

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE GEOGRAFÍA



Propuesta Teórico – Metodológica para la integración de la variable Alométrica en la caracterización y diagnóstico ambiental de las subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya

TRABAJO TERMINAL

Que para obtener el grado de
Maestra en Análisis Espacial y Geoinformática:

Presenta:

Rosa Estela Hernández Valdés

Tutor Académico:

Dr. en G. Fernando Carreto Bernal

Tutores Adjuntos:

Dr. en E. Miguel Ángel Balderas Plata
Mtro. en G. Julio César Carbajal Monroy

Toluca, México

Diciembre 2012



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM



ORDEN DE IMPRESIÓN DEL TRABAJO TERMINAL DE GRADO

Una vez que la **C. ROSA ESTELA HERNÁNDEZ VALDÉS**, egresada de la Cuarta Promoción (2010-2012) de la **Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática** con número de cuenta **0424777**, ha concluido su Trabajo Terminal de Grado titulado **"PROPUESTA TEÓRICO-METODOLÓGICA PARA LA INTEGRACIÓN DE LA VARIABLE ALOMÉTRICA EN LA CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LAS SUBCUENCAS LA GAVIA, SAN DIEGO Y ALMOLOYA"** y que su Tutor Académico, la **DR. FERNANDO CARRETO BERNAL**, y sus Tutores Adjuntos, el **DR. MIGUEL ÁNGEL BALDERAS PLATA** y el **MTRO. JULIO CÉSAR CARBAJAL MONROY**, han emitido su Voto Aprobatorio, se autoriza la impresión de los ejemplares requeridos y se le solicita atender las siguientes especificaciones:

- Entregar diez ejemplares impresos del Trabajo Terminal de Grado. La impresión de los ejemplares será en tamaño carta, con pasta gruesa o delgada en color café claro con letras doradas y con el diseño de portada indicado por la Coordinación de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática.
- Entregar una versión del Trabajo Terminal de Grado en disco compacto, guardado en formato de documento portable (PDF), etiquetado con los siguientes datos:
 - Nombre del egresado
 - Nombre del Trabajo Terminal de Grado
 - Número de cuenta
 - Fecha de examen de grado
 - Nombre del programa
 - Promoción
- Entregar un resumen impreso del Trabajo Terminal de Grado, con una extensión no mayor a cinco cuartillas.
- Entregar la constancia de donación a la biblioteca de la Facultad de Geografía de un libro nuevo relacionado con la temática abordada en el Trabajo Terminal de Grado.

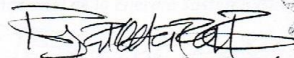
Todo se deberá entregar en la Coordinación de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática.

La presente se extiende a los catorce días del mes de noviembre del año dos mil doce.

ATENTAMENTE

"PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO"

"2012, Año internacional de la Energía Sostenible para Todas"



DR. EN G. RODRÍGO HUITRÓN RODRÍGUEZ
COORDINADOR DE LA MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL
Y GEOINFORMÁTICA



FACULTAD DE GEOGRAFÍA

MAESTRÍA EN
ANÁLISIS ESPACIAL
Y GEOINFORMÁTICA



Cerro de Coatepec, S/n Ciudad Universitaria. C.P. 50110



Integración del sínodo para la evaluación de grado
Facultad de Geografía
Coordinación de Investigación y Posgrado
Coordinación de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática



Toluca, México 14 de noviembre de 2012

C. ROSA ESTELA HERNÁNDEZ VALDÉS
EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL
Y GEOINFORMÁTICA
PRESENTE

La Coordinación de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática de la Facultad de Geografía comunica a Usted que la Comisión Académica de este Programa, conforme con los artículos número 64 y 65 del Reglamento de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México, ha integrado el sínodo de sustentación de evaluación de grado, mismo que está compuesto por:

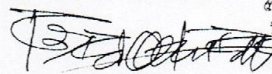
PRESIDENTE	DR. FERNANDO CARRETO BERNAL (Tutor Académico) Facultad de Geografía, UAEM
SECRETARIO	MTRO. JULIO CÉSAR CARBAJAL MONROY (Tutor Adjunto) Facultad de Geografía, UAEM
PRIMER VOCAL	DR. MIGUEL ÁNGEL BALDERAS PLATA (Tutor Adjunto) Facultad de Geografía, UAEM
SEGUNDO VOCAL	MTRO. LUIS RICARDO MANZANO SOLÍS Facultad de Geografía, UAEM
TERCER VOCAL	DR. ALBERTO JOSÉ GORDILLO MARTÍNEZ (Sinodal Externo) Dirección de Educación Superior, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
SUPLENTES	
PRIMER VOCAL	DR. LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ Facultad de Geografía, UAEM
SEGUNDO VOCAL	DR. JOSÉ EMILIO BARÓ SUÁREZ Facultad de Geografía, UAEM

Considerando que la fecha para presentar su evaluación de grado se establecerá de acuerdo con lo señalado en el artículo número 66 del Reglamento de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México.

ATENTAMENTE

"PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO"

"2012, Año internacional de la Energía Sostenible"



DR. EN G. RODRIGO HUITRÓN RODRÍGUEZ
COORDINADOR DE LA MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL
Y GEOINFORMÁTICA FACULTAD DE GEOGRAFÍA

MAESTRÍA EN
ANÁLISIS ESPACIAL
Y GEOINFORMÁTICA



SGC - UAEM
ISO 9001:2008





RESUMEN

La presente investigación propone la incorporación de la propuesta teórico – metodológica para la integración de la variable alométrica en la caracterización y diagnóstico ambiental de las subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya (de Juárez).

La propuesta se fundamenta en dos vertientes: la filosófica y disciplinaria, posteriormente se ha seleccionado una zona de estudio, para ejemplificar cómo se lleva a cabo el procedimiento del análisis alométrico en cuencas hidrográficas. Todo bajo el enfoque sistémico, considerando así a las subcuencas de la zona de estudio como geosistemas – que de acuerdo con autores clásicos del sistema fluvial como Strahler, Horton y otros – deberían desarrollarse en términos de un equilibrio dinámico perfecto.

Para esta metodología se ha desarrollado la caracterización de la región de estudio que comprende los municipios de Almoloya de Juárez, Villa Victoria y Zinacantepec, Estado de México; con el apoyo de cartografía analógica escala 1:50 000. Asimismo se han empleado fórmulas matemáticas para el cálculo de parámetros de la red de drenaje y cuenca, para una posterior correlación en un sistema cartesiano, con la correspondiente línea de tendencia y R^2 .

Finalmente se expone el estado actual de las subcuencas hidrográficas con la principal problemática, y se propone el uso de las ecuaciones alométricas para análisis de prospección de órdenes siguientes en el desarrollo de los geosistemas. En términos de funcionalidad de la propuesta, se han señalado las fases en que es útil el método alométrico, dentro del Ordenamiento Territorial.

En la culminación de la investigación se define la validación de la propuesta en términos científicos.

Palabras clave: *alométrico, alimetría, geosistema, subcuencas, equilibrio dinámico perfecto, ecuaciones alométricas, correlación.*

APORTACIONES EN CONGRESOS

El desarrollo del presente trabajo terminal permitió la participación en tres congresos:

- Ponencia intitulada *A Theoretical - Methodological Proposal for integrating the Allometric variable in spatial analysis of The Gavia, San Diego, And Almoloya Basins*. En la **Conferencia Geográfica Regional, UGI 2011** ((con la colaboración del Dr. Fernando Carreto Bernal, y Mtro. Julio César Carbajal Monroy. Santiago de Chile. 14-18 Noviembre 2011)
- Ponencia intitulada *Aportes del Método Alométrico al Ordenamiento Territorial en Cuencas Hidrográficas: Principios teóricos-metodológica*. En el **VI Congreso Internacional de Ordenamiento Territorial y Ecológico: Retos Sociales, Económicos y Culturales**. (con la colaboración del Dr. Fernando Carreto Bernal, Ensenada, Baja California, México. 22-25 Noviembre 2011)
- Ponencia en modalidad cartel intitulada *Propuesta Teórico -Metodológica para la integración de la variable alométrica en el análisis espacial de las cuencas La Gavia, San Diego y Almoloya*. En la **XI Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, 2012** (resumen p257-258). En Memorias del **XI Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, 2012**. ANCA. 1^{era} edición. México. ISBN: 923-546-687-4 (con la colaboración del Dr. Fernando Carreto Bernal, y Mtro. Julio César Carbajal Monroy. Mazatlán, Sinaloa, México. 5-7 junio de 2012)

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	v
Aportaciones en congresos.....	vi
Índice de figuras.....	ix
Índice de imágenes.....	ix
Índice de cuadros.....	x
Índice de gráficos.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Planteamiento del problema	2
Justificación.....	3
Importancia académica del tema – justificación científica.....	5
Objetivo general	5
Objetivos particulares.....	5
Hipótesis	6
Metodología	7
Antecedentes	10
Estructura de la Investigación	12
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO Y CONCEPTUAL	14
a) Enfoque Filosófico:	14
b) Enfoque Disciplinario	18
CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS SUBCUENCAS: LA GAVIA, SAN DIEGO, Y ALMOLOYA (DE JUÁREZ).....	32
I. Ubicación de la zona de estudio	32
Mapa base.	34
II. Caracterización del Sistema Geológico.....	35
a) Introducción	35
b) Procedimiento	36
c) Interpretación.....	38
d) Procesos.....	41
Mapa geológico.	42
III. Caracterización del Sistema Geomorfológico.....	43
a) Introducción	43
b) Interpretación	45
c) Procesos.....	48
Mapa geomorfológico	49
IV. Caracterización del sistema Edafológico	50
a) Introducción	50
b) Procedimiento	50
c) Interpretación.....	53
d) Procesos.....	55
Mapa edafológico	58

