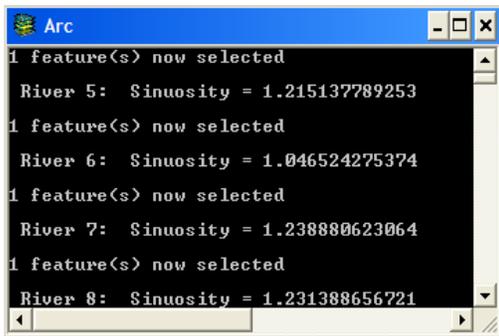
A continuación se muestra la función que tiene como propósito el cálculo de la medida de sinuosidad. El pseudocódigo de dicha función es el siguiente:

```

AÑADIR ATRIBUTO SINUOSIDAD a la tabla de arcos.AAT
CURSOR DE ARCOS ABIERTO
INICIO DE LA ITERACIÓN A TRAVÉS DE TODOS LOS ARCOS
    x = 1 hasta x = n
VARIABLE SegmentsLength = 0
VARIABLE IndivLength = 0
VARIABLE LongitudIndex = 0
VARIABLE VerticesInArc = [Muestra el arco Recorrido]
VARIABLE TotalVertices = [Calcula Total vértices + Vértices en el Arco]
VARIABLE Bends = [Calcula Vertices en elArc - 2]
INICIO DE LA ITERACIÓN A TRAVÉS DE TODOS LOS VÉRTICES
    i = 2 hasta i=n
        SegmentsLength = [Calcula longitud total + longitud del arco]
FIN DE LA ITERACIÓN DE VÉRTICES
CÁLCULO DE LA SINUOSIDAD
    SI SINUOSIDAD >0 ENTONCES
        &sv SinuosityIndex = [Calcula longitud total / distancia euclidiana]
ESCRIBE EL VALOR AL CAMPO CREADO Y LO GUARDA
        El campo de sinuosidad = medida de sinuosidad
        SI Recorre todos los arcos = [Calcula todos los arcos + 1]
    end SI LA DISTANCIA = 0
FIN DE LA ITERACIÓN DE ARCOS

```

En la Figura 5.3 (a) se muestra el resultado de la longitud de cada río, cabe mencionar que esta medida es almacenada en la base de datos espacial como se muestra en la Figura 5.3 (b). A partir de esta medida es posible obtener la sinuosidad de una línea.



Shape	Fnode#	Tnode#	I-altura	Condicion	Sinuosidad
PolyLine	7	4	363	Intermitente	1.004
PolyLine	8	3	240	Perenne	1.007
PolyLine	9	8	240	Perenne	1.007
PolyLine	10	5	406	Intermitente	1.025
PolyLine	12	9	240	Perenne	1.215
PolyLine	21	1	354	Intermitente	1.047
PolyLine	24	18	260	Perenne	1.239
PolyLine	25	24	260	Perenne	1.003

(a)

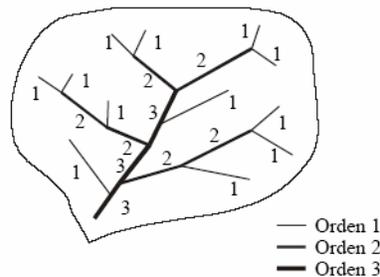
(b)

**Figura 5.3.** (a) Resultados de sinuosidad de cada río, (b) Sinuosidad almacenada en la base de datos

Ahora bien, la sinuosidad puede ser calculada por cada arco o por subsistemas. Para la obtención de la sinuosidad por subsistemas es necesario clasificar los ríos de acuerdo con un orden, a continuación se describe el procedimiento.

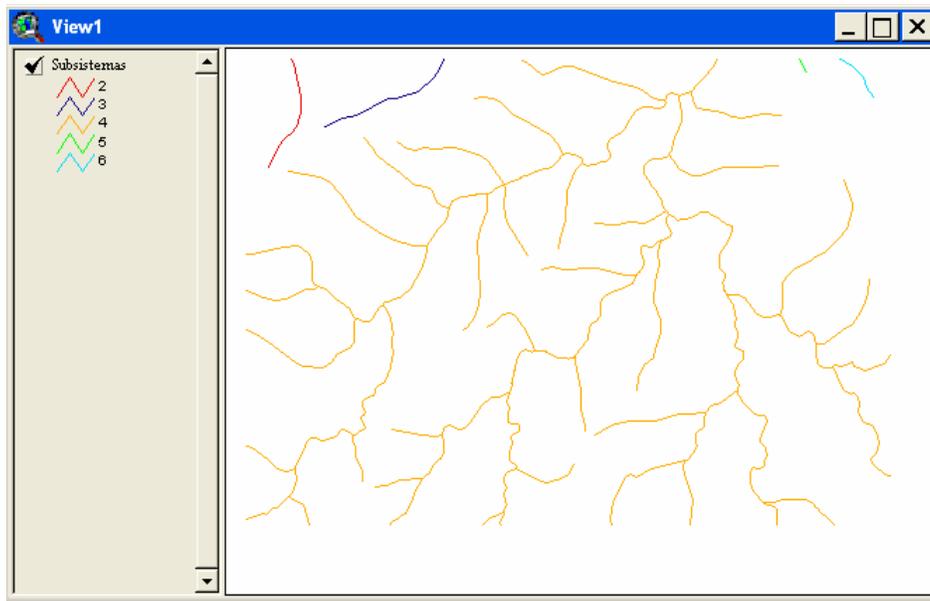
Para realizar una clasificación en todo el río es necesario hacer una agrupación en subsistemas, un subsistema es el grupo de ríos delimitado por un parteaguas, cada una de estas áreas estará denominada por un identificador único, por lo que en un conjunto de ríos tendremos varios subsistemas.

Horton en sus trabajos [Horton 1932] y [Horton 1945] presentó un concepto de la clasificación de ríos que permite el asignar valores enteros a las corrientes en las redes hidrológicas que determinan su respectiva importancia en una jerarquía del tributario más grande y al más pequeño. Una versión mejorada de este concepto fue introducida más adelante por [Strahler 1957]. La red es integrada por un canal principal y una serie de tributario cuyas ramificaciones se extienden de las partes más altas hacia las partes más bajas donde convergen los deslizamientos [Black 1996] [Sanjuame y Villanueva 1996]. En la Figura 5.4 se muestra un grupo de ríos en subsistemas, con una clasificación de las corrientes que aplican el esquema jerárquico de Horton y de Strahler (HS).



**Figura 5.4.** Clasificación de ríos por Horton y Strahler

Una vez que se cuenta con los ríos son clasificados en subsistemas, es posible de calcular las medición en todo el río. En la Figura 5.5 se muestra la clasificación en subsistemas.



**Figura 5.5** Clasificación de ríos en subsistemas

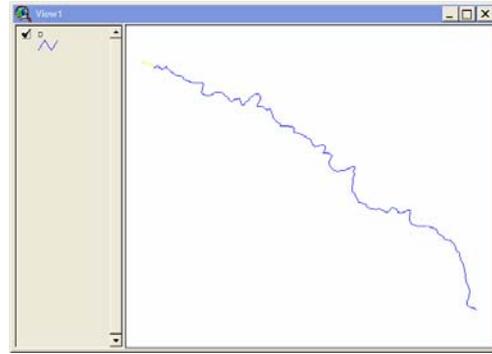
### **5.3. Implantación de la validación**

Para llevar a cabo la validación de la conceptualización, se han tomado 13 imágenes de la encuesta realizada. La validación consta de tres etapas: en la primera etapa se digitalizo el objeto a medir para los casos de ríos y carreteras. Posteriormente se realizó la medición al objeto geo-espacial. La segunda etapa consiste en asignar un concepto de acuerdo con el rango propuesto anteriormente (usando la encuesta). Por ultimo, se generará un concepto considerando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

A continuación se muestran los resultados obtenidos, en la Figura 5.6 (a) se tiene el río 1 de la encuesta aplicada, como podemos observar en la Figura 5.6 (b) se muestra la imagen digitalizada.



(a)



(b)

**Figura 5.6.** (a) Río número 1 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

Posteriormente, se realizaron las mediciones de longitud y sinuosidad del río en la Figura 5.7 (a) se muestra la base de datos espacial con las mediciones obtenidas, en la Figura 5.7 (b) se observa la sinuosidad total del río el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido usando la encuesta; así como el concepto obtenido usando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

S/age	Fnode#	Tnode#	Lpoly#	Rpoly#	DH	D-id	Id	Longitud	Sinuosidad
PolyLine	1	2	-1	-1	1	1	1	34.183	1.130
PolyLine	3	4	-1	-1	2	2	2	20.478	1.232
PolyLine	4	5	-1	-1	3	2	2	0.330	1.000
PolyLine	4	6	-1	-1	4	3	3	78.832	1.181
PolyLine	7	10	-1	-1	5	4	4	55.621	1.444
PolyLine	10	11	-1	-1	6	4	4	0.683	1.000
PolyLine	10	13	-1	-1	7	5	5	60.884	1.088
PolyLine	14	8	-1	-1	8	7	7	35.198	1.006
PolyLine	12	14	-1	-1	9	6	6	51.698	1.359
PolyLine	14	15	-1	-1	10	6	6	0.210	1.000
PolyLine	9	16	-1	-1	11	8	8	51.755	1.626
PolyLine	17	19	-1	-1	12	9	9	64.899	1.114
PolyLine	18	19	-1	-1	13	10	10	0.082	1.000

(a)

*Sinuosidad Total*

**1.18586957**

*Concepto (Encuesta)*

**Río Nada sinuoso**

*Concepto (Leopold)*

**Río Sinuoso**

(b)

**Figura 5.7.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

En la Figura 5.8 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta, los cuales fueron utilizados para definir los intervalos que describen nuestra conceptualización. En el caso del río 1, el 46.66% equivale a 28 personas encuestadas, a lo cual se considera que el río 1 es “Río Sinuoso” y el 5% considera que es “Río Nada sinuoso”. Como se puede observar en la figura anterior, la sinuosidad obtenida es de 1.18586957 lo que define que es “Río Nada sinuoso”, según el rango establecido anteriormente.



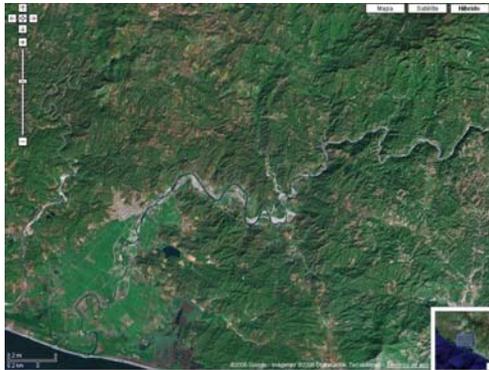
**Figura 5.8.** Gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 1

En la Figura 5.9 se muestra el valor de confusión entre los conceptos obtenidos por un mapeo a las mediciones y el concepto definido obtenido por la encuesta. La confusión es obtenida como se mencionó anteriormente por  $|r-s|/n$ , en donde  $r$  es el concepto que asignado por el sistema y  $s$  es el concepto obtenido por la encuesta,  $n$  es el número de elementos del fragmento de la taxonomía. La  $\text{conf}(r, s) = \text{conf}(\text{Río Nada sinuoso}, \text{Río Sinuoso}) = |1-4|/5 = \mathbf{0.6}$ . La correspondencia local entre estos dos conceptos es *Algo similar*.

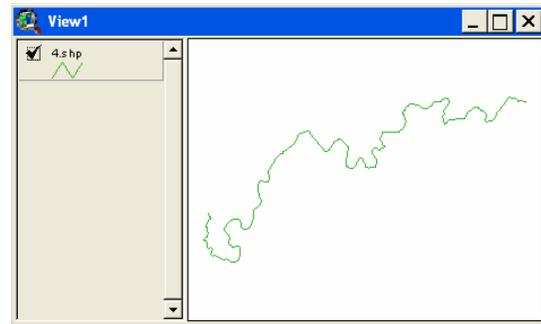


**Figura 5.9.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 1

Continuando con el análisis de las imágenes seleccionadas, en la Figura 5.10 (a) se muestra el río número 4 de la encuesta aplicada, así mismo en la Figura 5.10 (b) se observa la imagen digitalizada del río.



(a)



(b)

**Figura 5.10.** (a) Río número 4 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

A continuación en la Figura 5.11 (a) se muestra la base de datos espacial con las mediciones obtenidas. En la Figura 5.11 (b) se observa la sinuosidad total del río el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido usando la encuesta; así como el concepto obtenido usando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

Shape	Fnode#	Tnode#	Lpoly#	Rpoly#	A#	Avid	Id	Sinuosidad
PolyLine	0	0	0	0	1	1	1	1.408
PolyLine	0	0	0	0	2	2	2	1.932
PolyLine	0	0	0	0	3	3	3	2.763
PolyLine	0	0	0	0	4	4	4	1.414
PolyLine	0	0	0	0	5	5	5	1.580
PolyLine	0	0	0	0	6	6	6	3.531

(a)

*Sinuosidad Total*

**2.10466667**

*Concepto (Encuesta)*

**Río Muy sinuoso**

*Concepto (Leopold)*

**Río Muy sinuoso**

(b)

**Figura 5.11** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

En la Figura 5.12 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En el río 4, el 48.33% equivalente a 29 personas encuestadas, lo cual considera que el un río 4 es “Río Muy sinuoso”, así mismo como se puede observar en la figura anterior que la sinuosidad obtenida es de 2.10466667 lo que define que el río es “Río Muy sinuoso”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.12** Gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 4

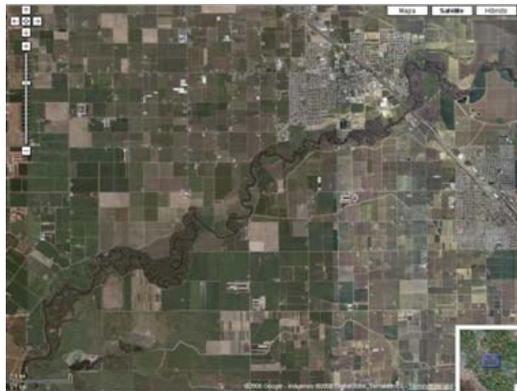
En la Figura 5.13 se muestra el valor de confusión entre los conceptos del río 4. La  $\text{conf}(r,s) = \text{conf}(\text{Río Muy sinuoso}, \text{Río Muy sinuoso}) = |4-4|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Río Muy sinuoso}, \text{Río Sinuoso}) = |4-3|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Muy sinuoso}, \text{Río Poco sinuoso}) = |4-2|/5 = 0.4$ ; los conceptos son *similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Muy sinuoso}, \text{Río Nada sinuoso}) = |4-1|/5 = 0.6$ , los conceptos son *algo similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Muy sinuoso}, \text{Río Demasiado sinuoso}) = |4-5|/5 = 0.2$  los conceptos son *muy similares*.

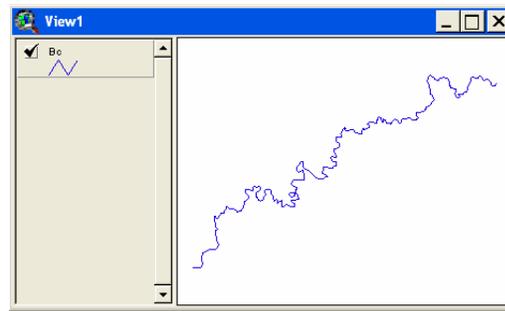


**Figura 5.13.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 4

En la Figura 5.14 (a) se muestra el río 8 de la encuesta aplicada, en la Figura 5.14 (b) se observa la imagen digitalizada.



(a)



(b)

**Figura 5.14.** (a) Río número 8 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

En la Figura 5.15 (a) se muestra la base de datos geo-espacial con las mediciones obtenidas. En la Figura 5.15 (b) se observa la sinuosidad total del río el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido usando la encuesta; así como el concepto obtenido usando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

Leopold	Fipola	Bc#	Bc-id	Id	Sinuosidad	Longitud
0	0	1	1	1	1.644	145.896
0	0	2	2	2	2.233	328.323
0	0	3	3	3	1.579	338.927
0	0	4	4	4	1.891	276.516
0	0	5	5	5	2.869	523.652
0	0	6	6	6	2.589	312.453
0	0	7	7	7	1.517	337.284

(a)

*Sinuosidad Total*

**2.046**

*Concepto (Encuesta)*

**Río Sinuoso**

*Concepto (Leopold)*

**Río Sinuoso**

(b)

**Figura 5.15.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

En la Figura 5.16 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En el río 8, el 41.66% equivale a 25 personas encuestadas, lo cual considera que río 8 es “Río Sinuoso”; así mismo como se puede observar en la figura anterior, la sinuosidad obtenida es de 2.046 lo que define que el río es “Río Sinuoso”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.16.** Gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 8

En la Figura 5.17 se muestra el valor de confusión entre los conceptos del río 8. La  $\text{conf}(r,s) = \text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Sinuoso}) = |3-3|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Muy sinuoso}) = |3-4|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Poco sinuoso}) = |3-2|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Nada sinuoso}) = |3-1|/5 = 0.4$ ; los conceptos son *similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Demasiado sinuoso}) = |3-5|/5 = 0.4$ ; los conceptos son *similares*.