V. Caracterización del sistema hidrológico	59
a) Introducción	59
b) Procedimiento	59
c) Interpretación.....	60
d) Procesos.....	62
Mapa hidrológico	64
VI. Caracterización del sistema de Uso de Suelo.....	65
a) Introducción	65
b) Procedimiento	65
c) Interpretación.....	68
d) Procesos.....	71
Mapa de uso de suelo	74
VII. Caracterización del Sistema climático.....	75
a) Introducción	75
VIII. Caracterización del Sistema Socioeconómico	76
a) Introducción	76
b) Procedimiento	76
c) Interpretación.....	77
d) Procesos.....	83
Mapa de localidades.....	85
e) Conclusión.....	86
CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y APLICACIÓN DE LA PROPUESTA	88
I. Instrumentación de la propuesta.....	88
II. Aplicación de la propuesta.....	90
a) La Gavia	90
b) San Diego.....	98
c) Almoloya.....	103
Mapa de pendientes	107
d) Análisis conjunto de los tres geosistemas	108
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	114
I. De la caracterización de los geosistemas, ecuación alométrica y, propuestas de políticas de Ordenamiento Territorial	114
a) De la caracterización de los geosistemas.....	114
b) De la ecuación alométrica	116
c) De las propuestas de políticas de Ordenamiento Territorial	118
II. Evaluación de propuesta teórica – metodológica	125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo explicativo.....	15
Figura 2: Esquema que explicativo de la dinámica de la Teoría General de Sistemas.....	26
Figura 3: Esquema gráfico que muestra el comportamiento espacial lineal, del tipo de Alometría, crecimiento relativo, y el estado de equilibrio	29
Figura 4: Características básicas de la cartografía utilizada en la caracterización de la Zona de estudio	33
Figura 5: Estructura vertical de los sistemas naturales que conforman el Geosistema Cuenca Hidrográfica	33
Figura 6: Provincia Lagos y Volcanes de Anáhuac.....	35
Figura 7: Fases del Ordenamiento territorial y ecológico, resaltando las fases en las que la presente investigación, realiza su aporte	118

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Geología, sección inferior.....	39
Imagen 2: Geología, sección oeste.....	39
Imagen 3: Geología, sección norte.	39
Imagen 4: Geología, sección este.....	40
Imagen 5: Geología, sección oeste.....	40
Imagen 6: Geomorfología, cuenca de recepción.	45
Imagen 7: Geomorfología, cuenca de transporte.....	47
Imagen 8: Geomorfología, cuenca de recepción.	47
Imagen 9: Edafología, sección sur, para detalle.	53
Imagen 10: Edafología, sección oeste.	54
Imagen 11: Edafología, sección norte.....	54
Imagen 12: Edafología, sección este.	55
Imagen 13: Hidrología, sección sur, clasificación dendrítica.	60
Imagen 14: Hidrología, sección este, clasificación dendrítica.	61
Imagen 15: Hidrología, sección norte, clasificación subdendrítica -paralela.	61
Imagen 16: Hidrología, sección centro, clasificación dendrítica – pinada - asimétrica.....	61
Imagen 17: Hidrología, sección centro-sur, clasificación dendrítica – pinada - asimétrica.	62
Imagen 18: Uso de suelo, sección sur.....	68
Imagen 19: Uso de suelo, sección sur.....	68
Imagen 20: Uso de suelo, sección norte.....	69
Imagen 21: Uso de suelo, sección norte.....	69
Imagen 22: Uso de suelo, secciones diversas.....	70
Imagen 23: Gráfico de las actividades económicas por sector y porcentaje.....	83
Imagen 24: Gráfico de las actividades económicas por sector y porcentaje.....	83
Imagen 25: Gráfico de las actividades económicas por sector y porcentaje.....	84
Imagen 26: Ladera asimétrica de la subcuenca Almoloya.	114
Imagen 27: Tipos de equilibrio en Geomorfología de Chorley y Kennedy (1971)	115
Imagen 28: Presa Ignacio Ramírez, con presencia de lirio acuático, vista desde diferentes ángulos	121
Imagen 29: Medidas estructurales en la cuenca de recepción de San Diego.....	122
Imagen 30: Exutoria de Almoloya, integrándose a la Presa Ignacio Ramírez.....	122
Imagen 31: Exutoria de San Diego, integrándose a la Presa Ignacio Ramírez.....	123
Imagen 32: Exutoria de La Gavia, integrándose a la Presa Ignacio Ramírez	123
Imagen 33: Exutoria oeste de La Gavia, en la que se aprecia la dirección del lirio acuático.	124

CUADROS

Cuadro 1: Parámetros cuantitativos del drenaje de la cuenca, con factores que contribuyen en el análisis alométrico	21
Cuadro 2: Parámetros cuantitativos de la cuenca en general y río principal, con factores que contribuyen en el análisis alométrico	23
Cuadro 3: Principales leyes de los sistemas fluviales	24
Cuadro 4: Clasificación de la Alometría	28
Cuadro 5: Tipo de crecimiento relativo	28
Cuadro 6: Tipos de Alometría	29
Cuadro 7: Tiempo geológico, en el que se resalta el inicio de actividad de la provincia geológica que comprende las tres subcuencas de estudio	36
Cuadro 8: Geología de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km ² y %	41
Cuadro 9: Cimas principales de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya	46
Cuadro 10: Geoformas de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km ² y %	46
Cuadro 11: Edafología por grandes grupos, de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km ² y %	55
Cuadro 12: Edafología desglosada por subtipos, de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km ² y %	57
Cuadro 13: Uso de suelo por grandes grupos, de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km ² y %	70
Cuadro 14: Uso de suelo desglosado por categorías, de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km ² y %	72
Cuadro 15: Tabla que muestra las localidades del municipio de Almoloya de Juárez, con datos de localización: longitud, latitud y altitud, así como población total y por sexos.	78
Cuadro 16: Tabla que muestra las localidades del municipio de Villa Victoria, con datos de localización: longitud, latitud y altitud, así como población total y por sexos.	80
Cuadro 17: Tabla que muestra las localidades del municipio de Zinacantepec, con datos de localización: longitud, latitud y altitud, así como población total y por sexos.	82
Cuadro 18: Caracterización de las Líneas de tendencia	89
Cuadro 19: Parámetros calculados de la red de drenaje	91
Cuadro 20: Parámetros calculados de la cuenca	91
Cuadro 21: Parámetros calculados de la red de drenaje	98
Cuadro 22: Parámetros calculados de la cuenca	98
Cuadro 23: Parámetros calculados de la red de drenaje	103
Cuadro 24: Parámetros calculados de la cuenca	103
Cuadro 25: Aplicación del R ² para cálculos de proyección en la variable de relación de bifurcación	116
Cuadro 26: Ecuaciones alométricas aplicadas al estudio de cuencas hidrográficas	117
Cuadro 27: Aplicación de ecuaciones alométricas aplicadas a la zona de estudio para el caso de la relación de bifurcación	117
Cuadro 28: Reporte del estado de las subcuencas	119
Cuadro 29: Evaluación de la propuesta teórico-metodológica	125

GRÁFICOS

Gráfico 1: Relación entre N° de segmentos y orden de drenaje.....	92
Gráfico 2: Correlación entre orden de cauces y relación de bifurcación.	92
Gráfico 3. Relación entre longitud de segmentos en km y orden de drenaje.	93
Gráfico 4. Relación entre orden de drenaje y longitud media acumulativa en km.....	93
Gráfico 5. Relación de longitud media y total por órdenes de drenaje, La Gavia.....	93
Gráfico 6: Relación entre longitud en km y altitud en m, por orden de drenaje.	95
Gráfico 7: Elaboración propia con datos del cuadro 18.	95
Gráfico 8: Elaboración propia.....	99
Gráfico 9: Elaboración propia con.....	99
Gráfico 10: Relación entre longitud de segmentos en km y orden de drenaje.	100
Gráfico 11: Relación entre orden de drenaje y longitud media acumulativa.	100
Gráfico 12: Relación de longitud media y total por órdenes de drenaje.	100
Gráfico 13: Relación de altitud máxima por orden de drenaje.	101
Gráfico 14: Relación entre longitud en km y altitud en m, por orden de drenaje.	101
Gráfico 15: Relación entre N° de segmentos y orden de drenaje.....	104
Gráfico 16: Correlación entre orden de drenaje y relación de bifurcación.	104
Gráfico 17: Relación entre longitud en km y altitud en m, por orden de drenaje.	106
Gráfico 18: Relación de altitud máxima por orden de drenaje.	106
Gráfico 19: Correlación del N° segmentos de La Gavia, San Diego y Almoloya.....	109
Gráfico 20: Correlación de la relación de bifurcación, de La Gavia, San Diego y Almoloya.	110
Gráfico 21: Correlación de longitud de segmentos de La Gavia, San Diego y Almoloya.	110
Gráfico 22: Correlación de longitud de segmentos de La Gavia, San Diego y Almoloya.	111
Gráfico 23: Correlación conjunta de la relación de longitud por orden de drenaje.	111
Gráfico 24: Correlación de la Relación de longitud de La Gavia, San Diego y Almoloya.....	112

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de la prehistoria e historia el ser humano se ha preocupado por la obtención de los recursos naturales, que en el medio ambiente adquiere, como parte de esa dinámica y del crecimiento poblacional, se ha hecho indispensable el desarrollo científico y tecnológico de diferentes metodologías que contribuyan al uso sustentable de los recursos naturales.

Así las diferentes ciencias han aportado teorías, métodos, procedimientos y enfoques para estudios con esta orientación, entre este conjunto de ciencias, resaltan las ambientales, con diferentes objetos de estudio, pero con un mismo fin.

La Geografía es una de estas ciencias, se encarga del estudio del espacio geográfico con las interrelaciones en el medio en el que se desarrolla, ahora en el siglo XXI, se han integrado los SIG (Sistemas de Información Geográfica), como parte de las herramientas de apoyo informático al estudio y análisis espacial.

En este contexto de investigación científica, se propone una metodología para el análisis espacial de cuencas hidrográficas, vistas desde la perspectiva sistémica, el objetivo es que a través del método alométrico – originalmente aplicado a las ciencias biológicas – puede explotarse en la Geomorfología, rama de la Geografía, con la finalidad de obtener un análisis ambiental, del estado de las cuencas hidrográficas.

El estado de las cuencas en teoría, bajo la misma dinámica de procesos que al interior ocurre, debería presentar un equilibrio dinámico perfecto; es decir el desarrollo o crecimiento debe mostrarse en todos los elementos o variables contenidas por el sistema cuenca, a la misma velocidad y de forma homogénea.

Sin embargo, al tratarse de un sistema abierto, y en condiciones de procesos diferentes, el desarrollo deja de ser isométrico y pasa a ser alométrico, la cuestión es: qué tan alométrico es, que tipo de alometría presenta, a través de que modelos matemáticos puede representarse y a partir de estos determinar proyecciones tendenciales del comportamiento de uno de los elementos de la cuenca (variable). En el desarrollo se explica cada cuestionamiento y se manifiesta la validez de la propuesta, para su aplicación a futuras investigaciones alométricas en sistemas fluviales de cuencas hidrográficas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciencia geográfica ha transitado a través del tiempo por etapas, paradigmas y corrientes de pensamiento que le han permitido consolidar gradualmente conocimientos en las diferentes ramas en que se divide.

Desde el siglo XV al XVIII se desarrolló una Geografía de carácter descriptiva, para pasar en el siglo XIX a una Geografía moderna que destacaba por ser sistémica, científica y explicativa; ya no solo era descriptiva sino que cuantificaba las variables estudiadas, y proponía la correlación de principios y teorías a la solución de problemas.