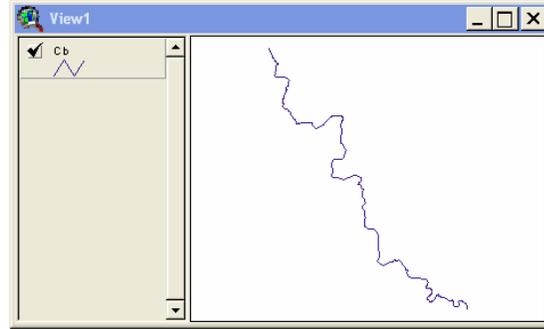


**Figura 5.17.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 8

En la Figura 5.18 (a) se muestra el río 11 de la encuesta aplicada, en la Figura 5.18 (b) se observa la imagen digitalizada.



(a)



(b)

**Figura 5. 18** (a) Río número 11 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

En la Figura 5.19 (a) se observa la base de datos geo-espacial con las mediciones de sinuosidad y longitud obtenidas. En la Figura 5.19 (b) se observa la sinuosidad total del río el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido usando la encuesta; así como el concepto obtenido usando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

<i>Lpola</i>	<i>Fpola</i>	<i>Cb#</i>	<i>Cb-iz</i>	<i>Id</i>	<i>Sinuosidad</i>	<i>Longitud</i>
0	0	1	1	1	1.068	49.034
0	0	2	2	2	1.516	79.917
0	0	3	3	3	1.098	46.457
0	0	4	4	4	1.351	144.925
0	0	5	5	5	1.978	292.857
0	0	6	6	6	1.000	0.862
0	0	7	7	7	1.494	230.018
0	0	8	8	8	1.371	272.396
0	0	9	9	9	1.709	274.209
0	0	10	10	0	1.057	23.839

(a)

*Sinuosidad Total*  
**1.3642**

*Concepto (Encuesta)*  
**Río Poco sinuoso**

*Concepto (Leopold)*  
**Río Poco sinuoso**

(b)

**Figura 5. 19.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

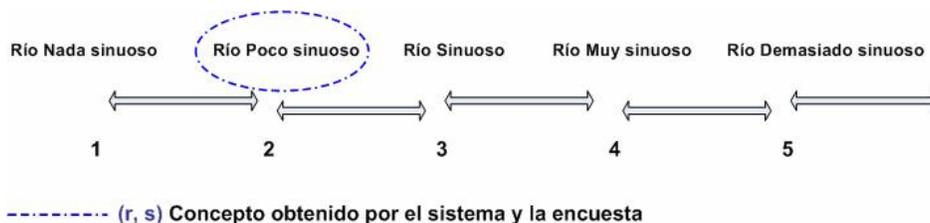
En la Figura 5.20 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En el río 11, el 55% equivale a 33 personas encuestadas, lo cual considera que el río 11 es “Río Poco sinuoso”, así mismo como se puede observar en la figura anterior, la sinuosidad obtenida es de 1.3642 lo que define que el río es “Río Poco sinuoso”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.20.** Gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 11

En la Figura 5.21 siguiente se muestra el valor de confusión entre los conceptos del río 11. La  $\text{conf}(r,s) = \text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Poco sinuoso}) = |2-2|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Nada sinuoso}) = |2-1|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Sinuoso}) = |2-3|/5 = 0.2$  los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Muy sinuoso}) = |2-4|/5 = 0.4$ ; los conceptos son *similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Demasiado sinuoso}) = |2-5|/5 = 0.6$ ; los conceptos son *algo similares*.

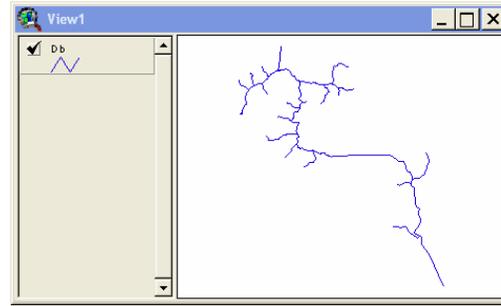


**Figura 5.21.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 11

En la Figura 5.22 (a) se muestra el río 12 de la encuesta aplicada, en la Figura 5.22 (b) se observa la imagen digitalizada.



(a)



(b)

**Figura 5.22** (a) Río número 12 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

En la Figura 5.23 (a) se observa la base de datos geo-espacial con las mediciones de sinuosidad y longitud obtenidas. En la Figura 5.23 (b) se observa la sinuosidad total del río el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido usando la encuesta; así como el concepto obtenido usando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

Localidad	Parcela	Dist#	Dist#	Id	Sinuosidad	Longitud
0	0	1	1	1	1.309	386.784
0	0	2	2	2	1.078	250.097
0	0	3	3	3	1.178	508.406
0	0	4	4	0	1.080	44.273
0	0	5	5	0	1.148	204.165
0	0	6	6	0	1.156	46.112
0	0	7	7	0	1.096	39.401
0	0	8	8	0	1.042	36.361
0	0	9	9	0	1.066	173.697
0	0	10	10	0	1.297	75.451
0	0	11	11	0	1.548	104.188

(a)

*Sinuosidad Total*

**1.162**

*Concepto (Encuesta)*

**Río Nada sinuoso**

*Concepto (Leopold)*

**Río Nada sinuoso**

(b)

**Figura 5.23.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

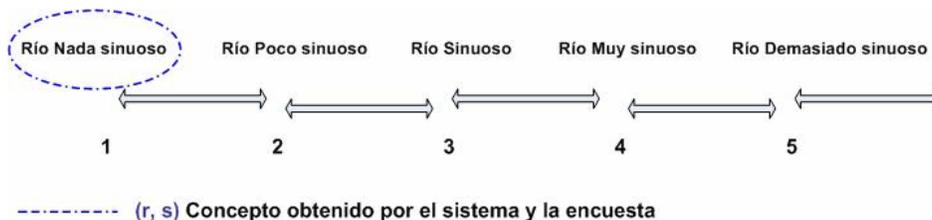
En la Figura 5.24 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En el río 12, el 60% equivale a 36 personas encuestadas, lo que considera que el río 11 es “Río Nada sinuoso”, así mismo como se puede observar en la figura anterior, la sinuosidad obtenida es de 1.162 lo que define que el río es “Río Nada sinuoso”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.24.** Gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 12

En la Figura 5.25 siguiente se muestra el valor de confusión entre los conceptos del río 12. La  $\text{conf}(r, s) = \text{conf}(\text{Río Nada sinuoso}, \text{Río Nada sinuoso}) = |1-1|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Río Nada sinuoso}, \text{Río Poco sinuoso}) = |1-2|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Nada sinuoso}, \text{Río Sinuoso}) = |1-3|/5 = 0.4$ ; los conceptos son *similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Nada sinuoso}, \text{Río Muy sinuoso}) = |1-4|/5 = 0.6$ ; los conceptos son *algo similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Nada sinuoso}, \text{Río Demasiado sinuoso}) = |1-5|/5 = 0.8$ ; los conceptos son *nada similares*.

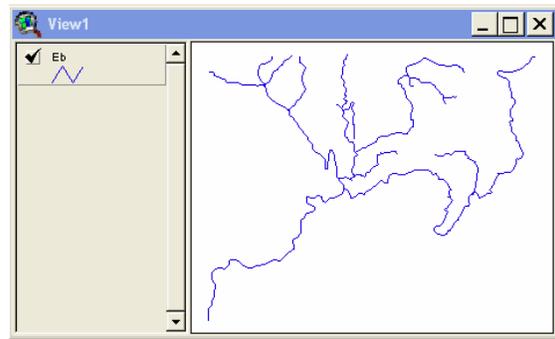


**Figura 5.25.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 12

En la Figura 5.26 (a) se muestra el río 14 de la encuesta aplicada, en la Figura 5.26 (b) se observa la imagen digitalizada.



(a)



(b)

**Figura 5. 26** (a) Río número 14 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

En la Figura 5.27 (a) se observa la base de datos geo-espacial con las mediciones obtenidas (sinuosidad y la longitud). En la Figura 5.27 (b) se observa la sinuosidad total del río el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido usando la encuesta; así como el concepto obtenido usando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

Leopold	Ripold	Eb#	Eb-Id	Id	Sinuosidad	Longitud
0	0	1	1	1	1.224	172.759
0	0	2	2	2	1.503	632.324
0	0	3	3	3	1.518	476.676
0	0	4	4	4	1.468	418.307
0	0	5	5	5	1.179	110.728
0	0	6	6	6	1.733	198.549
0	0	7	7	7	1.708	142.519
0	0	8	8	8	1.353	275.842
0	0	9	9	9	1.399	174.582
0	0	10	10	10	1.069	164.724
0	0	11	11	11	1.050	113.749

(a)

*Sinuosidad Total*

**1.40635**

*Concepto (Encuesta)*

**Río Poco sinuoso**

*Concepto (Leopold)*

**Río Poco sinuoso**

(b)

**Figura 5.27.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

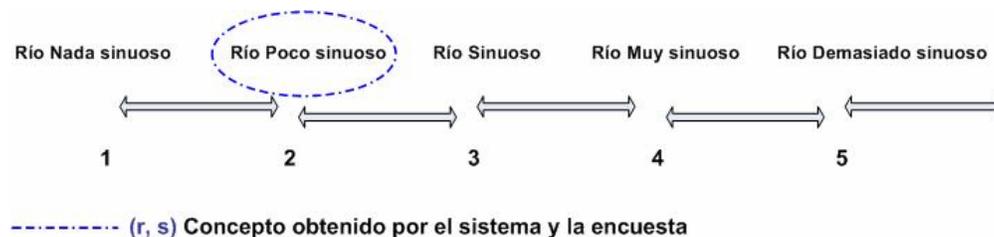
En la Figura 5.28 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En el río 14, el 56.66% equivale a 34 personas encuestadas, lo que considera que el río 14 es “Río Poco sinuoso”, así mismo como se puede observar en la figura anterior, la sinuosidad obtenida es de 1.40635 lo que define que el río es “Río Poco sinuoso”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.28.** Gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 14

En la Figura 5.29 siguiente se muestra el valor de confusión entre los conceptos del río 14. La  $\text{conf}(r, s) = \text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Poco sinuoso}) = |2-2|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Nada sinuoso}) = |2-1|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Sinuoso}) = |2-3|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Muy sinuoso}) = |2-4|/5 = 0.4$ ; los conceptos son *similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Poco sinuoso}, \text{Río Demasiado sinuoso}) = |2-5|/5 = 0.6$ ; los conceptos son *algo similares*.

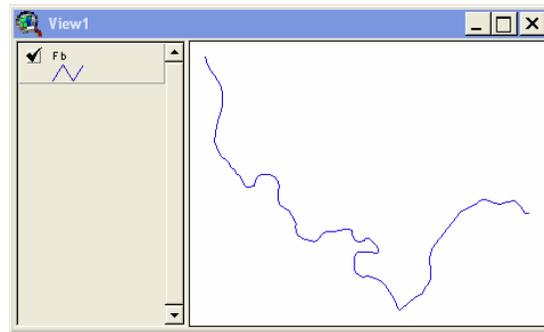


**Figura 5.29.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 14

En la Figura 5.30 (a) se muestra el río 16 de la encuesta aplicada, en la Figura 5.30 (b) se observa la imagen digitalizada.



(a)



(b)

**Figura 5.30** (a) Río número 16 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

En la Figura 5.31 (a) se observa la base de datos geo-espacial con las mediciones obtenidas (sinuosidad y la longitud). En la Figura 5.31 (b) se observa la sinuosidad total del río el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido usando la encuesta; así como el concepto obtenido usando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

<i>Lpola#</i>	<i>Fipola#</i>	<i>Fb#</i>	<i>Fb-iz</i>	<i>Id</i>	<i>Sinuosidad</i>	<i>Longitud</i>
0	0	1	1	1	1.370	888.443
0	0	2	2	0	1.975	886.480

(a)

*Sinuosidad Total*

**1.6725**

*Concepto (Encuesta)*

**Río Sinuoso**

*Concepto (Leopold)*

**Río Sinuoso**

(b)

**Figura 5.31** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

En la Figura 5.32 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En el río, el 61.66% equivale a 37 personas encuestadas, lo que considera que el río 16 es “*Río Sinuoso*”, así mismo como se puede observar en la figura anterior, la sinuosidad obtenida es de 1.6725 lo que define que el río es “*Río Sinuoso*”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.32** Gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 16

En la Figura 5.33 siguiente se muestra el valor de confusión entre los conceptos del río 16. La  $\text{conf}(r, s) = \text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Sinuoso}) = |3-3|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Muy sinuoso}) = |3-4|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Poco sinuoso}) = |3-2|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Nada sinuoso}) = |3-1|/5 = 0.4$ ; los conceptos son *similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Demasiado sinuoso}) = |3-5|/5 = -0.4$ ; los conceptos son *similares*.

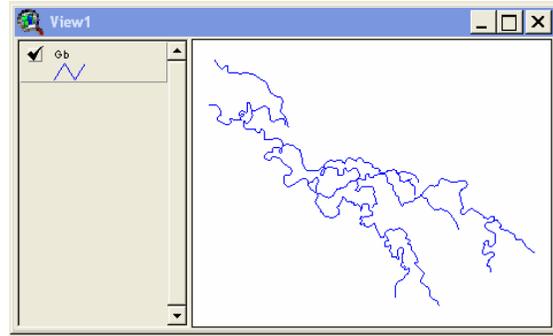


**Figura 5.33.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 16

En la Figura 5.34 (a) se muestra el río 17 de la encuesta aplicada, en la Figura 5.34 (b) se observa la imagen digitalizada.



(a)



(b)

**Figura 5.34.** (a) Río número 17 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

En la Figura 5.35 (a) se observa la base de datos geo-espacial con las mediciones de sinuosidad y longitud obtenidas. En la Figura 5.35 (b) se observa la sinuosidad total del río el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido usando la encuesta; así como el concepto obtenido usando los intervalos propuestos por [Leopold 1964].

Leopold	Riparian	Gbw	Gbwid	id	Sinuosidad	Longitud
0	0	1	1	1	1.887	232.416
0	0	2	2	2	1.851	248.161
0	0	3	3	3	1.143	163.964
0	0	4	4	4	1.444	242.942
0	0	5	5	5	1.111	164.129
0	0	6	6	6	1.344	88.337
0	0	7	7	7	1.320	81.065
0	0	8	8	8	1.632	433.444
0	0	9	9	9	4.245	154.348
0	0	10	10	10	2.218	556.975
0	0	11	11	11	1.420	378.716

(a)

*Sinuosidad Total*

**1.67231579**

*Concepto (Encuesta)*

**Río Sinuoso**

*Concepto (Leopold)*

**Río Sinuoso**

(b)

**Figura 5.35.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

En la Figura 5.36 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En el río, el 51.66% equivale a 31 personas encuestadas, lo que considera que el río 17 es “Río Sinuoso”, así mismo como se puede observar en la figura anterior, la sinuosidad obtenida es de 1.67231579 lo que define que el río es “Río Sinuoso”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.36.** Gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta del río 17

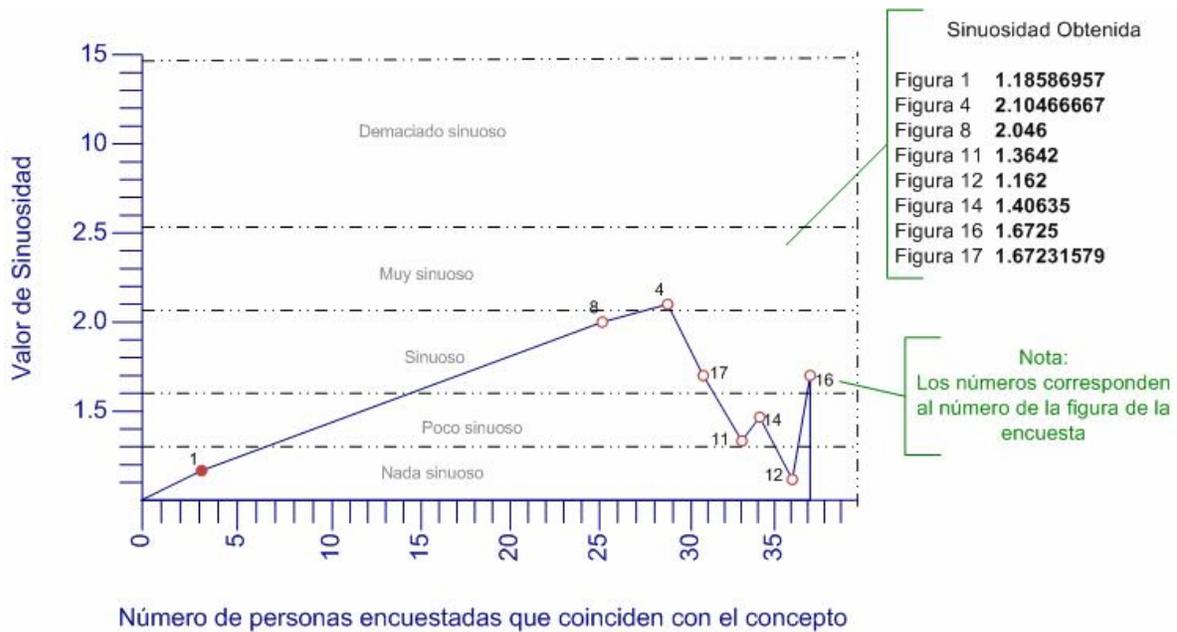
En la Figura 5.37 se muestra el valor de confusión entre los conceptos del río 17. La  $\text{conf}(r,s) = \text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Sinuoso}) = |3-3|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Muy sinuoso}) = |3-4|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Poco sinuoso}) = |3-2|/5 = 0.2$ ; los conceptos son *muy similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Nada sinuoso}) = |3-1|/5 = 0.4$ ; los conceptos son *similares*.
- $\text{conf}(\text{Río Sinuoso}, \text{Río Demasiado sinuoso}) = |3-5|/5 = 0.4$ ; los conceptos son *similares*.



**Figura 5.37.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta del río 17

Finalmente, en la Figura 5.38 se muestra la gráfica final de los conceptos de las imágenes de ríos seleccionados en la encuesta realizada. Como se puede observar es graficado en (y) el valor de sinuosidad, y en (x) el número de personas que coinciden con el concepto asignado. En el caso de la figura 1 (número de la encuesta) solo se asignó el número de personas que coinciden con la sinuosidad calculada y el concepto que es asignado a dicha medición de acuerdo con el rango establecido en esta tesis.



**Figura 5.38.** Graficación final de conceptos de ríos seleccionados

En el error *acumulado* ( $e_A$ ) es obtenido por;

$$e_A = \sum_{i=1}^n \text{conf}(r_i, s_i) = 0.6 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0.6$$

En el error *sistémico* ( $e_S$ ) es obtenido por:

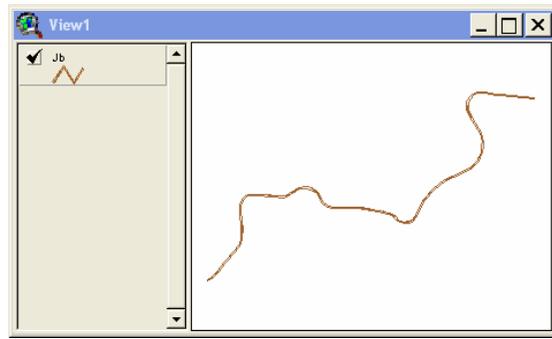
$$e_S = \frac{\sum_{i=1}^n \text{conf}(r_i, s_i)}{n} = \frac{0.6}{8} = 0.075$$

Considerando los intervalos propuestos en la sección 4.3.4.1, tenemos que las conceptualizaciones son *Muy similares*.

A continuación se analizan algunas carreteras seleccionadas de la encuesta realizada. En la Figura 5.39 (a) se muestra la primera carretera seleccionada, y en la Figura 5.39 (b) se tiene la carretera digitalizada.



(a)



(b)

**Figura 5.39.** (a) Carretera número 2 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

Una vez digitalizada la imagen, se calculan las mediciones. En la Figura 5.40 (a) se observa la base de datos geo-espacial con las mediciones de sinuosidad y longitud obtenidas. En la Figura 5.40 (b) se muestra la sinuosidad total de la carretera; así como el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido anteriormente, y el concepto obtenido por la encuesta.

Attributes of Jb						
<i>Lpola</i>	<i>Rpola</i>	<i>Jb#</i>	<i>Jb-id</i>	<i>Id</i>	<i>Sinuosidad</i>	<i>Longitud</i>
0	0	1	1	1	1.366	1342.335
0	0	2	2	0	1.000	101.837

(a)

*Sinuosidad Total*

**1.183**

*Concepto(Experto)*

**Carretera Poco sinuosa**

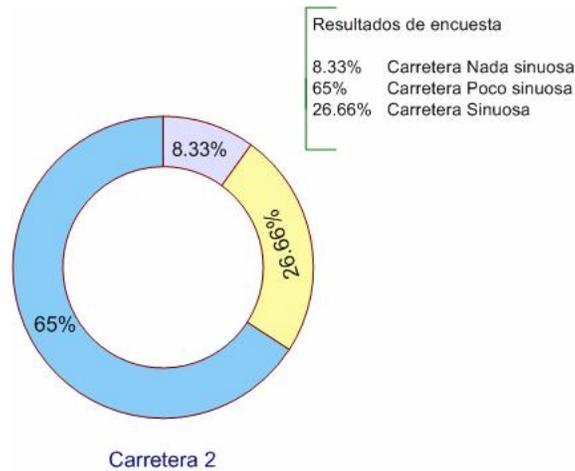
*Concepto (encuesta)*

**Carretera Poco sinuosa**

(b)

**Figura 5.40.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

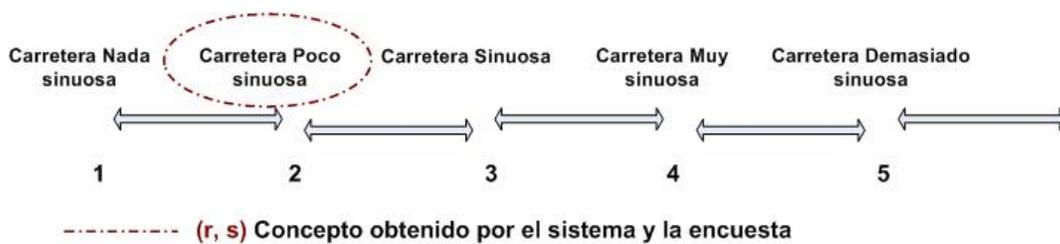
En la Figura 5.41 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En la carretera 2, el 65% equivale a 39 personas encuestadas, lo cual considera que la carretera es “*Carretera Poco sinuosa*”, como se puede observar en la figura anterior, la sinuosidad obtenida es de 1.183 lo que define que la carretera es “*Carretera Poco sinuosa*”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.41.** Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 2

En la Figura 5.42 se muestra el valor de confusión entre los conceptos de la jerarquía de carreteras. La  $\text{conf}(r, s) = \text{conf}(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Poco sinuosa}) = |2-2|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Nada sinuosa}) = (2-1)/5 = 0.2$ ; la correspondencia es *muy similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Sinuosa}) = |2-3|/5 = 0.2$ ; la correspondencia es *muy similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Muy sinuosa}) = |2-4|/5 = 0.4$ ; la correspondencia es *similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Demasiado sinuosa}) = |2-5|/5 = 0.6$ ; la correspondencia es *algo similar*.

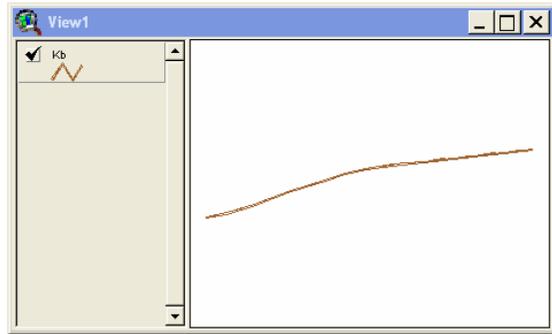


**Figura 5.42.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 2

En la Figura 5.43 (a) se muestra la carretera 3 seleccionada de la encuesta realizada, en la Figura 5.43 (b) se observa la carretera digitalizada.



(a)



(b)

**Figura 5. 43** (a) Carretera número 3 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

Al contar con la imagen digitalizada, la siguiente etapa es calcular las mediciones de sinuosidad y longitud, en la Figura 5.44 (a) se observa la base de datos geo-espacial con las mediciones obtenidas. En la Figura 5.44 (b) se muestra la sinuosidad total de la carretera, el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido, y el concepto obtenido por la encuesta.

Id	Longitud	Sinuosidad	Id	Kb-1	Kb-2	Experto	Encuesta
0	956.095	1.005	0	1	1		

(a)

*Sinuosidad Total*

**1.005**

*Concepto(Experto)*

**Carretera Nada sinuosa**

*Concepto(Encuesta)*

**Carretera Nada sinuosa**

(b)

**Figura 5. 44.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

En la Figura 5.45 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En la carretera, el 81.66% equivale a 41 personas encuestadas, lo cual considera que la carretera es “*Carretera Nada sinuosa*”, como se puede observar en la figura anterior la

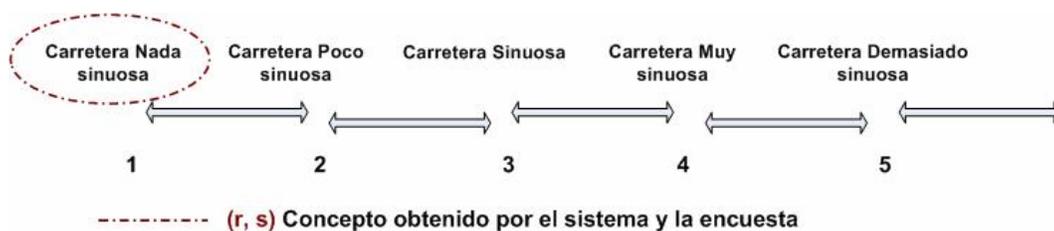
sinuosidad obtenida es de 1.005 lo que define que la carretera es “*Carretera Nada sinuosa*”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5. 45.** Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 3

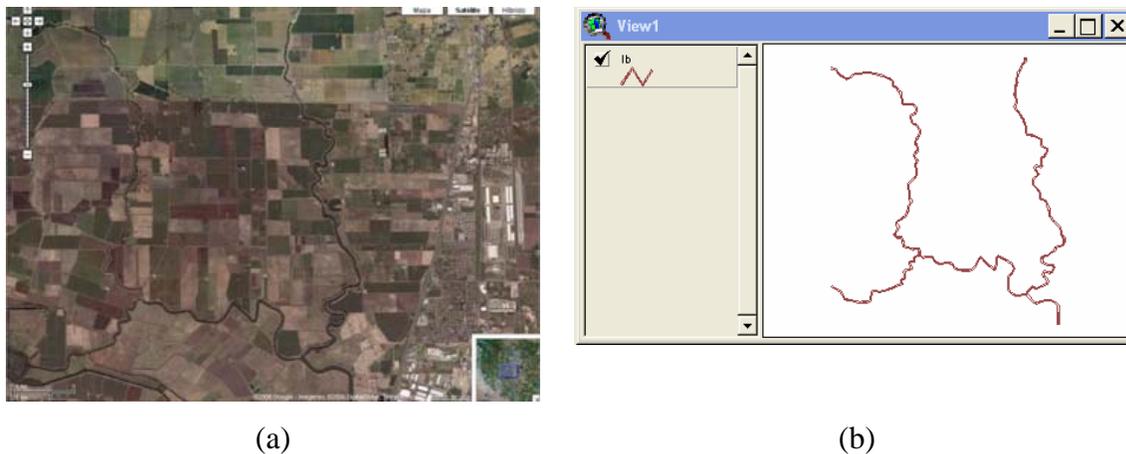
En la Figura 5.46 se muestra el valor de confusión entre los conceptos de la carretera 3. La  $\text{conf}(r, s) = \text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Nada sinuosa}) = |1-1|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Poco sinuosa}) = |1-2|/5 = 0.2$ ; la correspondencia es *muy similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Sinuosa}) = |1-3|/5 = 0.4$ ; la correspondencia es *similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Muy sinuosa}) = |1-4|/5 = 0.6$ ; la correspondencia es *algo similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Demasiado sinuosa}) = |1-5|/5 = 0.8$ ; la correspondencia es *nada similar*.



**Figura 5.46.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 3

En la siguiente Figura 5.47 (a) se muestra la carretera 9 seleccionada de la encuesta realizada, y en la Figura 5.47 (b) se tiene la carretera digitalizada.



**Figura 5.47.** (a) Carretera número 9 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

Una vez que se cuenta con la imagen digitalizada, la siguiente etapa es calcular las mediciones de sinuosidad y longitud, en la Figura 5.48 (a) se muestra la base de datos geo-espacial con las mediciones obtenidas. En la Figura 5.48 (b) se tiene la sinuosidad total de la carretera, el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido, y el concepto obtenido por la encuesta.

Id	Id	Id	Id	Id	Sinuosidad	Longitud
0	0	1	1	1	1.681	184.653
0	0	2	2	2	1.490	423.096
0	0	3	3	3	1.310	320.804
0	0	4	4	4	1.035	93.372
0	0	5	5	5	1.681	587.162
0	0	6	6	6	1.235	206.257
0	0	7	7	7	1.300	362.038
0	0	8	8	0	1.366	429.180

*Sinuosidad Total*

**1.366**

*Concepto(Experto)*

**Carretera Sinuosa**

*Concepto(Encuesta)*

**Carretera Sinuosa**

(a)

(b)

**Figura 5. 48.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

En la Figura 5.49 se observa la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En la carretera 9, el 60% equivalente a 36 personas encuestadas, lo cual considera que la carretera es “Carretera Sinuosa”, como se puede observar en la figura anterior, la

sinuosidad obtenida es de 1.366 lo que define que la carretera es “*Carretera Sinuosa*”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.49.** Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 9

En la Figura 5.50 siguiente se muestra el valor de confusión entre los conceptos de la carretera 9. La  $\text{conf}(r, s) = \text{conf}(\text{Carretera Sinuosa}, \text{Carretera Sinuosa}) = |3-3|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Carretera Sinuosa}, \text{Carretera Muy sinuosa}) = |3-4|/5 = 0.2$ ; la correspondencia es *muy similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Sinuosa}, \text{Carretera Poco sinuosa}) = |3-2|/5 = 0.2$ ; la correspondencia es *muy similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Sinuosa}, \text{Carretera Nada sinuosa}) = |3-1|/5 = 0.4$ ; la correspondencia es *similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Sinuosa}, \text{Carretera Demasiado sinuosa}) = |3-5|/5 = 0.4$ ; la correspondencia es *similar*.



**Figura 5.50.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 9

En la Figura 5.51 (a) se tiene la carretera 15 seleccionada de la encuesta realizada, así como en la Figura 5.51 (b) se muestra la carretera digitalizada.



(a)

(b)

**Figura 5.51.** (a) Carretera número 15 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

Al contar con la imagen digitalizada, es necesario calcular las mediciones de sinuosidad y longitud, en la Figura 5.52 (a) se muestra la base de datos geo-espacial con las mediciones obtenidas. En la Figura 5.52 (b) se tiene la sinuosidad total de la carretera, el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido; así como el concepto obtenido por la encuesta.

Location	Frequency	Area	Length	Sinuosity	Longitude
0	0	1	1	0	1.072
					758.036

(a)

*Sinuosidad Total*

**1.072**

*Concepto(Experto)*

**Carretera Nada sinuosa**

*Concepto(Encuesta)*

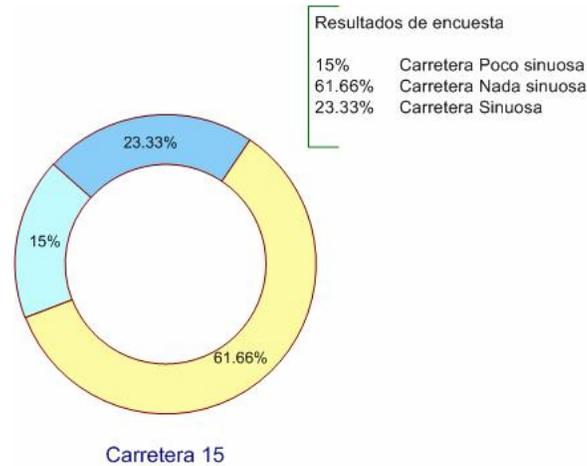
**Carretera Nada sinuosa**

(b)

**Figura 5.52.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

En la Figura 5.53 se observa la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En la carretera, el 61.66% es equivalente a 37 personas encuestadas, lo que considera que la carretera es “*Carretera Nada sinuosa*”, como se puede observar en la figura anterior, la

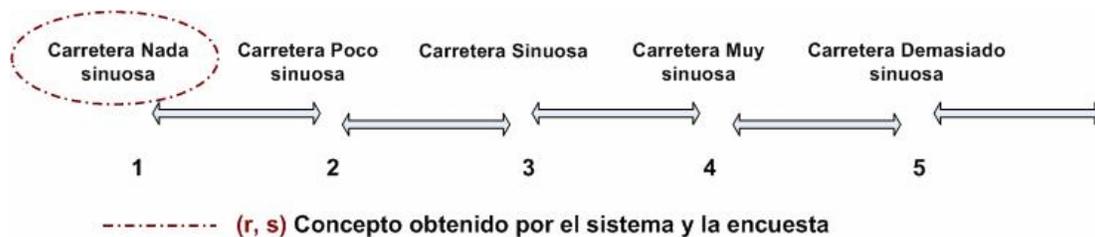
sinuosidad obtenida es de 1.072 lo que define que la carretera es “*Carretera Nada sinuosa*”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5.53.** Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 15

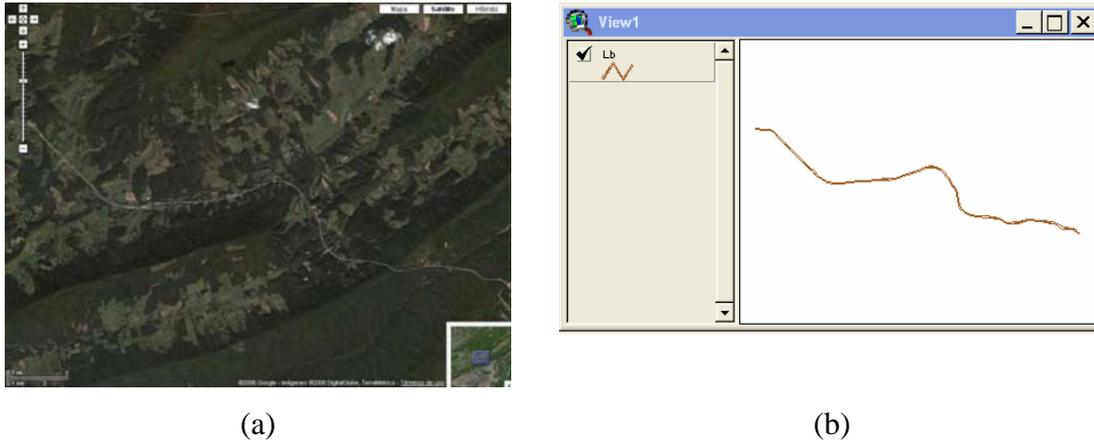
En la Figura 5.54 se muestra el valor de confusión entre los conceptos de la carretera 15. La  $\text{conf}(r,s) = \text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Nada sinuosa}) = |1-1|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $\text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Poco sinuosa}) = |1-2|/5 = 0.2$ ; la correspondencia es *muy similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Sinuosa}) = |1-3|/5 = 0.4$ ; la correspondencia es *similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Muy sinuosa}) = |1-4|/5 = 0.6$ ; la correspondencia es *algo similar*.
- $\text{conf}(\text{Carretera Nada sinuosa}, \text{Carretera Demasiado sinuosa}) = |1-5|/5 = 0.8$ ; la correspondencia es *nada similar*.