Bajo este contexto de 'cuantificación científica' se desarrollaron las diversas ciencias en general, y la Geomorfología no fue la excepción. Dentro de esta, tuvieron lugar los estudios morfométricos, de tipo fluvial definidos por Strahler como aquellos en los que la medida de la forma o configuración geométrica de un sistema (en este caso: de erosión fluvial) hace posible su reconocimiento por los componentes básicos que la integran y que además pueden describirse y clasificarse (1982:522).

De forma semejante surgen los estudios del territorio por Cuencas hidrográficas, este tipo de análisis estableció desde el inicio el análisis del espacio geográfico por Sistemas de Cuenca en general y por subsistemas, es decir, se toman en cuenta todos los elementos que la conforman: clima, suelos, relieve, material geológico, vegetación e hidrología, entre otros.

Todos estos subsistemas se estudian de forma particular o independiente, por lo que la 'propuesta' que en este trabajo se desarrolló resulta funcional al Análisis de Cuencas, ya que el Método Alométrico sugiere un análisis '**Integrado**' de todos los subsistemas que al interior de la cuenca operan.

Aunado a la cronología anterior, en el contexto de la Nueva Geografía del siglo XIX, también se contribuyó notablemente a la organización del territorio por regiones para su planificación, como Delgadillo afirmó: surgieron como intentos de planificación regional por 'cuencas hidrográficas', apoyados en las experiencias de algunos países desarrollados como Estados Unidos y España (1990:91).

En este tipo de regionalización la propuesta era la vinculación entre los estudios del medio físico y los del social, en un intento por reforzar el concepto de un análisis integrado, donde todos los elementos encuentran interrelaciones unos con otros.

La integración también forma parte esencial del Ordenamiento Territorial y Ecológico por lo que resulta óptima la Propuesta de Integración de la Variable Alométrica al Análisis de Cuencas Hidrográficas, pues los elementos no se estudian de forma aislada sino de forma conjunta y dependiente, que es lo que caracteriza este trabajo.

Entre los estudios de carácter espacial que pueden derivarse del Análisis Alométrico se encuentran la caracterización, diagnóstico, servicios ambientales, gestión de cuencas, Ordenación del Territorio

y Planeación Geográfica Integral. Todo por medio de análisis matemáticos que buscan relaciones entre valores cualitativos y cuantitativos del relieve.

Una parte el análisis espacial por sí mismo permite comprender los procesos de evolución, organización y funcionamiento de los diferentes sistemas y elementos que conforman un determinado espacio geográfico, y por otra la integración de la Variable Alometría contribuye a la generación de un modelo óptimo de ocupación del territorio en donde se minimicen los riesgos por expansión de asentamientos humanos en zonas inadecuadas, la sobre-explotación de recursos naturales y se logre armonía entre los elementos ambientales, sociales y económicos.

El objeto de estudio que se plantea para esta investigación refiere a una Propuesta de carácter Teórica y Metodológica, que permite integrar la Variable Alométrica al análisis espacial de Cuencas Hidrográficas, específicamente para la caracterización y diagnóstico ambiental de estas.

Bajo este contexto el planteamiento del problema se expresa en las siguientes interrogantes: ¿Permite la integración de la Variable Alométrica como propuesta teórica y metodológica contribuir al Análisis Espacial de las Cuencas hidrográficas? Y si así es ¿es posible y funcional, a partir del método alométrico caracterizar y diagnosticar ambientalmente cuencas hidrográficas para el Ordenamiento Territorial y Ecológico?

El planteamiento que enmarca el desarrollo de este trabajo también se complementa con las problemáticas existentes en la zona de estudio donde se llevará a cabo la implementación la Propuesta de Integración de la Variable Alométrica, en ese tenor este trabajo responderá a la pregunta de si ¿Es posible caracterizar y diagnosticar el estado de desarrollo de las Subcuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya? Y en función de los resultados ¿Qué tipo de propuestas se recomiendan para optimizar el uso racional de los recursos con que cuentan las Subcuencas?

JUSTIFICACIÓN

Las Cuencas Hidrográficas proporcionan bienes y servicios a la sociedad como el suministro de agua, contención de la erosión, fijación del carbono, conservación de la biodiversidad y mantenimiento de la belleza del paisaje, por lo que son estudiadas, desde diferentes perspectivas: hidrológica, ecológica y económica, entre otras, lo que la convierte en una unidad fundamental del análisis espacial, apta para la planeación territorial.

No obstante, no siempre se aprecia el valor que ofrecen las cuencas hidrográficas y por consiguiente tampoco se toman las medidas necesarias para la conservación de la misma, lo que incluye la conservación del paisaje, corrección de torrentes y protección de zonas afectadas por procesos de erosión acelerada (*badlands*: sistemas de cárcavas drenaje fino y pequeñas laderas escarpadas con interfluvios angostos), o bien la recuperación de estos.

El tipo de conocimiento que se obtiene desde una perspectiva general con el estudio alométrico de cuencas es una opción que permite caracterizar la administración de los recursos naturales a través del manejo organizado de los elementos forestales, hídricos, edafológicos y humanos. El método alométrico permite comparar uno o más sistemas por medio de un análisis matemático que radica

en la búsqueda de relaciones entre valores cualitativos y cuantitativos de los parámetros de la red de drenaje, como una de las propiedades esenciales del relieve (Hernández, 2009:6).

El Método Alométrico por lo tanto, hace un aporte para el análisis espacial de cuencas hidrográficas dentro de la Geografía ya que, permite la conjugación de variables lineales y areales tanto dependientes como independientes que representados en un sistema gráfico cartesiano o diagrama matricial facilitan el análisis del comportamiento espacial de cada variable lo que a su vez permite la identificación de la dinámica de procesos en el área de estudio, pero siempre de forma integrada.

Los resultados o información obtenidos desde un enfoque geográfico proyectan información útil al análisis espacial de espacios geográficos, entre los que destacan las cuencas hidrográficas, los cuales permiten llegar a diagnósticos para una Planeación Geográfica Integral, Ordenamiento Territorial o Evaluación de Impacto Ambiental.

Para este proyecto de investigación no solo se hace la Propuesta de la Integración de la Variable Alométrica al análisis espacial, sino que se implementa como ejemplo de ejecución en tres subcuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya (de Juárez), para su evaluación; dichas subcuencas se encuentran ubicadas en el municipio de Almoloya de Juárez, Estado de México; y forman parte del sistema de subcuencas que desembocan en la Presa Ignacio Ramírez.

La propuesta que se presenta en esta investigación se relaciona directamente con atender las necesidades de la región, ya que las tres subcuencas en que se aplicó la metodología propuesta, corresponden a la Región hidrológica N°12 Lerma-Santiago y de la Cuenca Lerma-Toluca, así como a la Subcuenca Río Tejalpa que, conforman una zona importante para la recarga de acuíferos en el Estado de México.

Por otra parte en las partes altas de las subcuencas se presentan problemáticas de tala ilegal y erosión, mientras que en las partes medias son áreas susceptibles a deforestación, quema, erosión y contaminación y finalmente en las exutorias de las Subcuencas se vierten las aguas residuales y basura de los habitantes. De esto último destaca la contaminación del principal cuerpo de agua en el que desembocan las Subcuencas estudiadas que es la Presa Ignacio Ramírez

Entre las principales causas de contaminación a la presa, se encontraron los desechos residuales domésticos, así como los originados por pesticidas y fumigantes en la agricultura, aunado a los desechos industriales que la Fábrica Papelera 'El Nevado' vertía al Arroyo Seco (afluente del Río Almoloya); lo que de acuerdo a Martínez daba a este embalse características de aguas muy turbias, con presencia de arcillas coloidales, aguas moderadamente duras, concentración de sulfatos en la columna de agua que sobrepasan a los establecidos para la vida acuática. Además de que la deforestación contribuye a cantidades importantes de terrígenos en temporada de lluvia; por lo tanto posee una zona eufótica muy reducida y es un Cuerpo de Agua con alto grado de eutrofización (2007: 10).

La eutrofización ocasiono la presencia de lirio acuático en dos de los ocho metros de agua, por lo que se requirió la limpieza de la presa (Magallán, 2010), durante los años 2009 y 2010 (Dirección de Ecología: 24-25).

Parte de las acciones de saneamiento incluyeron la contratación de maquinaria para la trituración de materia acuática por \$2, 250, 000 (Plan municipal de Desarrollo Urbano 2009: 125), así como \$1,496, 840 por la Secretaría del Medio Ambiente (Fuentes, 2009:2). Sin embargo esto únicamente resolvió el problema de forma temporal, ya que todas problemáticas antes mencionadas requieren en primer lugar de la detección de las causas y espacios que los originan, así como el diseño de las propuestas de solución para conservar o recuperar el equilibrio en el sistema natural, y esta investigación ofrece una alternativa a las problemáticas de la región, ya que como se ha explicado implican más de un municipio del Estado de México.

Además dentro de la zona de estudio, se encuentran Áreas Naturales Protegidas como el Cerro San Francisco, La Guadalupana, Yebucibi y La Unión, que requieren atención por formar parte de las Subcuencas de recepción; al mismo tiempo la incorporación de polígonos a la zona urbana, y el Proyecto de creación del Centro urbano, industrial y se servicios de carácter regional denominado '*Centro Regional del Conocimiento y Tecnología*' (Plan municipal de Desarrollo Urbano 2009: 125); en el Municipio de Almoloya (donde es la mayor extensión de las cuencas), y que aun cuando están fuera de la delimitación de las Subcuencas hidrográficas, se encuentran dentro del municipio y demandarán del servicio de Agua, factor que se adiciona a la justificación de este proyecto de investigación y aplicación, ya que los resultados y propuestas beneficiarán a todos los habitantes del municipio y zonas aledañas.

Importancia académica del tema – justificación científica

Por último esta investigación tiene su esencia en el Aporte Teórico que se hace a la Ciencia Geográfica al retomar la Teoría Alométrica (utilizada originalmente en la Biología), para fines de análisis espacial geográfico, y proponiéndola como método de análisis en la rama de la Geomorfología para la caracterización y diagnóstico ambiental de cuencas hidrográficas.

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e instrumentar la Propuesta Teórico – Metodológica para la integración de la Variable Alométrica en la caracterización y diagnóstico de las cuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya de Juárez

OBJETIVOS PARTICULARES

- Fundamentar teórica y metodológicamente el Diseño e Implementación de la Propuesta de Integración de la Variable Alométrica al análisis de cuencas hidrográficas
- Caracterizar ambientalmente las cuencas La Gavia, San Diego y Almoloya de Juárez
- Instrumentar y Aplicar la Propuesta en tres cuencas hidrográficas
- Evaluación de la Propuesta bajo los términos de validación, confiabilidad y objetividad científica

HIPÓTESIS

El Diseño de una Propuesta Teórico – Metodológica de Integración de la Variable Alométrica contribuye a la Ciencia Geográfica con un aporte de carácter Teórico y metodológico para el Análisis Espacial de diversos geosistemas.