**Figura 5.54.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 15

Por último en la Figura 5.55 (a) se observa la carretera 17 seleccionada de la encuesta; así como en la Figura 5.55 (b) se muestra la carretera digitalizada.



**Figura 5.55** (a) Carretera número 17 de la encuesta, (b) Imagen digitalizada

Una vez que se cuenta con la imagen digitalizada, la siguiente etapa es necesario calcular las mediciones de sinuosidad y longitud, en la Figura 5.56 (a) se muestra la base de datos geo-espacial con las mediciones obtenidas. En la Figura 5.56 (b) se tiene la sinuosidad total de la carretera; así como el concepto asignado de acuerdo con el rango establecido, y el concepto obtenido por la encuesta.

Figura	Lb#	Lb-Id	Id	Sinuosidad	Longitud
0	1	1	1	1.119	658.341
0	2	2	0	1.112	429.107

(a)

*Sinuosidad Total*

**1.1155**

*Concepto(Experto)*

**Carretera Poco sinuosa**

*Concepto(Encuesta)*

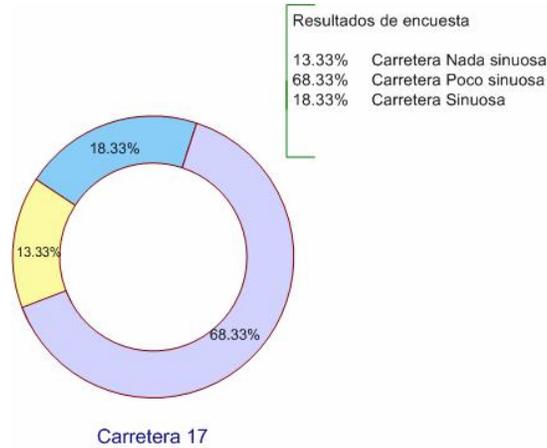
**Carretera Poco sinuosa**

(b)

**Figura 5. 56.** (a) Base de datos geo-espacial, (b) Resultados de la medición & la encuesta

En la Figura 5.57 se observa la gráfica de los resultados obtenidos por la encuesta. En la carretera 17, el 68.33% es equivalente a 41 personas encuestadas, lo que considera que la

carretera es “*Carretera Poco sinuosa*”, como se puede observar en la figura anterior, la sinuosidad obtenida es de 1.1155 lo se define que la carretera es “*Carretera Poco sinuosa*”, en este caso ambos conceptos son los mismos.



**Figura 5. 57.** Resultados obtenidos en la encuesta, carretera 17

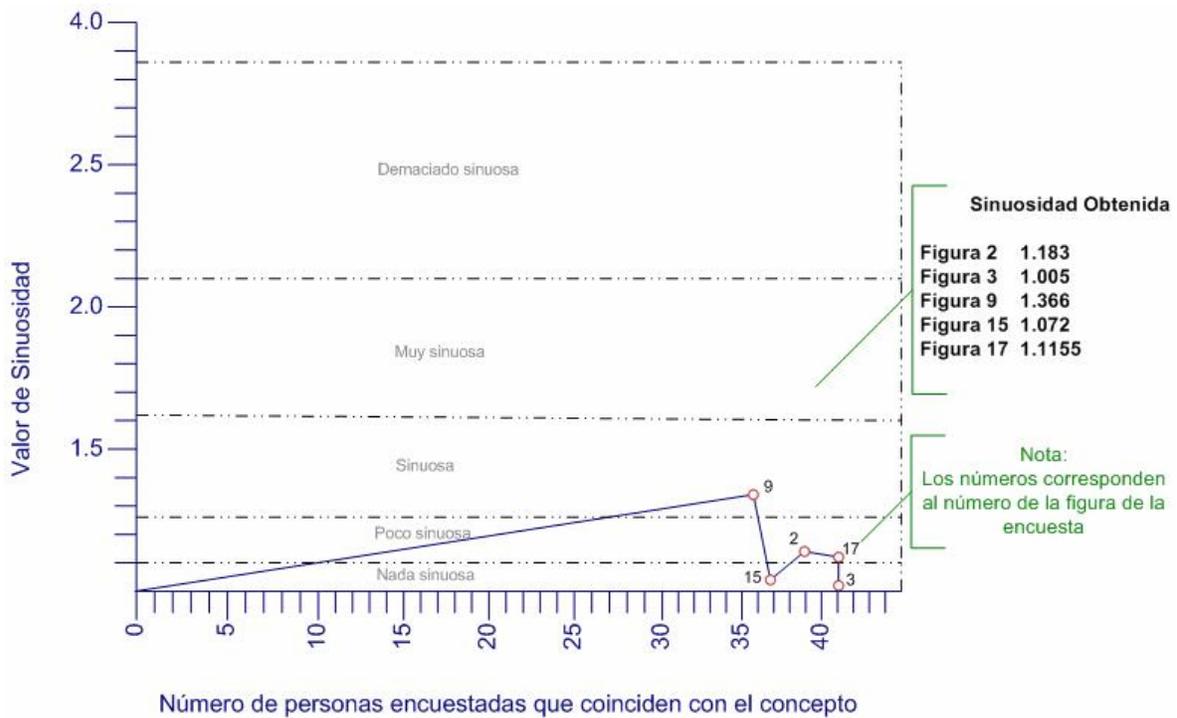
En la Figura 5.58 se muestra el valor de confusión entre los conceptos de la carreteras 17. La  $conf(r,s) = conf(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Poco sinuosa}) = |2-2|/5 = 0$ ; la correspondencia local entre estos dos conceptos es *Idéntica*, por otro lado, la confusión entre los otros elementos es la siguiente:

- $conf(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Nada sinuosa}) = |2-1|/5 = 0.2$ ; la correspondencia es *muy similar*.
- $conf(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Sinuosa}) = |2-3|/5 = 0.2$ ; la correspondencia es *muy similar*.
- $conf(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Muy sinuosa}) = |2-4|/5 = 0.4$ ; la correspondencia es *similar*.
- $conf(\text{Carretera Poco sinuosa}, \text{Carretera Demasiado sinuosa}) = |2-5|/5 = 0.6$ ; la correspondencia es *algo similar*.



**Figura 5.58.** La confusión entre los conceptos del mapeo y la encuesta, carretera 17

Finalmente en la Figura 5.59 se muestra la gráfica final de los conceptos de las imágenes; así como la muestra de carreteras seleccionadas en la encuesta que se realizó. Como se puede observar el resultado graficado en (y) es el valor de sinusidad, y en (x) el número de personas que coinciden con el concepto asignado. En el caso de las carreteras no se encontraron inconsistencias de conceptos.



**Figura 5.59** Graficación final de conceptos de carreteras

En el error *acumulado* ( $e_A$ ) es obtenido por;

$$e_A = \sum_{i=1}^n \text{conf}(r_i, s_i) = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

En el error *sistémico* ( $e_S$ ) es obtenido por:

$$e_S = \frac{\sum_{i=1}^n \text{conf}(r_i, s_i)}{n} = \frac{0}{5} = 0$$

Considerando los intervalos propuestos en la sección 4.3.4.1, tenemos que las conceptualizaciones son *Idénticas*.

## **Síntesis del capítulo**

En este capítulo se han presentado los resultados obtenidos por la metodología propuesta, con el objetivo de realizar una Conceptualización de Aspectos Geométricos en el Contexto de Datos Geo-Espaciales.

Como se puede observar, las mediciones son un valor numérico asignado a una observación, la cual refleja una magnitud, una cantidad o bien una característica. Las medidas de objetos definen la manera en que pueden ser caracterizadas en una forma lógica (por ejemplo, la sinuosidad).

En el caso particular de esta tesis la medida principal es la *sinuosidad*. Para obtener la sinuosidad es necesario contar con la medición de longitud. Al tener la sinuosidad se asignó un concepto por medio de un mapeo entre el valor obtenido por la *medición* y el *concepto* de acuerdo con el rango establecido y al caso de estudio. Esto se debe a que no es el mismo rango de sinuosidad de ríos que el de carretera. Estos conceptos fueron validados por medio de una encuesta a un grupo de expertos, en donde se clasificaron y ordenaron las opiniones de los usuarios sobre este atributo.

Para definir los intervalos de clasificación se obtienen utilizando los valores de la encuesta que presenta una muestra de 13 imágenes y los valores propuestos por [Leopold 1964]. Adicionalmente, se generaron medidas de similitud a nivel local y global. A nivel local, representa la diferencia entre dos conceptos. A nivel global representa la similitud entre dos conceptualizaciones.

Las ontologías nos permiten obtener conceptualizaciones múltiples del mismo fenómeno, así como, realizar un testeo para conocer que tan buena es la correspondencia entre un concepto ontológico y el conocimiento humano del concepto. El formato de representación de datos obtenido, no depende de la escala, referencias, etc. Las ontologías

son muy útiles, ya que añaden un componente semántico (las relaciones entre los diferentes conceptos), que no es considerado en los enfoques de SIG tradicionales.

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

*En este capítulo se presentan las conclusiones, comentarios sobre la metodología desarrollada durante esta tesis, así como los resultados obtenidos. De igual forma, se plantean futuras investigaciones que complementan este trabajo o que utilizan sus algoritmos para resolver otros problemas. Por último se listan las publicaciones, fruto del desarrollo de esta investigación, donde cada una de ellas representa un gran avance y desarrollo de la misma.*

### **6.1 Conclusiones**

La presente tesis tiene como propósito el diseño e implantación de un descriptor capaz de representar explícitamente la geometría de datos espaciales por medio de conceptos relacionados con propiedades tales como la *longitud* y *sinuosidad*. El descriptor tiene como propósito generar una representación conceptual enfocada al procesamiento semántico de datos espaciales.

Las principales actividades realizadas fueron:

- Identificación de propiedades geométricas a medir.
- Diseño e implantación de mediciones en los objetos geo-espaciales.
- Clasificación de valores obtenidos por las mediciones por medio de conceptos.
- Realización y aplicación de una encuesta a un grupo de expertos.
- Validación de conceptos.

### **Aspectos innovadores**

- El desarrollo de una metodología general para definir y describir explícitamente la geometría de objetos espaciales por medio de conceptos.
- La conceptualización basada en las *mediciones* obtenidas.
- La obtención de una representación conceptual de la geometría en la base de datos, reflejando el contenido semántico de los datos geo-espaciales.

### **Alcances y aplicaciones**

- Se desarrolló una investigación profunda en las líneas de estudio referidas a la conceptualización por medio de mediciones, en caso particular se analizó la forma geométrica de *ríos* y *carreteras*.
- Con la metodología propuesta se capturan las propiedades implícitamente representadas en los datos geográficos. Dichas propiedades son representadas cualitativamente, utilizando una representación conceptual.
- La representación conceptual obtenida refleja el contenido semántico de los datos geográficos. Adicionalmente, la representación no depende de la escala, ni

sistema de coordenadas así como de otros factores que tradicionalmente son considerados en cartografía. La representación conceptual origina que una comprensión de datos geo-espaciales. Por tal motivo, se destaca la utilidad de los resultados obtenidos en esta tesis, a un nivel científico.

- La validación de la representación conceptual, se realizó comparando los conceptos generados a partir de la encuesta con los generados a partir de [Leopold 1964]. Para realizar la comparación entre los conceptos, se generaron de error local, acumulado, y sistémico. Los cuales están enfocadas en medir la similitud a diferentes niveles de detalle.

## **6.2 Resultados científicos**

En este trabajo se extrae el contenido semántico de los datos geo-espaciales y se representa explícitamente por medio de conceptos. Los conceptos son definidos en una conceptualización realizada por un usuario experto. Se realizan mediciones a los datos y de acuerdo al resultado de la medición se asigna un concepto. Los conceptos representan el significado de las propiedades geométricas de los objetos geo-espaciales (el significado se obtiene por las relaciones presentadas en la taxonomía). La representación conceptual no depende de la escala, proyecciones cartográficas, unidades de referencia, sistemas de coordenadas, formato entre otros.

Es importante mencionar que los conceptos generados no son ambiguos, porque solamente pueden ser aplicados en un contexto específico (es decir, la forma geométrica). Es diferente la sinuosidad de una carretera con respecto a la sinuosidad de los ríos o la de curvas de nivel.

Se desarrollaron tres mediciones para cuantificar las diferencias entre conceptos a nivel local y global. La medida local representa la similitud entre dos conceptos, por otro lado, la medida global representa la diferencia que existe entre dos conceptualizaciones, la de [Leopold 1964] y la definida a partir de la encuesta.

## 6.3 Trabajo a futuro

Durante el desarrollo de este trabajo, el cual todavía pretende ampliarse mucho más, nos permite comprobar lo que muchos trabajos de investigación han tratado de demostrar: el contenido semántico de los datos geo-espaciales aun no son analizados en su totalidad.

- Esta conceptualización es útil para poder desarrollar ontologías, representen el contexto de un dominio.
- La representación conceptual obtenida por este método puede ser orientada a otros casos más complejos como las relaciones topológicas métricamente refinadas.
- Este enfoque podría ser usado para medir la similitud entre conceptos que pertenecen a dos ontologías distintas.

## 6.4 Publicaciones en congresos

Como resultado de la presente investigación, se obtuvieron las siguientes publicaciones en congresos.

- **K. Verastegui**, (2005) “*Conceptualization of Geometrical Aspects of Geospatial Data*”, First International Conference on GeoSpatial Semantics GeoS 2005, Centro de Investigación en Computación-IPN.
- **K. Verastegui**, M. Martinez, M. Moreno, S. Levachkine & M. Torres, (2006) “*Incorporating Semantics into GIS Applications*” KES2006 10th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems.
- **K. Verastegui**, (2006) “*Spatial Analysis to Generate a Conceptualization of Geometric Properties*” CONGEO 2006 Semantics in Geoinformatics Applications, ISSN: 1870-4069.
- **K. Verastegui**, M. Moreno, (2007) “*Generando una Representación Conceptual de las Propiedades Geométricas de los Datos Geográficos*”. Segundo Congreso Mexicano de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica de la AMICEE.

## REFERENCIAS

---

- [AGI 2002] Association for Geographic Information (2002) [www.agi.org.uk/](http://www.agi.org.uk/)
- [Bader, Barrault *et al* 1999] Bader M., Barrault M., Regnauld N., Mustiere S., Duchene C., Ruas A., Fritsch E., Lecordix F. and Barillot X. (1999) “AGENT Workpackage D2 - Selection of Basic Algorithms”, Technical report, AGENT consortium.
- [Barsalou 1992b] Barsalou, L.W. (1992b) “Frames, concepts, and conceptual fields”. In E. Kittay & A. Lehrer (Eds.), *Frames, fields, and contrasts: New essays in semantic and lexical organization* (21-74). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [Barsalou y Hale 1993] Barsalou, L.W., y Hale, C.R. (1993) “Components of conceptual representation: From feature lists to recursive frames”. In I. Van Mechelen, J. Hampton, R. Michalski, & P. Theuns (Eds.), *Categories and concepts: Theoretical views and inductive data analysis* (97-144). San Diego, CA: Academic Press.
- [Barsalou 1993] Barsalou, L.W. (1993) “Flexibility, structure, and linguistic vagary in concepts: Manifestations of a compositional system of perceptual symbols”. In A.C. Collins, S.E. Gathercole, & M.A. Conway (Eds.), *Theories of memories* (29-101). London: Erlbaum.
- [Barsalou, Wenchi 2003] L. Barsalou, Wenchi Yeh, (1993) “Concepts and Meaning” In: K. Beals e.a., editors, *Chicago Linguistic Society 29: Papers for the Parasession on Conceptual Representations*. Pages 23–61. University of Chicago, Chicago Linguistics Society.
- [Bauzer, Egenhofer *et al* 2005] C. Bauzer, M. Egenhofer, E. Bertino (2005) “Advances in Spatial and Temporal Databases”, 9<sup>th</sup> International Symposium, SSTD 2005, Angra dos Reis, Brazil, August 22-24, 2005, *Proceedings Springer*.
- [Bhin Tjoa *et al.* 2000] Bhin, N. T., Tjoa, A. M, and Wagner, R. (2000) “Conceptual Multidimensional data model based on meta-cube”. In *Lecture Notes in Computer Science* 1909, 24-31. Springer.
- [Black 1996] Black P.E. (1996) *Watershed hydrology*. Michigan, Ann Arbor Press, pp. 449
- [Budak, Amit *et al.* 2004] Budak A., Amit S. & Cartic R. (2004) “Geospatial Ontology Development and Semantic Analytics”, *Handbook of Geographic Information Science*, Eds: J. P. Wilson and A. S. Fotheringham, Blackwell Publishing
- [Carnap 1956] Carnap Rudolf (1956), “*Meaning and Necessity*”, (2<sup>nd</sup> edition). Chicago: University of Chicago Press.

- [Davis 1986] Davis J.C.(1986) “Statistics and Data Analysis in Geology”; 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, USA; 646S
- [Dutton 1999] Dutton G. (1999) “Scale, Sinuosity and Point Selection in Digital Generalization” *Cartography and Geographic Information Systems*, 26:1, 33-53.
- [ESRI 1998] Environmental Systems Research Institute, Inc. (1998) “Geography Matters...ESRI White Paper”. ESRI Educational Services.
- [Freeman 1961] Freeman, H. (1961), “On the encoding of arbitrary geometric configuration”, *IRE Transactions on Electronic Computer*, EC-10, 260-268.
- [Genesereth, Nilsson 1987] Genesereth M. R. and Nilsson, N. (1987) “Logical Foundation of Artificial Intelligence”. Morgan Kaufmann, Los Altos, California
- [Goodchild 1991] Goodchild M F (1991) “The technological setting of GIS”. In: Maguire D J, Goodchild M F, Rhind D W (eds) *Geographical Information Systems: principles and applications*. Longman, London, pp.45-54, Vol 1
- [Gentner 1989] Gentner, D. (1989). “The mechanisms of analogical reasoning”. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (199-241). New York: Cambridge University Press.
- [Gruber 1993] Gruber T. (1993) “Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing”. Technical report, Technical Report KSL93-04, Stanford Univ., Knowledge Systems Lab.
- [Gruber 1995] Gruber T. (1995) “Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing”, *International Journal of Human-Computer Studies* archive, Volume 43 , Issue 5-6 Nov./Dec. 1995 table of contents, Special issue: the role of formal ontology in the information technology, Pages: 907 - 928, Year of Publication, ISSN:1071-5819,
- [Guarino 1998] Guarino N.( 1998) “Formal ontology and information systems”, In *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Formal Ontologies in Information Systems*, IOS Press, Trento, Italy.
- [Harding 2003] Harding J. (2003) “Geo-ontology Concepts and Issues”, Report of a workshop on Geo-ontology, Ilkley UK, September, 16–17.
- [Horton 1932] Horton R.E. (1932) “Drainage basin characteristics”, *American Geophysical Union Transactions*, pp. 350-361
- [Horton 1945] Horton, R.E. (1945) *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. *Geol. Soc. America Bull.*, 56, 275-370

- [IGN 1999] UNI-ZH (1999) “AGENT Workpackage D2 - Selection of Basic Algorithms”, Technical report, AGENT consortium, Dept. of Geography, University of Zürich
- [INEGI 1996] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA (INEGI), (1996) “Diccionario de datos topográficos 1 : 50 000 (Vectorial)”
- [INEGI 1997] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA (INEGI), (1997) “Diccionario de datos topográficos 1 : 1 000 000 (Vectorial)”
- [ISO/IEC 18025, 2005] INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEC 18025:2005  
Information technology  
Environmental Data Coding Specification (EDCS)  
[http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/ISO\\_IEC\\_18025\\_Ed1.html](http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/ISO_IEC_18025_Ed1.html)
- [Jasinski 1990] Jasinski MJ (1990) “The Comparison of Complexity Measures for Cartographic Lines”, NCGIA Technical report 90-1. National Center for Geographic Information & Analysis, Department of Geography, State University of New York at Buffalo, Buffalo, New York 14260
- [Korth 1998] Korth, M. (1998) “Fundamentos de Bases de Datos”. Mc Graw Hill.
- [Laurini y Tompson 1992] Laurini, R., Tompson, D. (1992) “Fundamentals of Spatial Information Systems”, Academic Press, London.
- [Levachkine y Guzmán 2003] Levachkine, S., and Guzmán, A. (2003) “Hierarchies as a new data type for qualitative variables”. Submitted to *Data and Knowledge Engineering*.
- [Levachkine y Guzmán 2004] Levachkine, S., and Guzmán, A. (2004) “Graduated Errors in Approximate Queries using Hierarchies and Ordered Sets”
- [Levachkine y Guzmán 2004] Levachkine, S., and Guzmán, A. (2004) “Hierarchies Measuring Qualitative Variables”
- [Leopold 1964] Leopold D. (1964) “A Classification of Natural Rivers”. *Catena*, 22(3), 169-199.
- [Mark, Egenhofer et al. 2001] Mark D., Egenhofer M., Hirtle S., and Smith B. (2001) “Ontological Foundations for Geographic Information Science”, University Consortium for Geographic Information Science. Emerging Themes in GIScience Research 2000, White Paper. (<http://www.ucgis.org/emerging/>), (2001).
- [Martínez 2006] Martínez M. (2006) “Descriptor Topológico para Mapas Topográficos”. Tesis de Maestría, Laboratorio de Geoprocésamiento, Instituto Politécnico Nacional, CIC.

- [Marr 1982] Marr, D. (1982): Vision; W.H. Freeman and Company, USA; 397 S.
- [McMaster 1986] McMaster R.B. (1986) “A statistical analysis of mathematical measures of linear simplification”. The American Cartographer 13(2):103-116
- [Moreno 2001] Moreno, M. (2001) “La Generalización Automática de la Información Geográfica Multiescala”, Tesis de Maestría, Laboratorio de Geoprocamiento, Instituto Politécnico Nacional, CIC.
- [Mustiere 2002] Mustière S. (2002) “What is spatial context in cartographic generalisation?” Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications.
- [OGC, 2004] Open Geospatial Consortium Inc. (2004).  
[<http://www.opengis.org/specs/?page=abstract>]
- [OGC SQL, 2002] Open Geospatial Consortium Inc. (2002) “OpenGIS Simple Features Specification for SQL”. OpenGIS Implementation Specifications.
- [Papadias y Theodoris 1997] Papadias D. and Theodoris Y. (1997) “Spatial relations, minimum bounding rectangles, and spatial data structures”, International Journal of Geographical Information Science, vol. 11, n.2, pp.111-138.
- [Preparata y Shamos 1985] Preparata, F.P. and Shamos M.I. (1995) “Computational Geometry: An Introduction”, New York: Springer- Velag.
- [Regnauld 1998] Regnauld, N. (1998) “Generalisation du bati: structure spatiale de type graph et representation cartographique” PHd Thesis of Marne la Vallée University
- [Sanjuame y Villanueva 1996] Sanjuame, M.S. y Villanueva, R.J.B. (1996) Teoría y métodos en geografía física, Editorial Síntesis, Madrid, pp 303.
- [Shamos 1975] Shamos, M. I. (1975) “Geometric complexity”, In: Annual ACM Symposium on Theory of Computing, 17., 1975, Albuquerque, EUA. Proceedings... New York: ACM Press, 1975, p. 224-239.
- [Shamos y Hoey 1975] Shamos, M. I. y Hoey, D. (1975) “Closest-point problems”, In: Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 19., oct. 1975, University of California, Berkeley. Proceedings... IEEE, 1975, p. 151-169.
- [Shahriari 2002] Shahriari N. (2002) “Minimising Positional Errors in Line Simplification Using Adaptive Tolerance Values”, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Symposium sur la théorie, les traitements et les applications des données Géospaciales, Ottawa.

- [SICORI 2001] Sistema Corporativo de Información Geográfica de PEMEX (2001) “Los sistemas de información Geográfica GIS en la administración Pública”, [http://handes.inegi.gob.mx/sitio\\_inegi/informatica/espanol/tidap2002/tidap2001/tidap01/GISPemex.html](http://handes.inegi.gob.mx/sitio_inegi/informatica/espanol/tidap2002/tidap2001/tidap01/GISPemex.html)
- [Strahler 1957] Strahler, A.N. (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Am. Geophys. Union Trans.*, 38(6), p. 913-920.
- [Torres 2001] Torres M. (2001),” Herramienta SIG de Escritorio para la Recuperación, Manejo y Análisis de Datos Espaciales”, Tesis de Maestría, Laboratorio de Geoprocesamiento, Instituto Politécnico Nacional, CIC
- [Wang, Müller 1998] Wang, Z. and Müller J.C. (1998) “Line generalization based on high-level characteristics”; *Cartography and GIS*, 25 (1).
- [Wentz 1997] Wentz, E.A. (1997) “Shape Analysis in GIS”, *Proceedings of AUTO-CARTO 13*; 204-213
- [Werner 2005] Werner Kuhn (2005) *Geospatial Semantics: Why, of What, and How?* *J. Data Semantics III*: 1-24
- [Worboys 1996] Worboys M.F. (1996) “Metrics and topologies for geographic spatial”, In *Advances in GIS research II: proc. of 7<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Data Handling*, Kraak and Molenaar (eds), Taylor and Francis, pp.365-375.
- [Worboys , Duckham 2004] Worboys y Duckham, (2004) "GIS A Computing Perspective."

## ANEXO I MEDICIONES GEOMÉTRICAS

La forma describe la representación geométrica de los objetos espaciales individuales de acuerdo con [Wentz 1997]. Una descripción es el resultado de usar una representación que describe una forma en particular [Marr 1982]. En la Tabla A1 se muestra la descripción de algunos algoritmos que describen algunas propiedades geométricas utilizadas en la generalización.

**Tabla A1.** Descripción de algoritmos para la obtención de medidas.

<i>Nombre</i>	<i>Descripción corta</i>	<i>Tipos de datos de entrada</i>	<i>Tipos de datos de salida</i>
<i>Medidas de angularidad</i>	El cambio de porcentajes en la angulosidad puede ser expresado como la suma de los ángulos sobre el punto de partida entre los vectores consecutivos sobre una línea simplificada y dividida por esta suma sobre el punto de partida.	Dos líneas	Número de ángulos
<i>Sinuosidad</i>	Sinuosidad es calculada a cada vértice a lo largo de una polilínea, construyendo una proporción con la distancia $+ / - k$ vértices de la longitud de una línea que conecta el primer y último vértice.	Polilínea	Total de números de curvas
<i>Alargamiento</i>	Es la proporción entre el ancho y la longitud de un rectángulo limitado. Variando entre 0 para una línea y 1 para un cuadrado.	Polígono	Total
<i>Descripción doble ( y repetición de curvas)</i>	La descripción está basada en el tamaño de la curva y su forma.	polilínea	2 números
<i>Altura de una curva</i>	La curva es definida como una parte ininterrumpida de una polilínea frotado aquí entre dos puntos de inflexión. Una curva como la que la altura es entonces calculada la distancia entre la curva y los dos puntos de inflexión segmentan.	polilínea	1 describe la distancia real. 1 valor entre 0 y 1, la relación de valor de orientación de curva.

En la Tabla A2 se muestran las fórmulas adicionales para el cálculo de medidas de excentricidad, alargamiento y compactibilidad.

Tabla A2. Fórmulas adicionales para la obtención de medidas de forma

Nombre	Concepto	Formula	Explicación
<b>Excentricidad</b>	Excentricidad	$e = \frac{(M_{20} - M_{02})^2 + 4M_{11}}{area}$	M define los momentos: $M_{ij} = \sum_{x \text{ in } R} (x_0 - x)^i (y_0 - y)^j$
<b>Alargamiento</b>	Alargamiento	$el = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\max} + M_{\min}}$	M define los momentos (ver Excentricidad)
<b>Spreadness</b>	Spreadness	$spd = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{(Area)^2}$	M define los momentos (ver Excentricidad)
<b>Circularidad</b>	Alargamiento	$c_1 = \sqrt{\frac{lw}{l^2}} \quad c_3 = \frac{4A}{lp} \quad c_5 = \sqrt{\frac{D_i}{D_c}}$ $c_2 = \frac{4A}{p^2} \quad c_4 = \sqrt{\frac{A}{A_c}}$	<b>l</b> : Longitud del eje <b>w</b> : Ancho de objeto perpendicular al eje <b>A</b> : Área de un objeto <b>p</b> : Perímetro del objeto <b>A<sub>c</sub></b> : Área más pequeña adjunta al círculo <b>D<sub>i</sub></b> : Diámetro del círculo grabado más grande <b>D<sub>c</sub></b> : Diámetro más bajo adjunto al círculo
<b>Ellipticity</b>	Alargamiento	$E = \frac{w}{l}$	<b>l</b> : Longitud del eje <b>w</b> : Ancho de objeto perpendicular al eje
<b>Medida de Miller</b>	Compactibilidad	$C = \frac{\text{Area of polygon}}{\text{Area of circle with same perimeter}}$	
<b>Medida de compactibilidad</b>	Compactibilidad	$K_1 = \frac{2\sqrt{\pi A}}{p} \quad K_2 = \frac{p^2}{4\pi A}$	<b>p</b> : Perímetro del objeto <b>A</b> : Área del objeto

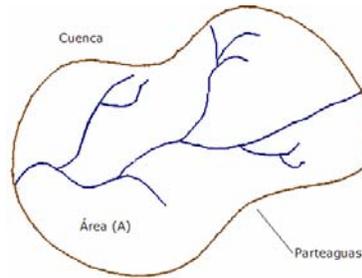
### A.1.1 Determinación del área

La superficie determinada por la línea divisoria corresponde al área aportante de la cuenca y es el área de captación de ella (ver Figura A1). Se debe tener en cuenta la escala, de acuerdo con la cuenca a estudiar de la manera siguiente:

Área de la cuenca en Km <sup>2</sup>	Escala
1	1: 5.000
100	1: 10.000
1.000	1: 25.000
5.000	1:50.000
10.000	1: 100.000
25.000	1: 200.000

De acuerdo también con el área de la región, ésta toma su nombre técnico de la siguiente forma:

Área de la cuenca Km <sup>2</sup>	Nombre
5.0	Unidad
5.0 – 20.0	Sector
20.0 – 100.0	Micro cuenca
100.0 - 300.0	Subcuenca
300	Cuenca



**Figura A1.** Área (km<sup>2</sup>) y delimitación del parteaguas de una cuenca

## A.1.2. Perímetro de la cuenca

Su cuenca corresponde a la longitud del parte aguas.

### A.1.2.1. Forma de la cuenca

#### Índice de compacidad

Cuantificado por el índice de compacidad o de gravelius, relaciona el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de un círculo que tiene la misma área de la cuenca (A). Se representa como K<sub>c</sub> y es igual a:

$$K_c = \frac{\text{Perímetro de la cuenca (A)}}{\text{área de la cuenca}} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Este coeficiente es un número adimensional que varía con la forma de la cuenca, independiente de su tamaño. Cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su magnitud. El índice de compacidad mínimo que puede alcanzar una cuenca es de 1.0, correspondiente a la cuenca de forma circular (ver Figura A2). Con base en la cuantificación del coeficiente de compacidad se tienen 3 clases de formas:

1. Clase K<sub>c</sub> 1: valores entre 1.00 a 1.25, de forma casi redonda u oval redonda.
2. Clase K<sub>c</sub> 2: valores entre 1.25 a 1.50 oval redonda a oval oblonga.
3. Clase K<sub>c</sub> 3: valores entre 1.50 a 1.75 de oval redonda a rectangular oblonga

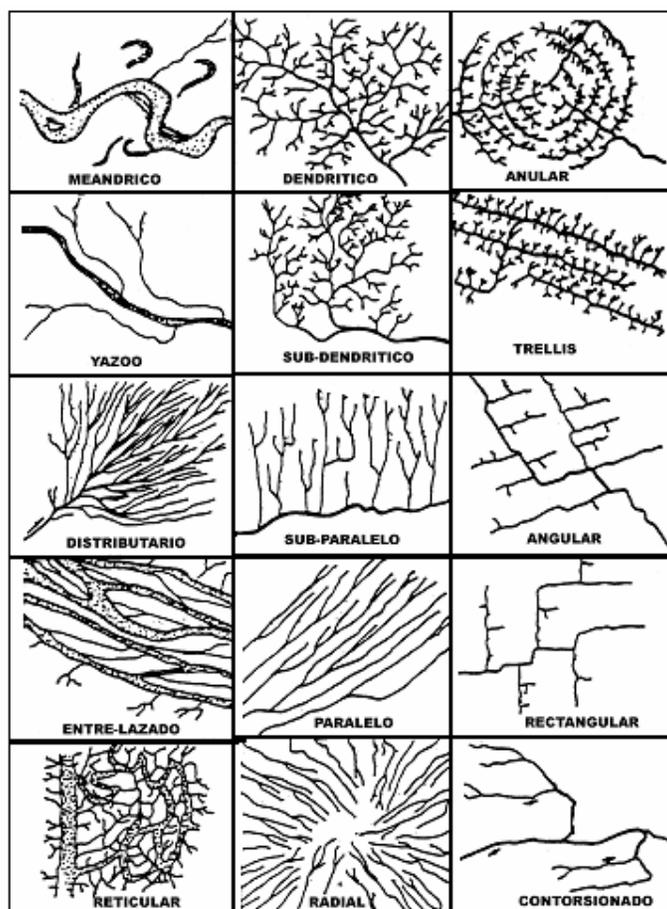


Figura A2. Formas de cuencas

### A.1.2.1.1. Factor de forma

Relaciona el ancho promedio del área drenada con la longitud de la misma. La longitud de la cuenca se determina desde el punto más remoto de la cuenca hasta la salida de ella. El ancho promedio se halla al dividir el área de la cuenca por la longitud.