La Propuesta que en esta investigación se sugiere se implementó en tres cuencas hidrográficas: La Gavia, San Diego y Almoloya, lo cual permite la ejemplificación de cómo debe realizarse la evaluación alométrica, y a su vez cómo los resultados obtenidos permiten caracterizar y diagnosticar estas cuencas en relación a la dinámica de desarrollo que presentan.

Esta evaluación es posible a partir de la graficación de las variables del Geosistema: Cuenca, por medio de un diagrama matricial o sistema cartesiano en el que se correlacionan las variables, lo que a su vez permite la detección de zonas con un desarrollo anómalo y de inestabilidad o bien de un desarrollo óptimo ideal, es decir el estado de la Cuenca; de esta forma se aporta una opción más al análisis espacial dentro de la Geografía.

Con el análisis de los resultados numéricos obtenidos se podrá sugerir una correcta administración de los recursos naturales a través del manejo organizado de los elementos forestales, hídricos, edafológicos y humanos. Desde esta perspectiva podrán vincularse a diagnósticos y políticas tanto de Planeación Geográfica Integral como de Ordenación Territorial, que entre otras cosas permitirán señalar los usos de suelo más aptos para áreas específicas, así como propuestas para mejorar el uso, calidad del agua y otros recursos, tomando en cuenta las necesidades de las poblaciones que forman parte de las cuencas.

Finalmente bajo los criterios de validación, confiabilidad y objetividad científica quedará demostrado el aporte de esta Propuesta Teórico – Metodológica a la Ciencia Geográfica.

METODOLOGÍA

La metodología que siguió este trabajo, dada la naturaleza de la investigación es de carácter Teórico-Científico, por la propuesta que se hace de la Teoría Alométrica; sin embargo, también se hizo uso del método Morfométrico en el ejercicio de implementación de la propuesta en cuencas hidrográficas. Ambos Métodos se sustentaron bajo las perspectivas: filosófica y disciplinaria y se agruparon en etapas de trabajo que a continuación se describen:

Investigación bibliográfica: Corresponde a la primera fase metodológica, y consiste en la consulta de fuentes bibliográficas que constituyeron los referentes conceptuales, teóricos, metodológicos, procedimentales y de análisis de resultados, para desarrollar e implementar la Propuesta Teórico-Metodológica de la variable Alométrica. En este sentido las principales temáticas consultadas refieren a la investigación científica en la ciencia geográfica, la corriente de pensamiento neopositivista y las metodologías hipotético-deductivas y estructural-funcionalista.

En lo que refiere a lo disciplinario o de implementación las temáticas consultadas en el aspecto filosófico fueron la Teoría General de Sistemas, las metodologías Alométricas y Morfométricas así como el análisis Matricial tanto en general como para su aplicación en sistemas de cuencas hidrográficas.

Investigación Cartográfica: esta segunda fase corresponde a la recopilación de la información cartográfica que sirvió para la representación espacial de las principales características de la zona de estudio en la que se implementará la propuesta. La cartografía requerida corresponde esencialmente a las Cartas Topográficas escala 1:50,000 editadas por el INEGI tanto en formato analógico como digital.

Las claves de las cartas son las siguientes:

- E14A36 - Villa de Allende
- E14A37 - San Miguel Zinacantepec
- E14A46 - Valle de Bravo
- E14A47 - Volcán Nevado de Toluca
- E14A27 - Ixtlahuaca de Rayón

El formato vector original de la cartografía digital se encuentra en una Proyección UTM, Datum ITRF92, con intervalo de 20 metros entre curvas de nivel, con excepción de la E14A27 que las presenta en el archivo original cada 10 metros. La fecha de actualización de la cartografía es del año 2004, con excepción de la E14A36 que es de 1995.

En el caso de las temáticas cartográficas de se retomaron igualmente del INEGI, y en el caso de la Geomorfología se obtiene a partir de la Edafología y Geología; todas en un formato analógico escala 1:50,000, que es la cartografía disponible para la zona de estudio, y que sirvieron como referente general en la contextualización de las cuencas (en formato digital están disponibles es CONABIO, sin embargo la escala es 1: 250 000).

Investigación Geotecnológica: esta fase corresponde a la indagación de los Softwares que sirvieron como herramienta en la implementación de la propuesta teórico-metodológica; a este respecto se define el AutoCAD Map 3D 2012, para la preparación de la información del archivo cartográfico base, el ArcMap para el procesamiento de los cálculos de parámetros y representación espacial, así como el Microsoft Excel 2010 del Microsoft Office para la representación gráfica de variables.

Caracterización ambiental de las Cuencas Hidrográficas: en esta sección se preparó el archivo de la red de drenaje, desde la delimitación de cada una de las tres subcuencas a partir de los parteaguas, para la posterior traza de los cauces por orden de drenaje (debido a que la hidrología disponible en el INEGI es muy general, y este trabajo requiere un mayor nivel de detalle y la jerarquización de la red).

La delimitación de las cuencas además de permitir su ubicación geográfica, permite detectar los elementos y factores físicos (como la geología, uso de suelo, clima, edafología y geomorfología), y sociales (como asentamientos humanos, traza urbana y actividades económicas) con que cuenta cada una de las tres subcuencas.

Procedimiento y cálculo de los parámetros: fase que consiste en presentar las bases metodológicas para la obtención de las variables a calcular de las cuencas, así como los parámetros a calcular y evaluar. De igual forma se presenta metodológicamente como a través de las herramientas geotecnológicas del ArcMap, bajo el Módulo de ArcGIS 9, en la Versión 9.3 se puede cumplir el objetivo.

Una vez calculados y obtenidos los valores de las variables y parámetros, en Microsoft Excel 2010, se llevarán a cabo las correlaciones de las variables obtenidas con la constante de órdenes de drenaje, estas correlaciones se presentarán de forma gráfica por medio de esquemas cartesianos; que corresponden a la metodología de diagramas matriciales de doble entrada, ya que permiten la correlación de dos tipos de datos en un sistema de coordenadas.

Análisis de los resultados de la implementación de la Propuesta: corresponde al análisis de los resultados numéricos obtenidos de los cálculos realizados y la representación gráfica de estos, en esta sección se analizan los resultados de los parámetros de las cuencas hidrográficas, el objetivo es valorar cualitativamente el desarrollo estos sistemas en relación a la evolución óptima o ideal de un cuenca, el equilibrio y estabilidad, todo en función de los referentes teóricos presentados en la Propuesta así como los inferidos en esta investigación, y que forman parte del aporte de este trabajo.

Estos valores presentados permitirán identificar y diagnosticar el estado de las Cuencas Hidrográficas y con esto determinar si los valores cuantitativos y cualitativos obtenidos son simétricos (normales), o si por el contrario son alométricos (anómalos o anormales) y, el grado en que se da este proceso, si es una alometría negativa o positiva.

En función de lo anterior se podrán dar algunas sugerencias para el diseño de políticas con opciones de conservación, protección, recuperación o restauración de las zonas detectadas como

susceptibles o vulnerables a algún proceso específico, y que por lo tanto presentan una alometría más alejada de la dinámica de desarrollo o crecimiento ideal relativo.

Análisis y Evaluación de la Propuesta: consiste en la presentación de los resultados finales de haber integrado al Análisis de Cuencas la Variable Alométrica como Propuesta Teórico- Metodológica, y en cómo aporta una opción metodológica de análisis espacial a la Ciencia Geográfica.

Por otra parte toda 'propuesta innovadora' requiere evaluarse, razón por la cual se implementó la propuesta en tres cuencas Hidrográficas, de forma tal que el análisis obtenido de los resultados de estas, fungieron como ensayo de la metodología a la vez que contribuyeron en la demostración de la funcionalidad y aplicabilidad de la propuesta.

Finalmente la Propuesta se sometió a evaluación mediante los términos de validación, confiabilidad y objetividad científica a fin de probar los aportes teóricos y metodológicos planteados en la hipótesis.

ANTECEDENTES

Desde el enfoque disciplinario los trabajos que se aproximan a la temática Alométrica dentro de la Geografía, se han desarrollado en la ciencia Geomorfológica bajo la temática Morfométrica que radica en la obtención de elementos cuantitativos del relieve, del cual las cuencas hidrográficas forman parte.

En el área de la Geografía física la Alometría es propuesta desde la Geomorfología cuantitativa, que es el paradigma, bajo el cual Horton (1945) desarrolló la metodología cuantitativa en la Geomorfología, la descripción cuantitativa del Sistema Fluvial; de forma tal que pudieran establecerse los índices de comportamiento normal y predecirlos, y con esto como base el postulado de las leyes de cauces, conocidas como 'Leyes de Horton'. Asimismo elaboró un modelo de escorrentía y erosión del agua en las vertientes y de los procesos hidráulicos.

A este respecto Strahler (1952^a: 924) resaltó la importancia del aporte de nuevos conocimientos a la Geomorfología Cuantitativa, ya que en la mayoría de los casos son los ingenieros los que incursionan en este ámbito matemático, aun cuando la Geomorfología no es su especialidad. Y por otra parte expuso la necesidad de que las formas topográficas deben estar relacionadas cuantitativamente a procesos geomórficos y que estas relaciones deben de tomar la forma de ecuaciones empíricas obtenidas por métodos de estadística matemática, que sustente los procesos observados (1952^b: 1119).

Este mismo autor formuló modelos matemáticos, dedujo la dinámica del relieve a partir de la observación y representación del paisaje en una curva hipsométrica y fue él mismo, quien al explicar el análisis cuantitativo de las formas de erosión en el Sistema Fluvial enunció la Ley de Crecimiento Alométrico (1982:528), dejando abierta así la posibilidad de desarrollar los principios teóricos y metodológicos de la Alometría para estudios geográficos tanto físicos como sociales.

Entre los autores clásicos que también contribuyeron con sus aportes científicos a la consolidación del método alométrico se encuentra Bertalanffy (1968) que con la Teoría General de Sistemas aporta características básicas a los sistemas naturales, Viers (1978) que mostró el modelado de erosión fluvial y su estado de equilibrio, y Seco (1982) quien utilizó la Ley de Equilibrio en los procesos naturales.

Del mismo modo Hart (1986) refirió a la utilidad de la morfometría como método de estudio de Geomorfología Fluvial a través de modelos matemáticos y finalmente Thorn (1988) quien con las temáticas del Uniformitarismo y Ergodicidad realiza un aporte especial a la presente investigación.

En épocas recientes preceden a este trabajo las investigaciones de Espinosa, quien refiere al término "alometría" para la búsqueda de las relaciones existentes entre el orden de drenaje y sus variables para referir al equilibrio de las cuencas, asimismo reconoce que la Alometría se encuentra sustentada en la Ley de Gradientes de los Cauces, donde es observada una progresión de carácter inverso representada en gráficos que exhiben las anomalías encontradas en el modelado fluvial (2003:102,104).

En el caso de I. Antigüedad (s/d) en el 1 Encuentro de Geografía en España, señaló en uno de los artículos publicados que la Morfometría de cuencas puede proporcionar valiosa información hidrogeológica, pues supone la cuantificación del relieve de forma que pueda ser analizable en términos matemáticos para posteriormente establecer comparaciones respecto a su dinámica, y en el cumplimiento con las Leyes de Horton, a saber la Ley de Longitud de los cauces, Ley del Área de las cuencas, Ley del Crecimiento Alométrico.

En el estudio sobre la Morfometría de la red hidrográfica de Bizkaia (España), Docampo afirma que entre los parámetros medidos, los índices morfométricos relativos al Crecimiento Alométrico han sido objeto de especial atención en la caracterización de cuencas (1989: 2).

De la misma forma Hernández y Espinosa haciendo alusión al método alométrico, reconocen que consiste en el análisis de propiedades lineales y superficiales del relieve, la búsqueda de relaciones entre valores cualitativos y cuantitativos; y que estos exponen el grado de comportamiento de una cuenca; lo cual conduce a detectar áreas de irregularidad, anomalías y procesos de crecimiento o degradación en un momento dado o a través del tiempo. Además que contribuye a la cartografía geomorfológica para el aprovechamiento hídrico y zonas vulnerables a erosión (2007: 46).

El mismo autor muestra parte del soporte teórico para el análisis Alométrico de cuencas, mostrando desde el origen de esta, los cuatro tipos de alometría, y la colección de los índices sugeridos por Horton y Strahler para la evaluación de cuencas en un desarrollo de crecimiento ideal y de la aplicación de estas, el tipo y comportamiento espacial de las rectas obtenidas en los diagramas matriciales o cartesianos (2009: 114-115).

En el marco de la Geografía Calderón realizó un estudio para determinar las Relaciones Alométricas y aunque la investigación fue para erosión de Cárcavas, el objetivo fue la identificación de relaciones entre las variables que integran las cárcavas a fin de validar el comportamiento de estas y establecer modelos alométricos que permitieran la cuantificación (2010:1, 2).

En función de los antecedentes mencionados respecto a lo que se conoce de la temática alométrica, así como de las metodologías utilizadas para estudios de cuencas hidrográficas es que se evaluó que aun cuando se sabe de la funcionalidad de la Alometría en la Geomorfología no ha explotado el potencial que puede brindar.

Por otra parte los estudios que tienen que ver con cuencas hidrográficas no confieren la importancia que merece el sustento matemático, y en el caso de los estudios morfométricos que si lo hacen, no realizan la comparación entre variables o bien, no incluyen la interpretación para la detección del tipo de alometría y por consecuencia de la dinámica del espacio Cuenca.

Ante este contexto y aunado al hecho de que para la Geomorfología y Geografía en general no existen ni las bases teóricas ni metodológicas como tal; es que se plantea una Propuesta que ofrezca cubrir esos vacíos y brindar otra opción metodología en estudios Geográfico-espaciales.

ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

La organización de la información presentada es imprescindible para mantener el alineamiento temático, y esta investigación no es la excepción, se encuentra estructurada en tres capítulos de forma que pueda apreciarse la coherencia entre los apartados del proyecto, tal como a continuación se muestra.

El primer capítulo se encuentra conformado por el Marco Conceptual, sección en la que se definen para este trabajo las principales terminologías expuestas en el título de la investigación, planteamiento del problema, justificación, hipótesis y objetivos; con el objetivo de identificar el conocimiento existente acerca del problema en sí.

El Marco Teórico – Metodológico, en el cual se explican los principios referentes a la teoría y método que sustentan el desarrollo de la temática abordada, que respaldan la hipótesis de la investigación y permiten cimentar el procedimiento que se utilizó para lograr los objetivos planteados. Además es en esta sección en donde se contextualiza y ubica la investigación.

En el segundo capítulo se presenta la caracterización de las tres cuencas hidrográficas seleccionadas para la aplicación de la Propuesta sugerida en esta investigación; las principales características expuestas refieren a aspectos físicos como geología, uso de suelo, clima, edafología y geología básica y geomorfología. En relación al aspecto social se muestran aspectos muy generales de temáticas de población, asentamientos humanos, y actividades económicas.

La instrumentación y aplicación de la Propuesta es desarrollada en el tercer capítulo, donde en primer lugar se realizó de forma independiente para cada una de las cuencas, el cálculo de los parámetros, seguido por la representación gráfica, es decir la correlación de variables, así como la evaluación y diagnóstico. Posteriormente se llevó a cabo un análisis comparativo entre los tres sistemas de subcuencas, como parte del aporte final de la investigación, logrando así el aporte de caracterización de la zona de estudio a una posterior propuesta de Ordenamiento Territorial y Ecológico.

La última sección contiene Discusión de resultados y Evaluación de la Propuesta, en esta sección se retoman los resultados de la zona de estudio como ejemplo, con el objetivo de proponer estándares de comportamiento aproximados para los sistemas fluviales bajo condiciones de desarrollo ideales, es decir, bajo un contexto cercano al equilibrio dinámico perfecto, en donde tanto factores endógenos como exógenos no estén modificando la estructura ni funcionalidad del sistema.

En esta misma sección se realiza la evaluación de la propuesta bajo los términos de validación, confiabilidad y objetividad científica, a los cuales debe ser sometida cualquier propuesta de carácter científico. Finalmente se presenta la sección de Conclusión y Recomendaciones, seguido de la sección de bibliografía.



Cuenca de recepción de San Diego

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO Y CONCEPTUAL

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO Y CONCEPTUAL

El esquema teórico y conceptual que sustenta la Propuesta para la Integración de la Variable Alométrica en la Caracterización y Diagnóstico Ambiental de Cuencas Hidrográficas, se describe en este apartado. Cuyo objetivo es enmarcar los principios filosóficos y disciplinarios que respaldan y ubican la investigación tal como se aprecia en la Figura 1 y que a continuación se explican:

➤ a) Enfoque Filosófico:

Dada la naturaleza de la investigación, desde el enfoque Filosófico los fundamentos teóricos que encuadran la Propuesta presentada en esta tesis, se desprenden de la Corriente del **Pensamiento Neopositivista**.

Conocida también como Positivismo o empirismo Lógico, movimiento intelectual surgido, como menciona G. Briones a fines del decenio de 1920 y cuyos principales representantes se agruparon en el llamado Círculo de Viena: Schlick, Carnap, Neurath, Frank, Kauffman, Gödel y otros. Su posición básica se funda en el neopositivismo de Mach, Pearson y de algunos empiristas ingleses, como Hume, aunque posteriormente, recibieron la influencia de Wittgenstein (1996: 30).

Briones también afirma que la influencia del positivismo lógico es clara en la metodología cuantitativa, que es finalmente el tipo de metodología que se propone y aplica en la presente investigación, con el Método Alométrico – morfométrico; y que se ajusta bien al Neopositivismo debido al hecho de que realizó la grandiosa obra de introducir la lógica simbólica o matemática en la disciplina (Jiménez, s/d: 15).

De esta corriente de pensamiento epistemológico Karl Popper (1934) mencionó: se encuentra delimitada por el método hipotético – deductivo, otorgando así a la ciencia el carácter de racional justificado, asimismo confirma que la ciencia no es inductiva sino hipotética y deductiva.

Bajo este esquema para Popper las teorías son sistemas deductivos, es decir, conjuntos que relacionan diversas proposiciones de orden inferior que derivan del superior y, cuando una específica se refiere a un fenómeno por explicar, se deduce lógicamente de otras generales que constituyen una Teoría, entonces se dice que esa proposición (el fenómeno) ha sido explicado por la teoría. Pero también explica que todas las teorías son meras hipótesis que pueden ser rechazadas en algún momento, sin embargo eso no indica que hay que abandonar la búsqueda de la verdad (Briones: 1996:51).

Los Fundamentos Teóricos de este enfoque filosófico encuentran soporte en primer lugar en la **Epistemología**, o como Bunge define en la Filosofía de la Ciencia entendida como la rama de la Filosofía que estudia la investigación científica y cuyo producto es el conocimiento científico (1997:21).

La propuesta que en esta investigación se ofrece es acertada ya que refiere a un *Método*, que de acuerdo con Bunge, consiste en un procedimiento regular, explícito y repetible para lograr algo, sea material o conceptual (1997:34); características que con las bases teóricas y de implementación se cumplen a cabalidad en la Metodología Alométrica.