El factor de forma se expresa como  $K_f$ ,

$$K_f = \frac{\text{Ancho promedio de la cuenca}}{\text{Longitud mayor de la cuenca}}$$

$$K_f = \frac{\text{Área de la cuenca } (A)}{\text{Longitud mayor } (L)^2} = \frac{A}{L^2}$$

### A.1.2.1.2. Índice de alargamiento

Corresponde a la relación de la longitud más grande de la cuenca al ancho mayor medido perpendicularmente.

$$I_a = \frac{\text{Longitud máxima de la cuenca (Km)}}{\text{Ancho máximo de la cuenca (Km)}}$$

**I<sub>a</sub> <** cuenca alargada. (Red drenaje forma un abanico, cauce principal corto).

**I<sub>a</sub> >** cuenca alargada (afluentes del río principal formarán un ángulo pequeño con éste en la confluencia).

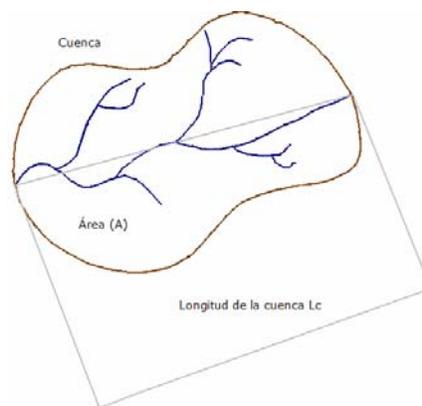


Figura A3. Índice de alargamiento

### A.1.2.1.3. Índice asimétrico

Representa la relación entre la superficie de la vertiente más extensa a la menos extensa de la cuenca.

$$I_s = \frac{\text{Área de la vertiente máxima de la cuenca (Km}^2\text{)}}{\text{Área de la vertiente menor de la cuenca (Km)}}^2$$

**I<sub>s</sub> = o próximo 1:** Homogeneidad en el aporte de una y otra vertiente.

**I<sub>s</sub> > 1:** Indica el mayor aporte de escurrimiento de una vertiente con relación a otra.

### A.1.2.1.4. Pendiente media de la cuenca

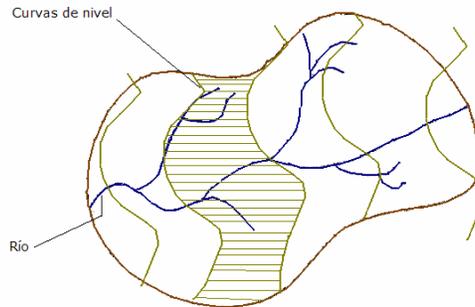
Para determinar la erodabilidad potencial de una cuenca, la respuesta hidrológica al escurrimiento, debe tener una estimación acertada de la pendiente media de ella.

#### A.1.2.1.5. Método de Alvord

La pendiente media de la cuenca por este método se estima:

$$S = \frac{D \times L}{A}$$

Siendo: **S**: pendiente media de la cuenca; **D**: desnivel constante entre curvas de nivel consecutivas (Km); **L**: Longitud total de las curvas de nivel, encerradas por el parte aguas (Km); **A**: Área total de la cuenca (Km<sup>2</sup>) (ver Figura A4).



**Figura A4.** Estimación de la pendiente

#### A.1.2.1.6. Red de drenaje

El estudio del conjunto de corrientes de agua que confluyen al río principal de la cuenca en estudio, es importante para conocer la eficiencia de esa red como sistema de drenaje y como indicativo de la naturaleza y uso del suelo de ella.

Lo anterior puesto que la presencia de una red más o menos densa y ramificada influye directamente en el escurrimiento resultante de la zona, y el tipo del material y cobertura de la superficie del terreno definirá en gran medida el comportamiento de las diferentes corrientes.

#### A.1.2.1.7. Orden de las corrientes

Las corrientes se clasificarán según el grado de bifurcación que tenga a saber:

- Corrientes de orden 1: aquellas que no tienen ningún afluente.
- Corrientes de orden 2: aquellas que se forman por la confluencia de dos corrientes de orden 1.
- Corrientes de orden 3: aquellas que se forman por la unión de dos corrientes de orden 2.

### A.1.2.2. Dirección de flujo del río

Se denomina *línea de flujo* al trayecto que, a partir de un punto inicial, seguiría la escorrentía superficial sobre el terreno. Las líneas de flujo dentro del modelo digital de elevación (MDE) siguen la línea de máxima pendiente y sólo finalizan en los supuestos de desembocar en el mar o llegar al borde del modelo y, optativamente, de alcanzar una concavidad topográfica.

El *sentido del flujo* para cada celda del MDE es una constante, por lo que el resultado de la simulación es estacionario y no varía a partir de una iteración determinada, en función de la longitud de la línea.

Es posible construir un AC sencillo que genere las líneas de flujo a partir de los datos de altitud del MDE. Sus características son las siguientes:

- Estados: se trata de un AC binario donde las celdas pueden tomar sólo dos valores  $\{0, 1\}$

$$a^i = \begin{cases} 0 \Rightarrow a \notin L \\ 1 \Rightarrow a \in L \end{cases}$$

Donde  $L$  es la línea de flujo

- entorno: los 8 vecinos más próximos y la propia celda  $a_{i,j}^0 = 1$
- variables auxiliares:  $z$ , altitud
- reglas de propagación:
  - el inicio es una única celda donde:
  - la propagación se realiza a la celda que cumpla la condición de pendiente máxima negativa desde la celda anterior
- tiempo: el AC funciona hasta que la celda a la que se propaga ya pertenece a la línea de flujo o no existe candidata con pendiente negativa lo que implica una concavidad o una zona plana sin trayectoria definida.

En este caso, puede observarse que la pendiente se define con signo, para diferenciar la pendiente ladera arriba positiva de la de ladera abajo negativa.

El proceso se puede representar de la forma siguiente: se señala una celda origen de la línea de flujo  $a_{i,j}^0 = 1$  (ver Figura A5).

	Estados, $a$			Variable, $v$			Tiempo, $t$
	$j-1$	$j$	$j+1$	$j-1$	$j$	$j+1$	
$i-1$	0	0	0	$z_8$	$z_1$	$z_2$	0
$i$	0	1	0	$z_7$	$z_0$	$z_3$	
$i+1$	0	0	0	$z_6$	$z_5$	$z_4$	

**Figura A5.** Línea de flujo

Definidos los valores de la variable auxiliar para la celda y su entorno, se calculan los valores de las pendientes locales:

$$p_1 = tg^{-1} \frac{z_0 - z_1}{d}; p_2 = tg^{-1} \frac{z_0 - z_2}{\sqrt{2} \cdot d}; \dots p_8 = tg^{-1} \frac{z_0 - z_8}{\sqrt{2} \cdot d}$$

La regla de propagación define la celda que cambiará de estado en función de los valores de la pendiente que, en este caso, tienen signo:

$$a_m^{i+1} \leftarrow 1 \Rightarrow p_m < p_{n \neq m}$$

Suponiendo que  $m=4$ , es decir, que la pendiente máxima ladera abajo señala la diagonal inferior derecha, la transición será (ver Figura A6):

	$t=0$				$t=1$			
	$j-1$	$j$	$j+1$		$j-1$	$j$	$j+1$	
$i-1$	0	0	0	→	0	0	0	
$i$	0	1	0		0	1	0	0
$i+1$	0	0	0		0	0	1	0
					0	0	0	

**Figura A6.** Cuando  $m=4$

El anterior AC genera líneas que crecen sobre la matriz y cuya longitud depende de las iteraciones necesarias para llegar a que se cumpla alguna de las condiciones de finalización. En cada iteración se calcula para cada celda un *sentido de flujo*; es decir, la dirección de máxima pendiente ladera abajo en su entorno inmediato. Una línea de flujo está compuesta, por tanto, por una secuencia ordenada de sentidos de flujo.

Los sentidos de flujo individuales pueden ser codificados mediante los denominados *códigos de Freeman* [Freeman 1961]. En vez de definir una cadena de celdas como las que componen una línea flujo, por ejemplo mediante sus coordenadas, se definen mediante códigos que representan los incrementos de fila y columna.

La regla de propagación del AC mostrado antes, calcula todo lo necesario para generar los códigos de Freeman de las celdas de una línea de flujo pero no lo almacena. Una simple variante puede construir en un único paso los códigos para todas las celdas:

- estados: las celdas pueden tomar 9 valores  $\{0, 1, 2 \dots 8\}$ . El estado 0 significa que la celda no tiene sentido de flujo concavidad o éste se es indefinido zona plana; el estado 1 supone que la celda drena hacia el N, 2 hacia el NE, etc., hasta el 8 que corresponde al NO.
- entorno: los 8 vecinos más próximos y la propia celda.
- variables auxiliares:  $z$ , altitud.
- reglas de propagación.
  - se inicia simultáneamente en todas las celdas, con  $a_{i,j}^0 = 0$
  - la propagación se realiza a la celda que cumpla la condición de pendiente máxima negativa que adopta el estado correspondiente en función de la posición de la celda inicial.
  - se finaliza en un único paso:  $t=1$

El proceso se puede representar de la forma siguiente: se señala una celda origen de la línea de flujo  $a_{i,j}^0 = 1$  (ver Figura A7):

	ESTADOS, $\alpha$			VARIABLE, $v$			TIEMPO, $t$
	$j-1$	$j$	$j+1$	$j-1$	$j$	$j+1$	
$i-1$	0	0	0	$z_8$	$z_1$	$z_2$	
$i$	0	1	0	$z_7$	$z_0$	$z_3$	0
$i+1$	0	0	0	$z_6$	$z_5$	$z_4$	

**Figura A7.** Línea de flujo  $a=1$

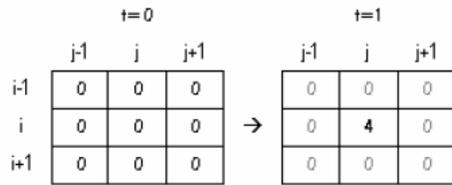
Definidos los valores de la variable auxiliar para la celda y su entorno, se calculan los valores de las pendientes locales:

$$p_1 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{z_0 - z_1}{d}; p_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{z_0 - z_2}{\sqrt{2} \cdot d}; \dots; p_8 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{z_0 - z_8}{\sqrt{2} \cdot d}$$

La regla de propagación define la celda que cambiará de estado en función de los valores de la pendiente:

$$a_m^{i+1} \leftarrow m \Rightarrow p_m < p_{n \neq m}$$

Suponiendo que  $m=4$ , es decir, que la pendiente máxima ladera abajo señala la diagonal inferior derecha, la transición será (ver Figura A8):



**Figura A8.** Diagonal de pendiente

## ANEXO II

### SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA

#### B.2.1. ¿Qué es un SIG?

Existen diferentes definiciones de Sistema de Información Geográfica (SIG), SICORI (Sistema Corporativo de Información Geográfica) lo define como “una disciplina basada en conocimientos, metodologías y procedimientos asistidos por computadora, que permiten la incorporación, almacenamiento, manipulación, procesamiento, consulta y presentación de información referenciada geográficamente en formatos gráficos y no gráficos” [SICORI 2001]. También la AGI (*Association for Geographic Information*) y el Departamento de Geografía de la Universidad de Edimburgo lo definen como “un sistema de ordenadores para obtener, almacenar, integrar, manipular, analizar y representar datos relativos a la superficie terrestre” [AGI 2002].

Una definición más actual, corta y puntual sería: Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema computacional, que consiste de una base de datos que almacena información espacial y descriptiva de un entorno geográfico como parte del Mundo real; además permite la entrada, mantenimiento, análisis, transformación, manipulación y presentación de datos espaciales, de algún punto geográfico en particular [Goodchild 1991] [Torres 2001].

Esta definición engloba los siguientes aspectos:

- El sistema implica un grupo de entidades y actividades conectadas.
- Un sistema de información automatizada organiza una colección de datos, procedimientos computacionales y organizaciones humanas las cuales sirven a un mismo propósito particular.
- Un SIG puede envolver decisiones complejas, como la política para cosecha de árboles o una decisión rutinaria para conceder un permiso o una actividad simple para mantener un inventario.
- Esta definición distingue entre los datos en el sistema y la información que resulta del sistema.

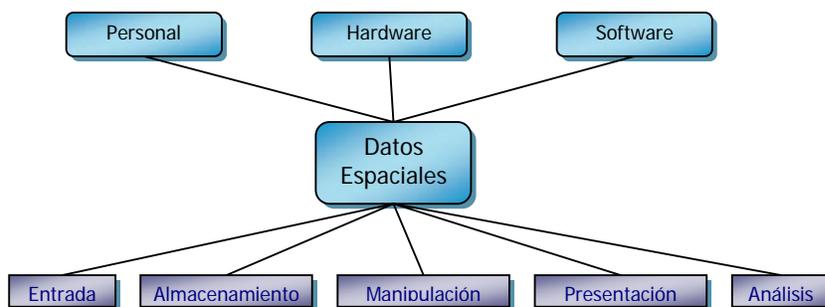
- Los datos proporcionan el material crudo para la información, estos datos no son suficientes, relaciones adicionales deben ser construidas desde este contexto.

En conclusión un SIG puede ser utilizado para *agregar valores a datos espaciales*, permitiendo que los datos estén organizados y visualizados eficientemente, para posteriormente poder realizar una integración de estos con otros datos. *Operaciones de análisis y creación de nuevos datos* pueden realizarse a través del SIG. Estas herramientas generan información utilizable que ayuda a la *toma de decisiones*.

Un SIG puede ser visto como una herramienta, sin embargo, esta no es totalmente neutral, un SIG puede ser diseñado para ser efectivo y eficiente para un cierto rango de propósitos. Estas herramientas son desarrolladas dentro de un contexto social e histórico para servir a las necesidades de cambio y del ambiente mismo.

### B.2.1.1 Componentes de un SIG

En la Figura B.1 se muestra el marco conceptual, un SIG consiste de 4 componentes interrelacionados: datos espaciales, personal, hardware y software. Los SIG están esencialmente diseñados para procesar datos espaciales, estos datos que se consideran “espaciales” deben ser “mapeables”, esto es, que cada pieza de información es adjuntada para un objeto específico sobre una visualización y la localización de cada objeto es geográficamente referenciado.



**Figura B.1.** Marco conceptual de un SIG

Los *datos espaciales* son adquiridos de distintas fuentes, a través de censos, imágenes de satélite, GPS, digitalización vectorial de mapas en papel, etc. Recientes avances tecnológicos en percepción remota y ciencias de la computación proporcionan múltiples accesos para contar con este tipo de información, sin embargo, los datos espaciales

contienen variaciones geográficas, formato de los datos, escalas diferentes y mediciones erróneas. La integración de datos referenciados geográficamente a partir de varias fuentes es una característica fundamental de los SIG.

El *personal* influye en el efectivo uso de un SIG envuelve procedimientos complejos, y estos requieren entrenamiento y experiencia en varios campos relacionados. Por lo tanto un personal bien entrenado es un componente indispensable de un SIG, las principales características que debe reunir el personal son las siguientes:

- Conocimientos básicos de geografía, cartografía y ciencias computacionales.
- Experiencia en el uso de software SIG.
- Profundo conocimiento de los datos, es decir habilidad para el manejo y aplicación de análisis espacial.

El *hardware* es un componente fundamental, ya que se necesita de buena capacidad de almacenamiento y una velocidad adecuada de procesamiento, esto con el objetivo de ser eficiente en los análisis espaciales sobre la información, así como operaciones de recuperación y/o búsqueda, manipulación y transformación de datos espaciales.