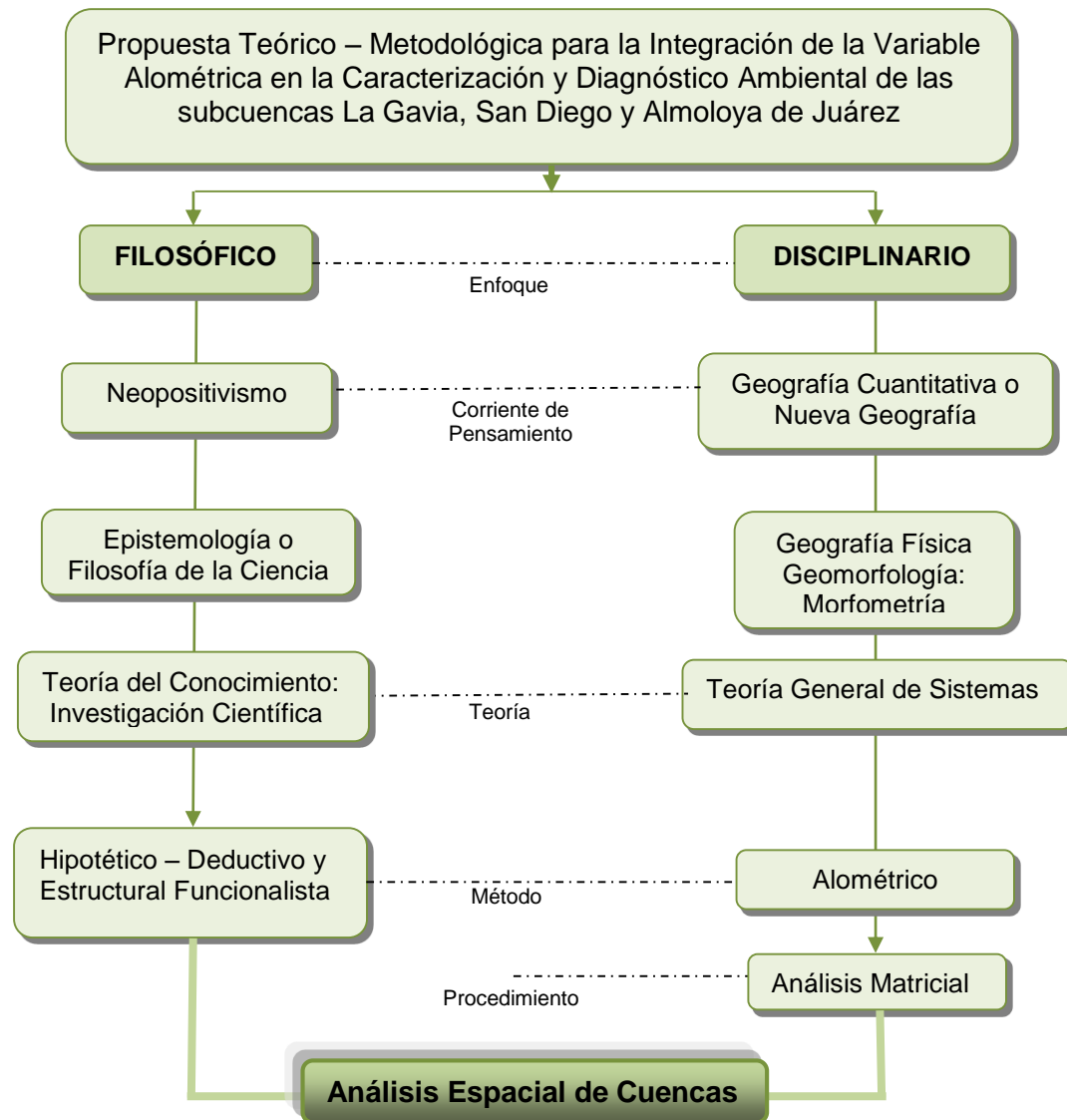


Figura 1: Modelo explicativo.
 Elaboración propia.

A este respecto la Propuesta de la aplicación de la Teoría Alométrica para estudios geográficos cumple con estas especificaciones, ya que está utilizando con una aplicación a un objeto de estudio diferente al planteado originalmente, de esta forma tanto la Teoría y Método, se aplica a la caracterización y diagnóstico ambiental de cuencas, lo que a su vez permite la generación de escenarios de predicción de la zona de estudio.

Una concepción más del término Epistemología es la que Briones define como el análisis del conocimiento científico que analiza los supuestos filosóficos de las ciencias, su objeto de estudio, los valores implicados en la creación del conocimiento, la estructura lógica de sus teorías, los métodos empleados en la investigación y en la explicación o interpretación de sus resultados y la confirmabilidad y refutabilidad de sus teorías (Briones, 1996: 13).

La epistemología mantiene como objeto de estudio: la ciencia, fundamento lógico del método científico universal, que como Bunge sustenta, es la manera de hacer buena ciencia, de conducir

investigaciones científicas en las que no hay métodos (reglas) para inventar reglas (métodos), pero sí, una estrategia de la investigación científica (1997: 49); aspecto que puede corroborarse para este proyecto en el Modelo teórico explicativo mostrado en la figura 1.

Por otra parte en el enfoque actual de la epistemología y derivado del método científico como disciplina filosófica se aborda la **Teoría del Conocimiento** Científico, que se caracteriza por su método, el cual nos lleva a planteamos problemas científicos y de investigación, a formular hipótesis y mecanismos para su verificación (Tamayo, 2003: 19).

De acuerdo con Tamayo la Epistemología se divide en dos grandes ramas: la Teoría del Conocimiento Científico y Filosófico, y para Piaget citado por Tamayo: la Epistemología se deriva en tres secciones: la metafísica, paracientífica y científica, de estas, la última nace de la reflexión sobre las ciencias; explican el conocimiento científico y sus problemas internos tienden hacia una especialización del conocimiento antes que una generalización de una teoría (2003: 20).

A este respecto, se aprecia una relación tanto en lo que menciona Tamayo sobre el logro de la especialización científica en algún área del conocimiento y, uno de los objetivos de los programas de maestría, que es el dominio y destreza de los aspectos teóricos y metodológicos de alguna disciplina en particular, por ejemplo el tema de Alometría en la disciplina de la Geomorfología y Geografía.

En el caso de Johan Hessen, expresa que La Teoría del Conocimiento es un recorrido por el abrupto terreno de la “gnoseología”, término que se compone de dos raíces griegas gnosis (conocimiento) y logos (estudio), así que se trata del pensamiento que se estudia así mismo para descubrir y desarrollar los “modelos mentales” que nos sirven para conocer las cosas de la realidad (2007: 13).

En un breve recorrido por la consolidación de La Teoría del Conocimiento, se le encuentra por primera vez como una disciplina independiente en la edad Moderna con el filósofo John Locke (1660), quien trata de una manera sistemática acerca del origen, la esencia y la certeza del conocimiento humano, posteriormente a Leibnitz (1703) que intento refutar a Locke; y finalmente Emanuel Kant (1781) que con la obra la Critica de la razón pura se convierte en el principal fundador de esta Teoría (Hessen, 2007:33-34).

Por lo tanto la Teoría del Conocimiento se comprende como una explicación e interpretación filosófica del conocimiento humano en cualquiera de las disciplinas científicas que se desarrolle.

Haciendo referencia a los tipos de metodologías científicas y epistemológicas Tamayo hace mención de algunos como el Formalizante (experiencia), Genético (histórico-crítico y psicogenético), el de Análisis Directo, que es inductivo - filosófico en los cuales se presentan problemas formales y materiales para constituirlos en Teoría General del Conocimiento y, finalmente el Método Científico, que se encuentra entre el conocimiento e investigación científica (2003: 21-22).

Es importante mencionar que el **Método Científico** aunque es independiente, no es infalible ni autosuficiente, es el que mejor se adecua a la generación de nuevas verdades, por lo que en la presente tesis se retoman algunos aspectos del método de Análisis directo en lo referente al aspecto

filosófico, pero en general se encuentra inmerso en el Método Científico, pues sigue todos los pasos que lo conforman hasta llegar a su validación.

Otro aspecto importante a considerar es el que tiene que ver con el aspecto filosófico dentro de la Geografía, ciencia que se origina desde que el hombre aparece y establece una estrecha relación con el entorno. Es definida como el estudio de las causas de las interrelaciones físicas, biológicas y humanas que se dan sobre la superficie terrestre y la modifican; se ha dividido en cuatro grandes enfoques: Geografía Física, Humana, Regional y Cartografía temática (Velázquez, 2010:19-20).

Una concepción más completa es la que presenta Harvey cuando afirma que la filosofía de la Geografía se encarga de indagar en lo especulativo, con los consiguientes juicios de valor y debate interno de lo que es o no digno de estudio, mientras que la metodología de la Geografía atiende principalmente a la lógica de la explicación asegurándose de que los argumentos sean rigurosos, deducciones razonables y métodos de coherencia interna (Harvey, 1969:30).

En este contexto de la **Metodología de la Investigación Geográfica** se desprenden cuatro grandes principios, que de acuerdo con Velázquez (2010: 33), son los siguientes:

- Distribución o extensión: localización, duración
- Causalidad: causas que lo producen
- Relación: entre lo físico, biológico y social
- Evolución: transformación por factores y agentes internos y externos.

La evolución de la Ciencia Geográfica ha registrado cambios a través del tiempo y conforme adquiere mayores áreas de conocimiento se vuelve más holística por lo que requirió una clasificación de los estudios que de esta derivan, resultando los relativos a la 'Historia de la Ciencia Social', como aquellos en los que está implícito el relato histórico y son de carácter externalista. Y los referentes a la 'Epistemología de la Geografía' son internalistas y comprenden las temáticas de cómo se produce el conocimiento geográfico; y es en esta última que se desarrolla la Propuesta Teórico – Metodológica para la temática Alométrica.

Entre estos cambios del saber geográfico y la fundación de la Geografía Ortega explica que la metodología define la ciencia y el método representa el rasgo distintivo de los nuevos enfoques, cita además de W. Bunge, por el hecho de subrayar la relación metodológica del conocimiento geográfico: lo regional como descripción de hechos, lo sistemático como teoría sobre estos hechos, la cartografía y matemáticas, como lenguaje lógico de la ciencia Geográfica, de acuerdo con las formulaciones del Positivismo Lógico (2000:273).

Por otra parte tomando en cuenta la perspectiva filosófica, el tipo de investigación que se desarrolló en esta tesis corresponde al '*Análisis Espacial*', que de acuerdo con los paradigmas de investigación estudia el espacio abstracto.

Esto es así ya que de acuerdo con la acepción del espacio geográfico el análisis se divide en:

- **Análisis Geográfico:** referente a elementos cualitativos y aplicado más a estudios sociales, tiene que ver con lo tradicional y descriptivo.
- **Análisis Espacial:** centrado en el estudio, de manera separada, de los componentes del espacio, definiendo sus elementos constitutivos y la manera como éstos se comportan bajo ciertas condiciones, y haciendo uso de herramientas técnicas que, sólo pueden dar respuesta a una parte de la dinámica del espacio. Se refiere conjunto de procedimientos de estudio de los datos geográficos, en los que se considera de alguna manera, sus características espaciales (Madrid y Ortiz, s/a: 1).

Desde el enfoque filosófico el método que se retoma en primer lugar el **estructural - funcionalista**, que de acuerdo con E. J. Arnoletto (2007: 72), el método Estructural – Funcionalista comprende también un soporte importante para el desarrollo de esta investigación, entendiendo al estructuralismo como una corriente de pensamiento de origen europeo con Alfred Reginald Radcliffe-Brown (1881-1955) y Claude Lévi-Strauss (n. 1908). Lo estructural no se reduce únicamente a la noción de 'estructura', tampoco es cuestión de buscar un código que 'traduzca' lo que un elemento significa y explique cuál es su sentido más allá de su apariencia externa; sino de comprender que ese sentido es conferido por un 'juego estructural', donde se aprecian relaciones del elemento con otros en el interior de una estructura, y por los factores definidores de tales reducciones.

Aunque algunos autores difieren respecto al concepto estructura, todos son complementarios pues refieren a estructura como la representación mental de un todo, especialmente cuando se le vincula al funcionalismo, por ejemplo Lévi-Strauss lo define como una forma primaria del estructuralismo. El funcionalismo por su parte es una corriente de pensamiento cuyo origen europeo es desarrollado en Estados Unidos, se relaciona en su génesis con Emilio Durkheim (1858-1917), su hipótesis se resumen como: Las actividades parciales de los elementos contribuyen a la actividad total del sistema del que forma parte (Arnoletto, E., 2007:73).

El funcionalismo esta asociado con 'función' con implicaciones como: interdependencia, conjunto de procesos dentro de un sistema, procesos internos de mantenimiento vital de los organismos, consecuencias que un elemento para el sistema, entre otros de cuerdo con Ernest Nagel, de esta forma aunque el estructuralismo y funcionalismo tuvieron orígenes distintos y con algunas polémicas, terminaron por converger vinculándose con el enfoque sistémico, el cual actualmente hace alusión a un enfoque de síntesis: estructural-funcional-sistémico (Arnoletto, E., 2007:73, 76).

Por otra parte el método **Hipotético- Deductivo** también se ajusta desde perfecto a la propuesta realizada en esta investigación, ya que se trata de un método que parte de un supuesto demostrable para después descomponerlo en sus variables. De acuerdo con Hurtado y Toro (2007), este método llega a un conjunto de postulados (hipótesis) que supuestamente rigen el fenómeno en cuestión; de estos se "deducen" consecuencias observables (deducción) que después se verifica mediante experimentos para confirmar o refutar los postulados.

➤ **b) Enfoque Disciplinario**

Desde el enfoque disciplinario la Propuesta presentada se realiza desde la **Ciencia Geográfica**, que como ciencia humana nace a finales del siglo XIX, y definida por Buzai (2005:32) como la relación

entre el hombre y el medio (visión ecológica), y como la diferenciación de áreas sobre la superficie terrestre (visión corológica). En este sentido Ovidio Delgado cita que el objeto de estudio de la Geografía es el espacio terrestre (2003:26).

La construcción de la Geografía como disciplina moderna se ha consolidado en los últimos siglos, dando mayor atención al marco filosófico, teórico y sociológico del Conocimiento Geográfico, entre el cual se encuentran las formas del relieve, lo regional, sistémico, cartográfico y matemático, como lenguaje lógico, de acuerdo con las formulaciones del Positivismo lógico (Ortega, 2000:20, 273).

A mediados del siglo XX la Geografía entro en una etapa de cambio Paradigmático, surgiendo así lo que Delgado llama la 'Ciencia Espacial, Geografía Cuantitativa o Nueva Geografía' (2003:33); en un intento por reconstruir la temática regional, basada en modelos que simplifiquen la realidad y faciliten el entendimiento.

Este cambio implicó asumir el espacio como elemento articulador de la disciplina y objeto mismo de teorización – el autor antes citado muestra que – la idea del paradigma es la representación a partir de teorías, leyes y modelos generales.

Los fundamentos epistemológicos para la construcción de la **Geografía Cuantitativa** se retomaron del Positivismo Lógico, también llamado empirismo lógico o neopositivismo, sin embargo, como menciona Barnes (2001), citado por Delgado, en un principio no se percibió el vínculo entre el nuevo paradigma y el neopositivismo; con todo, reconocía que debía mantener la unidad con la ciencia, expresada en el método científico: hipotético-deductivo de Popper (1934), (2003:34-35).

La Nueva Geografía de acuerdo con Buzai se basa en algunos fundamentos, entre los que destacan que el abordaje geográfico es netamente *espacial*, donde la región se construye, y el espacio se define a través de métodos matemáticos, que buscan la construcción de modelos.

Asimismo se acepta que la Geografía no es excepcional, sino que la funcionalidad está en las capacidades interdisciplinarias, y finalmente se obtiene un mayor nivel de objetividad (2005:33).

A este respecto y de acuerdo con Delgado, antes citado, se entienden como tipos de espacios, el Abstracto: isotrópico e independiente de cualquier referencia a la superficie terrestre que permite elaborar modelos idealizados de estructuras y organización. Y el Concreto, que corresponde a la actual superficie de la Tierra con toda variedad y diferenciación del mundo real (2003:66); es en este último que se ubica la presente Propuesta.

Por otra parte la **Geografía Física** forma parte de una de las grandes ramas de la Geografía, es definida por Strahler como el estudio y unificación de un cierto número de ciencias de la Tierra, que nos permiten penetrar de una manera general en la naturaleza del medio que rodea al hombre; en esta rama de la Geografía se incluyen primordialmente las influencias ambientales que varían de un lugar a otro en la superficie terrestre (1982: 1).

Entre las más importantes, de acuerdo al autor antes mencionado, se encuentra la Geodesia, Astronomía, Meteorología, Climatología, Pedología, Botánica, Oceanografía, Geología, Cartografía, Hidrología y **Geomorfología**; es en estas dos últimas que se desarrollará la Propuesta de

integración de la Alometría al análisis de cuencas, con el apoyo de la Cartografía para la representación espacial de los sistemas fluviales superficiales.

Para Strahler la Geomorfología trata del origen y desarrollo sistemáticos de todos los tipos de relieve (1982:2), mientras que para Derruau, incluye todo el estudio de las formas del relieve, la descripción y explicación del relieve, evolución del mismo y estudio de los procesos de modelado (1996: 17).

La Geomorfología requería pasar de la simple descripción a la cuantificación, para lo cual retomo métodos de otras áreas científicas, fundamentalmente de la Física. De esta forma surge la Geomorfología Cuantitativa con pioneros como Horton, Strahler y Schumm. Uno de los procesos que mayor desarrollo presento fue el fluvial, con autores como Gilbert, Leopold, entre otros, además de la propuesta de modelos que transformaran valores numéricos en datos prácticos (Gutiérrez, 2008: 9,10).

Dentro del aspecto cuantitativo de la Geomorfología, se desarrollan estudios de tipos Morfológicos, referentes a la forma y estructura del *Sistema fluvial*; y los **Morfométricos**, que de acuerdo con Sánchez, consisten en la medición y análisis matemático de la configuración y dimensiones de las geoformas, en este caso, de la cuenca y que también se denominan Geomorfométricos (1987: 84).

Para comprender la Morfometría fluvial es necesario conceptualizar el término de '**cuenca**' como el área natural en la cual el agua se desaloja a través de un sinnúmero de corrientes, cuyos caudales son recogidos por un colector común, que sirve de eje a la zona (Heano, 2006: 31); o cómo Gutiérrez define, la entidad bien definida topográfica e hidrológicamente y que se considera como una unidad geomorfológica fundamental (2008: 279).

Por lo tanto – el mismo autor refiere que – se hace necesario estudiar la configuración de la cuenca fluvial para conocer su morfología y las relaciones proceso-forma, exprésalo cuantitativamente para lo cual se han propuesto numerosos métodos, en este trabajo solo se manejaran los referentes a la escorrentía superficial, más importantes que permitirán caracterizar y diagnosticar a las Cuencas de La Gavia, San diego y Almoloya.

En relación a los principales parámetros morfométricos a calcular en este trabajo, se entiende se obtienen a partir de las características físicas de la cuenca, las cuales desempeñan un papel esencial en el estudio y comportamiento de algunos de los componentes del ciclo hidrológico, tales como la evapotranspiración, infiltración y flujo superficial, entre otros (Franco, 2008:25).

Sin embargo en esta tesis sólo se desarrollan las características físicas, de las tres subcuencas seleccionadas, respecto a la hidrografía, es decir, únicamente escurrimientos superficiales. Dentro de estas características resaltan de acuerdo con Llamas, las concernientes a: la cuenca y al cauce o río principal (1993:70); aunque retomando a otros autores como Horton y Strahler también se toman en cuenta las características o parámetros relativos al drenaje en general de cada cuenca.

A este respecto se muestra en el siguiente cuadro los principales parámetros a calcular (ver cuadro 1):

AUTOR /TIPO DE PARÁMETRO	PARÁMETROS CUANTITATIVOS DEL DRENAJE DE LA CUENCA, CON FACTORES QUE CONTRIBUYEN EN EL ANÁLISIS ALOMÉTRICO		
	PARAMÉTRO	FÓRMULA	FUNCIONALIDAD (factores que contribuyen en el análisis alométrico)
Horton - Gradual	Orden de los cauces (n)	Después de trazar la red de drenaje se jerarquiza: 1° orden: carecen de tributarios, corresponde al <i>talweg</i> elemental el cual es base de la iniciación del escurrimiento concentrado. 2° orden: conjunción de dos segmentos de 1° orden. 3° orden: la unión de dos de 2° orden.	* Permite conocer el grado de desarrollo y modelamiento de la cuenca.
Horton - Lineal	Número de cauces (N_u)	Es la suma de segmentos por orden de drenaje. Se calcula por orden de drenaje, de acuerdo con la ley del Número de cauces cada orden inmediatamente superior debe presentar una progresión geométrica exponencial (p.e. $4^{\circ}=1, 3^{\circ}=3, 2^{\circ}=9, 1^{\circ}=27$).	* Debe representar una relación de incremento constante, y en la gráfica aunque los puntos no siempre forman una línea totalmente recta, la desviación deben ser mínima, corresponde a una línea de regresión. * Caracterizar la disección de la cuenca por órdenes de drenaje, así como la predominancia del tipo de procesos ocurridos en el sistema, edad y material.
Horton - Lineal	Longitud de cauces (L_u)	Es el valor en unidad de distancia por orden de drenaje. Se realiza por segmento y se suman todos los de primer orden; posteriormente todos los de segundo y así sucesivamente, por medio de un curvímetero, o de algún comando de software que mida longitud de segmentos.	* El cálculo de la longitud de los cauces por orden de drenaje, contribuye a la construcción de la matriz de datos de la cuenca, y los valores obtenidos sirven como insumos para otros parámetros de longitud.
Horton - Lineal	Longitud media acumulativa (\bar{L}_u)	Se realiza por orden de drenaje en Km, para el: 1° = $L_{u \text{ 1er orden}}$ 2° = $L_{u \text{ 1er orden}} + L_{u \text{ 2do orden}}$ 3° = $L_{u \text{ 2do orden}} + L_{u \text{ 3er orden}}$, y así sucesivamente	* Al relacionar \bar{L}_u con el número de orden, se obtiene una recta de regresión que corresponde a una función exponencial positiva. * En la representación gráfica
Horton - Lineal	Relación de Longitud (R_L)	Es la razón de incremento de longitud. Para el: 1° = <i>longitud total de todos los cauces de la cuenca / longitud de 1er orden.</i> 2° = <i>longitud total de la cuenca / longitud de 2do orden...</i> $R_L = \frac{L_u}{L_{u-1}}$ Y $\bar{L}_u = \frac{\sum L_u}{N_u}$	* Debe triplicarse aproximadamente cada vez que aumenta el orden de drenaje, en una cuenca de desarrollo ideal. * La R_L debe ser constante, las variaciones evidencian irregularidades en el sistema.
Horton - Lineal	Relación de bifurcación (R_b)	Proporción existente entre el número de segmentos de un orden dado y los del orden inmediato superior. $R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$ NOTA: el de 1° no tiene valor, para el 2° los números de segmentos de 1° / los de 2°, después el de 2° / los del 3°.	* Un buen valor representativo es 3 y 5, característico de torrencialidad. * También algunos autores afirman que el valor 7, es para cuencas alargadas y montañosas. * Valores de 10 o más hace referencia a cuencas muy alargadas en las que alternan afloramientos de rocas duras y blandas. (p.e. si $R_b = 3$, entonces el río principal es de 6° orden, y los segmentos 1,3,9,27,81,245)
Horton - No es una dimensión	Pendiente o gradiente (S_n) en ($^{\circ}$) o (%)	Razón entre el desnivel vertical y la distancia horizontal, medidos desde el extremo superior al inferior de un único segmento de cauce de un orden dado. $S = \frac{\text{altura media}}{L_u \text{ en km}}$ $\text{altura media} = \frac{\text{altura máxima}}{\text{altura mínima}}$	* Identificación de unidades geomorfológicas, escalonamientos, rupturas, erosión → Procesos de denudativos y acumulativos en % = distancia en vertical / distancia en horizontal x 100 en $^{\circ}$ = tang. (pendiente en % / 100)
Strahler - Superficial	Área por orden de drenaje (\bar{A}_u)	De forma manual y teniendo las divisorias por el método de Strahler, de acuerdo a los interfluvios en formas triangulares o trapezoidales, se calcula el área con papel milimetrado, o un planímetro; o bien con la ayuda de un software.	* Configuración de drenaje, control estructural de relieve y desarrollo relativo de la cuenca, fases de equilibrio dinámico perfecto.