El *software* es el procesamiento de datos espaciales requiere de dos componentes o tipos de software interrelacionados: Cartografía automatizada (abstracción, selección, clasificación, simplificación y simbolización) y manejo de bases de datos. Las tecnologías actuales de los SIG envuelven estos dos tipos de componentes en sus soluciones, presentando arquitecturas complejas de desarrollo. Un software SIG debe poder realizar las siguientes tareas: *Entrada/Actualización*, *Conversión de datos*, *Almacenamiento/Organización*, *Manipulación*, *Presentación/Despliegue* y *Análisis Espacial*.

En la *Entrada* los datos en un SIG pueden ser ingresados utilizando sensores como cámaras y GPS, o manualmente. El proceso manual es usado para introducir los datos que no pueden ser fácilmente procesados estos datos deben ser discretizados. El proceso de la discretización reduce la precisión de los valores.

La *Unidad Modelo de Datos*, en el modelo de datos conceptual es un tipo de abstracción de datos para ocultar los detalles de almacenamiento de los datos. Esto usa conceptos lógicos, los cuales pueden hacer más sencillos de obtener para otros usuarios. Soportan la entrada de datos, manipulación y presentación de resultados. Muchos SIG son organizados como una colección de temas, cada tema representa los valores de un atributo único en espacio geográfico.

En la *manipulación de datos*, las capacidades de manipulación de datos son utilizadas para diversas operaciones, incluyendo búsquedas espaciales y sobre posiciones. Las operaciones en los tipos vectoriales primitivos incluyen: operaciones geométricas (por ejemplo Intersecciones y identificación de áreas), operaciones topológicas (conexiones) y operaciones métricas (por ejemplo, distancia entre puntos).

En la *presentación de resultados*, los SIG presentan los resultados visualmente (Cartográficamente) en forma de visualizaciones, que pueden contener imágenes con datos vectoriales sobre ellas, etc. Las visualizaciones algunas veces resaltan semánticamente la información interesante. Esto es llamado generalización cartográfica.

En conclusión todo el software SIG ha sido diseñado para manejar datos espaciales (información geográfica). Los datos espaciales están caracterizados por información acerca de su *posición*, *conexiones* con otros elementos y detalles de sus *características no espaciales*.

## **B.2.2. Bases de Datos Geográficas, Sistemas de Información Geográfica y OGC**

Actualmente, las bases de datos geográficas y en general todas las bases de datos, son una parte importante en cualquier área del quehacer humano, comercial y tecnológico. De ahí que surja la necesidad de modelar y crear nuevas bases de datos que cubran las necesidades actuales. Con tantas tecnologías geográficas que se están desarrollando, surge la necesidad de un estándar, y es aquí donde se sitúa el OGC *Consortium*.

### **B.2.2.1. Bases de Datos Geográficas (BDG's)**

La información y su almacenamiento son considerados un punto clave de cualquier sistema de información. Los datos deben estar actualizados, ser precisos, accesibles y estar disponibles en todo momento a uno o varios usuarios. Para que los datos tengan valor, éstos deben estar presentados en un formato que soporte operaciones, manipulación, recuperación, análisis, modificación y estandarización, entre otras. Para cumplir con estos objetivos, estos datos deben estar almacenados de manera eficiente (para evitar tiempos de acceso muy lentos), y con el mínimo de duplicidad (para evitar inconsistencias, pérdida de exactitud, etc.). Por último, para que la información guardada por una persona u organización sea valiosa, debe asegurarse la integridad de los datos.

Para poder comprender mejor el concepto de Base de Datos Geográfica, es necesario conocer algunos términos, los cuales se enumeran a continuación:

1. *Datos espaciales*: los datos o atributos son la característica geográfica de los objetos descritos (ubicación, dimensión, forma); es decir, los puntos que conforman el perímetro de una población, deben estar almacenados en cierto formato de archivos para que se puedan interpretar las aplicaciones geográficas que se encuentran en el mercado [ESRI 1998].

2. *Datos no espaciales o atributos*: los datos no espaciales o atributos no espaciales son las características cuantitativas y cualitativas asociadas al objeto que se desea describir. Generalmente se almacenan en tablas y se administran por algún manejador de bases de datos. También son llamados datos descriptivos [ESRI 1998].

3. *Capas geográficas*: las capas son las características geográficas del evento o área que se desea modelar y están organizadas en temas para facilitar su uso. Por ejemplo, una visualización puede ser organizada en varios temas o capas, tales como división política, hidrología, caminos, contornos o puntos de control. Dichas capas pueden ser almacenadas de manera separada, pues sus atributos son diferentes. En caso de que se utilicen bases de datos, las capas se almacenan en tablas separadas [ESRI 1998].

4. *Entidad o feature*: en general, una entidad es una cosa (objeto, persona, evento, concepto) distinguible de lo que le rodea, acerca de la cual se requiere información. Para propósitos de la BDG, una entidad es la representación digital del componente descriptivo de un rasgo geográfico. Una entidad está conformada por datos espaciales y no espaciales. Se le asocia un nombre con el fin de distinguirla de otras entidades (ejemplos: carretera, presa, línea de transmisión, eje estructural, área agrícola, etc.). Un conjunto de entidades del mismo tipo conforman una capa [Korth 1998].

5. *Representación geométrica o geometría*: constituye la representación digital del componente espacial de un rasgo geográfico. La BDG sustenta tres tipos diferentes y básicos de representación geométrica: punto, línea y área. Cada entidad puede estar asociada con distintos tipos de representación geométrica. Por ejemplo, una localidad puede estar representada ya sea como un punto, o como un área, dependiendo de sus dimensiones y de la escala [INEGI 1997].

6. *Modelo de datos*: los modelos de datos son un conjunto de herramientas conceptuales para describir datos, sus relaciones, su significado y sus restricciones de consistencia. Los dos tipos de modelados importantes son, los modelos orientados a registros también llamados modelos relacionales y los modelos orientados a objetos [Korth 1998].

### **B.2.2.2. Ventajas y desventajas de una base de datos geográfica**

Cualquier tipo de base de datos tiene ventajas y desventajas, en cuanto a su aplicación. Es importante conocer cuales son éstas para poder hacer un buen uso de ellas, explotando sus beneficios y sobre todo teniendo cuidado con sus desventajas. A continuación se presentan las principales ventajas al utilizar una base de datos geográfica:

- Reducción en la redundancia de los datos.
- Mantenimiento de la calidad y la integridad de los datos.
- Los datos se auto describen o se auto documentan.
- Los datos son consistentes.
- Se reduce el costo del desarrollo del software.
- Se cuenta con restricciones de seguridad.

La principal desventaja al emplear una Base de Datos Geográfica, es el mantenimiento de los datos espaciales y de los componentes geográficos, ya que constantemente se están realizando modificaciones a las vías de comunicación, haciéndose así difícil el analizarlas. Esto hace necesario, estar actualizando los cambios que se vayan presentando en dichas vías, para así poder referirse a ellas para la toma de decisiones. Estas modificaciones se pueden hacer manualmente u obteniendo una cartografía actualizada y montar la aplicación en la base de datos en cuestión.

### B.2.3. Datos espaciales

El método tradicional de representación del espacio geográfico ocupado por los datos espaciales, es a través de una serie de *capas temáticas*. Los modelos computacionales espaciales utilizan esta técnica de representación, tal como se muestra en la Figura B.2.

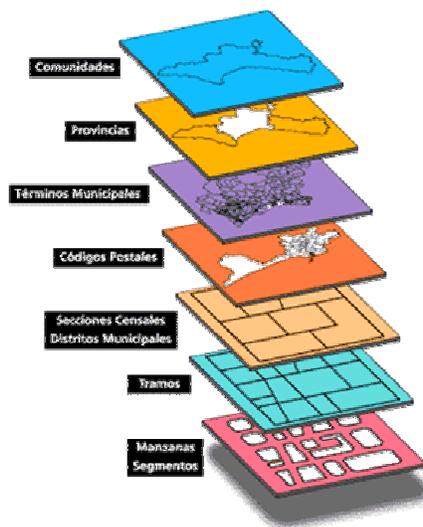


Figura B.2. Capas temáticas

Los datos espaciales son representados como capas u objetos en donde pueden ser simplificados antes de ser almacenados en la computadora, una manera común de hacer esto es “*analizando*” todos los elementos geográficos dentro de 3 tipos de entidades básicas: *puntos*, *líneas* y *áreas*.

**Puntos.** Son elementos que están definidos por una coordenada cartesiana  $(x,y)$  y pueden cartografiar distintos elementos cuya distribución en el espacio no es uniforme, como puede ser la distribución de la población, así como determinados cultivos.

**Líneas o Arcos.** Una línea o arco, está definida por un conjunto ordenado de coordenadas cartesianas  $(x,y)$  que representan un elemento lineal, o como parte del cuerpo de un polígono en la superficie terrestre, tales como fronteras o límites, líneas de división o cambio de la manifestación de los fenómenos entre los que se destacan por su propagación superficial como cambios en el tipo de suelo, formaciones geológicas, áreas con fallas y rupturas tectónicas entre otros.

**Polígonos o Áreas.** Es un área definida por los arcos que conforman el cuerpo del polígono, los cuales pueden incluir en sí mismos elementos como los puntos u otros arcos. Muchos fenómenos de la naturaleza y de la vida social, cuya extensión es amplia, como pantanos, bosques, regiones de cultivo y la mancha urbana, es posible representarlas a través de estos elementos.

### **B.2.3.1. Tipos de datos**

Los datos geográficos pueden ser clasificados de muy diversas formas, por su uso, estructura, origen, geometría, etc. Los SIG almacenan 2 tipos de información la información descriptiva y la información geográficamente referenciada o espacial.

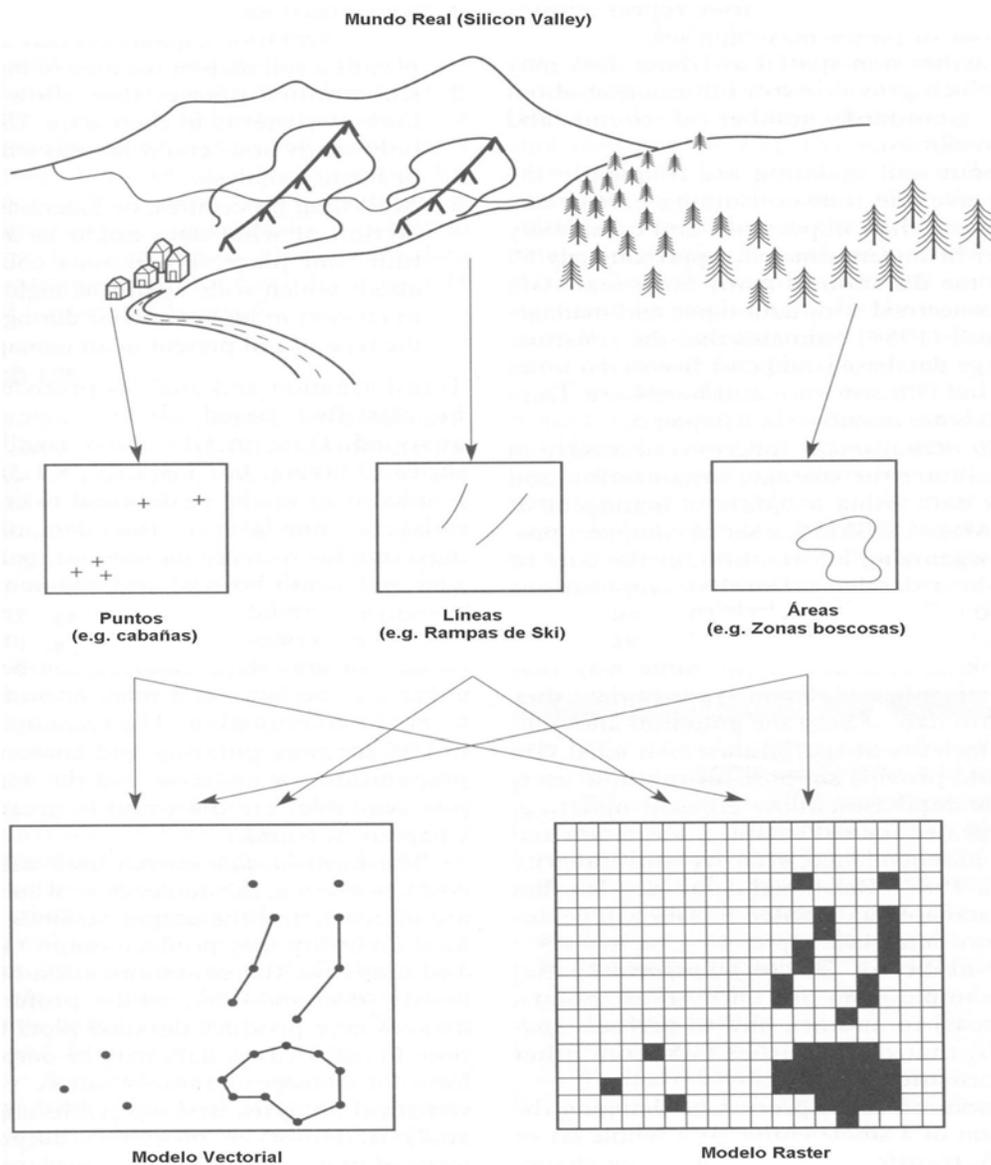
**Información Descriptiva.-** Contiene los atributos o características de los datos espaciales; es decir, contiene la información que contiene las características cualitativas de los elementos geográficos.

**Información espacial.-** Describe la localización y forma de los elementos geográficos y las relaciones espaciales con otros elementos. La información espacial se clasifica en raster y vector.

El modelo *vectorial* se basa en la geometría de la localización (topología). La topología es la rama de las matemáticas, que se encarga del estudio de la posición relativa de los objetos, independientemente de su forma exacta, de su localización topográfica y de su tamaño.

En el modelo *raster*, la información se divide en una retícula regular y la localización de cada celda se hace en términos de columnas y renglones, por medio de un código numérico o alfanumérico; por lo tanto de esta manera un punto corresponde a una celda, una línea es una sucesión de celdas contiguas con una determinada dirección y el polígono es una agrupación de celdas).

Es importante mencionar que estos dos modelos son representaciones obtenidas del mundo real como se muestra en la siguiente Figura B.3.



**Figura B.3.** Modelo vectorial & raster

El análisis espacial de esta tesis se realiza con datos vectoriales, por lo tanto las mediciones se hacen a los tres tipos de datos espaciales (punto, línea y área). Como se mencionó anteriormente, el objetivo es obtener la geometría explícita de acuerdo con su forma. En el caso particular de esta tesis, la obtención de la geometría explícita se realiza en las temáticas de redes hidrológicas y carreteras.

### ANEXO III CÓDIGO FUENTE

```
/*      CALCULO DE LONGITUD EN RIOS
/*-----
/* Nota
/* ARC: &run LONGITUD.AML <in_cov> <out_cov>
/*
/*=====
/*-----
/*  Lectura de argumentos
/*-----
&args incov outcov
&if [null %outcov%] &then
  &return &warning /& USAGE: &r LONGITUD.AML <in_cov> <out_cov> ~
    /& EXAMPLE: &r long.aml rios_x ríos_1 /&

/*-----
/*  Creación la cobertura output
/*-----
COPY %incov% %outcov% /*--- COPIA %incov% %outcov%
ADDITEM %outcov%.AAT %outcov%.AAT Longitud 4 8 F 3 /* Inserta un nuevo campo

EDITCOVERAGE %outcov%
EDITFEATURE ARC
SELECT ALL

&sv TotalArcs = [show number total]
&sv TotalVertices = 0
&sv LoopingArcs = 0

/*-----
/*  Cursor abierto para arcos de proceso
/*-----
CURSOR OPEN
  &do n = 1 &to [value :edit.aml$nsl] /*---- Iteración a través de todos arcos
  &sv CurrentRecord = [show select 1]
  &sv StraightLength = [invdistance [show arc %CurrentRecord% nodes]]

&sv SegmentsLength = 0
&sv IndivLength = 0
&sv LongitudIndex = 0

&sv VerticesInArc = [show arc %CurrentRecord% npnts]
&sv TotalVertices = [calc %TotalVertices% + %VerticesInArc%]
&do i = 2 &to %VerticesInArc% /*---- Iteración a través de todos vértices (excepto el primero)
```

```
&sv Vertex1 = [show arc %CurrentRecord% vertex [calc %i% - 1]]
&sv Vertex2 = [show arc %CurrentRecord% vertex %i%]
&sv IndivLength = [invdistance %Vertex1% %Vertex2%]
&sv SegmentsLength = [calc %SegmentsLength% + %IndivLength% ]
&end /*---- para iteración a través de vértices
/*-----
/*  Calculo de longitud
/*-----
&if %StraightLength% > 0 &then
  &do
    &sv LongitudIndex = [ calc %SegmentsLength% ]
    &sv :edit.Longitud = %LongitudIndex% /*---- escribe el valor campo
creado
    &type /& River [show select 1]: Length = %LongitudIndex% /&
  &end

CURSOR NEXT
&end /*---- Iteración a través de arcos
CURSOR CLOSE

SAVE
QUIT

&return
```

```

/*-----
/*      CALCULO DE SINUOSIDAD DE RIOS
/*-----
/* Este programa calcula la Sinuosidad de Carreteras
/*
/*A----- Arguments -----
/*-----
/* ARC: &run SINUOSIDAD.AML <in_cov> <out_cov>
/*-----
/*
/*G----- Global Variables -----
/*L----- Local Variables -----
/*I----- Input/Output Files, Coverages, etc. -----
/*D----- Detailed Remarks, Assumptions, etc. -----
/*R----- Other AMLs, Menus, or Programs Run from this AML -----
/*
/* La sinuosidad se calcula en sistemas y subsistemas
/*
/*B----- Other AMLs, Menus, or Programs which Run this AML -----
/*O----- Operating System Dependencies -----
/*H----- History -----
/*      Karina Verastegui Barranco ----- Enero - 2007
/*=====
/*
/*-----
/*  Lectura de argumentos
/*-----
&args incov outcov
&if [null %outcov%] &then
  &return &warning /& USAGE: &r SINUOSIDAD.AML <in_cov> <out_cov> ~
  /& EXAMPLE: &r s1.aml cover_x cover_x2 /&
/*
/*-----
/*  Creación la cobertura output
/*-----
COPY %incov% %outcov% /*--- COPIA %incov% %outcov%
ADDITEM %outcov%.AAT %outcov%.AAT Sinuosidad 4 8 F 3 /* Inserta un nuevo campo

&sv TotalArcs = [show number total]
&sv TotalVertices = 0
&sv LoopingArcs = 0

/*-----
/*  Cursor abierto para arcos de proceso
/*-----
CURSOR OPEN
&do n = 1 &to [value :edit.aml$nsel] /*---- Iteración a través de todos arcos
  &sv CurrentRecord = [show select 1]
  &sv StraightLength = [invdistance [show arc %CurrentRecord% nodes]]

&sv SegmentsLength = 0
&sv IndivLength = 0
&sv SinuosityIndex = 0

&sv VerticesInArc = [show arc %CurrentRecord% npnts]
&sv TotalVertices = [calc %TotalVertices% + %VerticesInArc%]
&sv Bends = [calc %VerticesInArc% - 2]
&do i = 2 &to %VerticesInArc% /*---- Iteración a través de todos vértices (except first)
  &sv Vertex1 = [show arc %CurrentRecord% vertex [calc %i% - 1]]

```

```

        &sv Vertex2 = [show arc %CurrentRecord% vertex %i%]
        &sv IndivLength = [invdistance %Vertex1% %Vertex2%]
        &sv SegmentsLength = [calc %SegmentsLength% + %IndivLength% ]
&end /*---- para iteración a través de vértices
/*-----
/*  Calculo de sinuosidad
/*-----
&if %StraightLength% > 0 &then
    &do
        &sv SinuosityIndex = [ calc %SegmentsLength% / %StraightLength% ]
        &sv :edit.sinuosidad = %SinuosityIndex% /*---- escribe el valor campo
creado
        &type /& Carretera [show select 1]: Sinuosidad = %SinuosityIndex%
/&
        &end
    &else
        &do
            &sv :edit.sinuous = -99
            &sv LoopingArcs = [calc %LoopingArcs% + 1]
            &end /*--- if distance = 0
CURSOR NEXT
&end /*---- Iteración a través de arcos
CURSOR CLOSE
    &if %LoopingArcs% > 0 &then
        &do
            &end
SAVE
QUIT

&return
```

```

/*-----
/*      CLASIFICACION DE RIOS SEGUN SU ORDEN
/*-----
/* Este programa calcula orden del un río
/*
/*A----- Arguments -----
/*-----
/* ARC: &run orden.aml
/*
/*-----
/*G----- Global Variables -----
/*L----- Local Variables -----
/*I----- Input/Output Files, Coverages, etc. -----
/*D----- Detailed Remarks, Assumptions, etc. -----
/*R----- Other AMLs, Menus, or Programs Run from this AML -----
/*
/* CLASIFICA SEGUN EL ORDEL DEL RIO
/* orden.aml, ord1.aml, ord2.aml, ord3.aml, ord4.aml
/*
/*
/*B----- Other AMLs, Menus, or Programs which Run this AML -----
/*O----- Operating System Dependencies -----
/*H----- History -----
/*
/* Karina Verastegui Barranco ----- Enero - 2007
/*
/*=====

/* Orden.aml

ec test2

&label beginning

    &sv .num1 = 0
    &sv howmany = 0

ef node

    &sv .num2 [show maximum node#]          /* Selecciona todos los arcos y la figura
&label here                                /* Se seleccionan todos los registros en el bloque
ef arc
&sv .num1 = %.num1% + 1
    &if %.num1% > %.num2% &then &goto test

sel fnode# = %.num1%
&sv .num30 = [show number select]
    &if %.num30% = 0 &then &goto skip          /* No se tienen ordenado,
&sv .num31 = [show select 1]                /* Botom. Selecciona el río a calcular
&sv .num32 = [show arc %.num31% item order] /* El orden.
    &if %.num32% > 0 &then &goto here

&label skip

sel tnode# = %.num1%
&sv .num3 = [show number select]           /* selecciona el número de orden
                                           /* Se llamar los programas

    &if %.num3% = 0 &then &run ord1.aml
    &if %.num3% = 1 &then &run ord2.aml

```

```

&if %.num3% = 2 &then &run ord3.aml
&if %.num3% = 3 &then &run ord4.aml

&goto here

&label test

&sv howmany = %howmany% + 1

sel order = 0                                     /* Verifica si no hay ninguno desordenado
&sv .junk [show number select]
&if %.junk% = 0 &then &stop
&if %.junk% ne 0 &then &goto beginning
&label ender

&stop

=====

/* Ord1.aml
/* Este aml atribuye todos los canales de primer orden

sel fnode# = %.num1%                             /* En este caso, todos los canales son
calc order = 1                                   /* Primer orden.
&return

=====

/* Ord2.aml
/* Este aml atribuye todos los nodos de acuerdo con el atributo de arco río arriba

sel tnode# = %.num1%
&sv .num4 [show select 1]                         /* Revisa el orden del canal
&sv .num5 = [show arc %.num4% item order]

&if %.num5% = 0 &then &return

sel fnode# = %.num1%
calc order = %.num5%                             /* sección igual al valor de la sección río arriba.

&return

=====

/* Ord3.aml
/* Este aml es declarado cuando dos arcos circulan en un nodo

&sv .num6 [show select 1]
&sv .num8 [show arc %.num6% item order]          /* Puso de las variables globales primero
&sv .num7 [show select 2]                       /* Igual a la orden de los torrentes entrantes
&sv .num9 [show arc %.num7% item order]

&if %.num8% = 0 &then &return                    /* si cualquiera de los torrentes es unlabeled,
&if %.num9% = 0 &then &return

&if %.num8% > %.num9% &then &sv .num10 = %.num8% /* si uno de los torrentes entrantes
tiene un valor más alto
&if %.num9% > %.num8% &then &sv .num10 = %.num9% /* usa el valor para el canal río abajo.

```

```

        &if %.num8% = %.num9% &then &sv .num10 = %.num8% + 1      /* si tienen el mismo
valor, usa el valor + 1
sel fnode# = %.num1%
calc order = %.num10%
&return

```

```

=====

```

```

/* Ord4.aml

```

```

&sv .num11 [show select 1]
&sv .num12 [show arc %.num11% item order]          /* Variables globales
&sv .num13 [show select 2]
&sv .num14 [show arc %.num13% item order]
&sv .num15 [show select 3]
&sv .num16 [show arc %.num15% item order]

```

```

        &if %.num12% = 0 &then &return
        &if %.num14% = 0 &then &return
        &if %.num16% = 0 &then &return

```

```

&if %.num12% > %.num14% and %.num12% > %.num16% &then &sv .num17 = %.num12%
/* si todos los valores de los torrentes son entrantes
&if %.num14% > %.num12% and %.num14% > %.num16% &then &sv .num17 = %.num14%
&if %.num16% > %.num14% and %.num16% > %.num12% &then &sv .num17 = %.num16%
/* Determinar si lo son todos diferentes; si
/* Fija el orden (.num17) = el valor más grande

```

```

&if %.num12% = %.num14% and %.num12% = %.num16% &then &sv .num17 = %.num12% + 1

```

```

/* Nuevo orden = orden + 1

```

```

&if %.num12% > %.num14% and %.num14% = %.num16% &then &sv .num17 = %.num12%
/* si 2 es lo mismo, pero 3rd es más alto
&if %.num14% > %.num12% and %.num12% = %.num16% &then &sv .num17 = %.num14%
&if %.num16% > %.num12% and %.num12% = %.num14% &then &sv .num17 = %.num16%

```

```

&if %.num12% < %.num14% and %.num14% = %.num16% &then &sv .num17 = %.num14% + 1
&if %.num14% < %.num12% and %.num12% = %.num16% &then &sv .num17 = %.num12% + 1
&if %.num16% < %.num12% and %.num12% = %.num14% &then &sv .num17 = %.num12% + 1

```

```

sel fnode# = %.num1%
calc order = %.num17%

```

```

&return

```

## ANEXO IV FORMATO DE ENCUESTA

Nombre: \_\_\_\_\_  
 Institución: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_  
 Edad: \_\_\_\_\_ Nacionalidad: \_\_\_\_\_  
 Grado de estudios: \_\_\_\_\_ Ocupación: \_\_\_\_\_  
 e-mail: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Contestar las siguientes preguntas en orden, por favor no te adelantes y no dejes ninguna sin contestar.

**Sinuosidad: Representa que tan curva es una línea.**

1.- Coloca en cada celda la sinuosidad que consideres más adecuada a cada río;

A	nada sinuoso
B	poco sinuoso
C	Sinuoso
D	muy sinuoso
E	demasiado sinuoso

<b>1</b>		<b>17</b>	
<b>2</b>	a)	<b>18</b>	
	b)	<b>19</b>	
<b>3</b>		<b>20</b>	a)
<b>4</b>			b)
<b>5</b>		<b>21</b>	
<b>6</b>		<b>22</b>	
<b>7</b>		<b>23</b>	
<b>8</b>		<b>24</b>	
<b>9</b>		<b>25</b>	
<b>10</b>		<b>26</b>	
<b>11</b>		<b>27</b>	
<b>12</b>		<b>28</b>	
<b>13</b>		<b>29</b>	
<b>14</b>		<b>30</b>	
<b>15</b>		<b>31</b>	
<b>16</b>			

2.- Coloca en cada celda la sinuosidad que consideres más adecuada a cada carretera;

A	nada sinuosa
B	poco sinuosa
C	Sinuosa
D	muy sinuosa
E	demasiado sinuosa

<b>1</b>		<b>11</b>	
<b>2</b>		<b>12</b>	
<b>3</b>		<b>13</b>	
<b>4</b>		<b>14</b>	
<b>5</b>		<b>15</b>	
<b>6</b>		<b>16</b>	
<b>7</b>		<b>17</b>	
<b>8</b>		<b>18</b>	
<b>9</b>		<b>19</b>	
<b>10</b>		<b>20</b>	

3.- Coloca en cada celda la sinuosidad que consideres más adecuada a cada carretera y río;

A	nada sinuosa
B	poco sinuosa
C	Sinuosa
D	muy sinuosa
E	demasiado sinuosa

	<b>Carretera</b>	<b>Río</b>
<b>1</b>		
<b>2</b>		
<b>3</b>		
<b>4</b>		
<b>5</b>		
<b>6</b>		
<b>7</b>		
<b>8</b>		
<b>9</b>		
<b>10</b>		
<b>11</b>		
<b>12</b>		
<b>13</b>		
<b>14</b>		
<b>15</b>		

## ANEXO V

### RESUSTALDOS OBTENIDOS POR LA ENCUESTA

1.- Sinuosidad de ríos;

<i>Figura</i>	<i>Nada sinuoso</i>	<i>Poco sinuoso</i>	<i>Sinuoso</i>	<i>Muy sinuoso</i>	<i>Demasiado sinuoso</i>
<b>1</b>	3	12	28	16	1
<b>2 a)</b>	4	46	9	1	
<b>b)</b>	3	9	34	12	
<b>3</b>	16	39	4	1	
<b>4</b>	4	10	14	29	3
<b>5</b>	3	11	32	7	6
<b>6</b>	5	23	29	2	1
<b>7</b>	1	5	12	14	11
<b>8</b>			25	19	16
<b>9</b>		7	10	31	12
<b>10</b>		23	32	4	1
<b>11</b>		33	16	9	2
<b>12</b>	36	19	4		1
<b>13</b>	19	34	6	1	
<b>14</b>	11	34	14	1	
<b>15</b>	5	34	19	2	
<b>16</b>	2	18	37	3	
<b>17</b>	1	12	31	5	11
<b>18</b>	21	33	4	1	1
<b>19</b>		23	23	9	5
<b>20 a)</b>	58	2			
<b>b)</b>	23	37			
<b>21</b>	5	32	21	2	
<b>22</b>	58	3			
<b>23</b>	2	26	31	1	
<b>24</b>	53	7			
<b>25</b>	51	9			
<b>26</b>	40	1			
<b>27</b>	46	14			
<b>28</b>	13	47		2	
<b>29</b>	1	3	19	26	11
<b>30</b>	4	28	14	5	
<b>31</b>		3	5	26	26

2.- Sinuosidad de carreteras;

<i>Figura</i>	<i>Nada sinuosa</i>	<i>Poco sinuosa</i>	<i>Sinuosa</i>	<i>Muy sinuosa</i>	<i>Demasiado sinuosa</i>
<b>1</b>	6	30	23	1	
<b>2</b>	5	39	16		
<b>3</b>	49	11		1	
<b>4</b>	1	21	33	5	
<b>5</b>	1	37	20	2	
<b>6</b>	3	39	17	1	
<b>7</b>	5	9	33	10	3
<b>8</b>	3	8	34	14	1
<b>9</b>		1	36	17	6
<b>10</b>	2	32	5	20	1

<b>11</b>	8	24	8	1	
<b>12</b>		3	28	25	3
<b>13</b>		8	15	30	7
<b>14</b>		1	26	25	8
<b>15</b>	9	37	14		
<b>16</b>	16	42	2		
<b>17</b>	8	41	11		
<b>18</b>		4	9	13	34
<b>19</b>		3	22	28	7
<b>20</b>	1	2	5	28	24

3.- Sinuosidad de carreteras y ríos;

a) Sinuosidad de carreteras

<i>Figura</i>	<i>Nada sinuosa</i>	<i>Poco sinuosa</i>	<i>Sinuosa</i>	<i>Muy sinuosa</i>	<i>Demasiado sinuosa</i>
<b>1</b>	54	6			
<b>2</b>		27	31	2	
<b>3</b>		4	31	25	
<b>4</b>	7	39	9	5	
<b>5</b>	2	7	37	14	
<b>6</b>	19	36	5		
<b>7</b>	32	28			
<b>8</b>	9	45	6		
<b>9</b>	54	4	2		
<b>10</b>		3	10	22	25
<b>11</b>	1	4	28	25	2
<b>12</b>	1	7	28	20	4
<b>13</b>	1	29	26	4	
<b>14</b>	1	5	25	23	6
<b>15</b>	27	31	2		

b) Sinuosidad de ríos

<i>Figura</i>	<i>Nada sinuoso</i>	<i>Poco sinuoso</i>	<i>Sinuoso</i>	<i>Muy sinuoso</i>	<i>Demasiado sinuoso</i>
<b>1</b>	4	40	16		
<b>2</b>	2	14	36	8	
<b>3</b>	2	3	30	21	4
<b>4</b>	9	48	3		
<b>5</b>	4	9	35	12	
<b>6</b>	3	10	26	21	
<b>7</b>	1	6	31	20	1
<b>8</b>	1	7	30	19	3
<b>9</b>	21	14	14	4	7
<b>10</b>		2	7	21	30
<b>11</b>	1	5	28	24	2
<b>12</b>		7	27	20	6
<b>13</b>	2	1	30	24	3
<b>14</b>	2	4	24	24	6
<b>15</b>	3	14	30	12	1

## **ANEXO VI**

### **PERFIL DE LOS EXPERTOS ENCUESTADOS**

Se estableció una muestra de 60 encuestados, de los cuales 24 geógrafos y topógrafos, 20 expertos en SIG y 16 usuarios que usan un SIG. De los geógrafos y topógrafos encuestados algunos pertenecen al área de investigación de la Facultad de Geografía de la UNAM y otros a la empresa Michel Baker de México. Los expertos en SIG pertenecen al Laboratorio PIIG del Centro de Investigación en Computación del IPN.

En el caso de los expertos como son: los geógrafos, topógrafos, tienen conocimiento teórico-práctico muy amplio sobre una línea de investigación específica dentro de la Geografía. En todos los casos, trabajan con datos geo-espaciales, realizando labores de análisis, planificación y gestión territorial. Así como, la gestión urbanística, la optimización territorial de las actividades empresariales, la defensa y gestión del medio natural y sus recursos, el desarrollo local, el turismo, la cartografía, los Sistemas de Información Geográfica, los servicios municipales, o la propia docencia e investigación entre otros.

Los usuarios que usan un GIS, trabajan diariamente con datos geo-espaciales, lo cual les permiten hacer comparaciones de algunas propiedades cualitativas de los objetos geo-espaciales.

En caso de los expertos en SIG, tienen un dominio teórico-metodológico y técnico muy amplio, que les permite hacer análisis geo-espaciales.