Cuadro 1: Parámetros cuantitativos del drenaje de la cuenca, con factores que contribuyen en el análisis alométrico
Elaboración propia con base en Strahler, 1952: 521-538; Heano, 2006: 70; Hernández, 2007: 76-79.

PARÁMETROS CUANTITATIVOS DE LA CUENCA EN GENERAL Y RÍO PRINCIPAL, CON FACTORES QUE CONTRIBUYEN EN EL ANÁLISIS ALOMÉTRICO			
AUTOR /TIPO DE PARÁMETRO	PARAMÉTRO	FÓRMULA	FUNCIONALIDAD o RESULTADOS (factores que contribuyen en el análisis alométrico)
Strahler	Longitud de río principal	Es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento en línea recta entre las extremidades, la cual se obtiene a partir de la obtención de la coordenadas de sus extremidades (X ₁ , Y ₁ / X ₂ , Y ₂) mediante el Teorema de Pitágoras: $\sqrt{(X_n - X_1)^2 + (Y_n - Y_1)^2}$	* Fase de desarrollo de la cuenca.
Strahler	Curva hipsográfica y elevación	La curva es hipsométrica es retrato de elevación, expresada en porcentaje de superficie. $R_h = S_s / S_t$ R _h =Relación hipsométrico Superficie superior sobre la curva Superficie inferior en la curva Si A _j es la superficie entre dos curvas de nivel, h _m la elevación media entre ambas curvas, la elevación media de la cuenca: $h_m = \frac{\sum A_j}{A}$ A = Superficie total de la cuenca	* Son datos esenciales para estudios de temperatura y precipitación. * La R _h debe ser igual a 1, en una cuenca en equilibrio morfológico. * La curva hipsométrica refleja el estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca: 1) la superior: gran potencial erosivo 2) la intermedia: cuenca en equilibrio 3) la inferior: típica de cuenca sedimentaria * La curva también se asocia a procesos tectónicos.
Strahler	Pendiente media de la cuenca	Cociente entre la diferencia de la elevación máxima H, media entre el punto más alto del límite de la cuenca y la desembocadura del río principal, y la mitad del perímetro de la cuenca. $I_m = 2H / P$ H = diferencia de cota P = perímetro O bien: $S = \frac{\Delta h L_{cn}}{A}$ S = pendiente media de la cuenca Δh = equidistancia entre curvas de nivel L _{cn} = longitud de todas las curvas de nivel A = área total de la cuenca	* Influye o no en que una lámina de agua se mantenga más o, menos tiempo sobre el terreno. Indirectamente se relaciona con la velocidad del flujo de agua y por lo tanto en el tiempo de respuesta de la cuenca. *Contribuye en la orientación de la cuenca.
Strahler	Área de la cuenca	Superficie calculada planimétricamente a partir de la delimitación en mapas topográficos a partir de la delimitación en mapas topográficos desde una perspectiva ortogonal y calculada por métodos manuales o a través de un SIG.	*Regula la intensidad de los procesos hidrológico: caudal, volumen de precipitación.
Strahler	Perímetro	Longitud de su límite exterior, su magnitud depende de la superficie y de la forma de la cuenca: $P = k A^n R_f^m$ A = superficie de la cuenca R _f = es el factor de la forma K, n, m = coeficientes cuyos valores medios son respectivamente 4, 0.5 y -0.5	* Tiene que ver con la forma de la cuenca y en función de esta su grado de desarrollo.

Horton 1932 - De Forma	Factor de forma	Es el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima. $R_f = \frac{A}{L_m^2}$ L_m = distancia entre el exutorio y el punto más alejado de la cuenca siguiendo el cauce del río principal. ó Factor forma = ancho promedio / longitud axial	*Un valor menor a 0.5 indica que la cuenca es poco susceptible a las crecidas, lluvias intensas y simultáneas sobre una misma superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor.
Horton 1932 - De Forma	Coefficiente de compacidad	Relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie que la cuenca. $Kc = P / 2\pi R$ P = perímetro Pero $A = \pi R^2$ entonces $R = \sqrt{A}/\pi$ Finalmente: $Kc = \frac{P}{2\pi\sqrt{A}/\pi} = \frac{\sqrt{\pi}}{2\pi} \frac{P}{\sqrt{A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ A = superficie de la cuenca Segunda opción: $Kc = \frac{P}{2\pi/A}$	* El coeficiente es igual a 1 cuando la cuenca es perfectamente circular, aumento de peligrosidad por crecidas, el tiempo de concentración es menor. * Es igual a 1.128 en el caso de una cuenca cuadrada. * Puede alcanzar el valor 3 en cuencas muy alargadas. En la segunda opción: *de 1.0-1.25→forma de la cuenca redonda a oval-redonda *de 1.25-1.50→oval-redonda a oval-oblonga *de 1.50-1.75→oval-oblonga a rectangular-oblonga: el tiempo de concentración es mayor, retarda la acumulación de las aguas al paso del río por el punto de desagüe. Oblonga = poco susceptible a las crecidas por que su número se aleja de 1, que es cuando la cuenca es más peligrosa y tiende a la forma redonda.
Schumm 1956 - Forma	Radio de elongación	Relación entre el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie que la cuenca y la longitud máxima de la cuenca. $R_e = \frac{D}{L_m} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L_m}$ L_m = distancia entre el exutorio y el punto más alejado de la cuenca siguiendo el cauce del río principal. A = superficie de la cuenca D = diámetro	* Varía entre 1 para las cuencas llanas. * 0.6 para las de relieve marcado.
Miller 1953 - Forma	Radio de circularidad	Cociente entre el área de la cuenca y la del círculo cuya circunferencia es el perímetro de la cuenca. $R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2}$	* El valor para una cuenca circular es 1 * Para una cuenca cuadrada es 0.785
	Densidad de drenaje	Relación entre la longitud de los canales de flujo y la superficie de las cuencas, está en función de la litología, permeabilidad y cobertura vegetal. Se obtiene en Km ² $D = \frac{\sum L_k}{A_k}$ $\sum L_k$ = longitud total de todos los cauces, e todos los órdenes (km) A_k = superficie total de la cuenca (km)	* Refleja la dinámica de la cuenca, de la estabilidad de la red hidrográfica y del tipo de escorrentía de superficie. * Baja densidad: 3-4 Km ² , topografía de textura gruesa (litología resistente: granito, gneiss, arenisca, cuarcitas; erosión fluvial difícil, los de 1° orden son de gran tamaño). * Densidad media: 12-16 km ² , fase madura de erosión. * Alta densidad: 30 y 40 km ² , zonas altamente erosionables (presencia de badlands, zonas áridas y desprovistas de vegetación)
	Índice de alargamiento	$la = L/1$ L = longitud máxima de la cuenca 1 = ancho máximo (tomado perpendicularmente a la dirección anterior)	* Para un índice pequeño , la cuenca es poco alargada, y su formase asemeja a la de un cuadrado, su red de drenaje se presenta en forma de abanico, bien conformada en talwegs elementales, donde las confluencias pueden estar cerca una a otra, el tramo de la red de drenaje constituido por el colector principal es corto. * Si el índice elevado, la cuenca tiende a buscar una forma rectangular. A una red alargada le corresponde una red de afluentes cuya dirección y escurrimiento forma un ángulo pequeño con la red del río principal.

Cuadro 2: Parámetros cuantitativos de la cuenca en general y río principal, con factores que contribuyen en el análisis alométrico
Elaboración propia con base en Strahler, 1982: 521-538; J. Llamas, 1993: 65-93; Franco, 2008:67-74, Heano (2006: 57-77)

Se entiende como *talweg* → el canal natural formado por los puntos más profundos de un territorio, por el cual escurren las aguas.

Interfluvio → la superficie que se encuentra entre los talwegs, de cuencas sucesivas.

Vertientes → son las áreas receptoras de agua que se extienden a lado y lado del talweg

AUTOR	LEY	FORMULA	RESULTADOS DE APLICACIÓN (y factores que contribuyen en el análisis alométrico)
R. E. Horton	<i>Ley del número de cauces:</i> el orden de segmentos de órdenes sucesivamente inferiores de una cuenca dada tiende a formar una progresión geométrica que comienza con el único segmento de orden más elevado y crece según una relación constante de bifurcación.	$N_u = R_b^{(k-u)}$ N_u = número de cauces R_b = relación de bifurcación k = orden del cauce principal (cauce del orden mayor) u = orden del cauce	<ul style="list-style-type: none"> La relación entre órdenes y número de segmentos, sigue una progresión geométrica basada en un modelo matemático de función exponencial negativa. A mayor número y longitud de cauces, mayor densidad de disección, por lo tanto serán zonas con alto potencial erosivo (<i>badlands</i>).
R. E. Horton	<i>Ley de la longitud de cauces:</i> la longitud media acumulada de segmentos de cauce de órdenes sucesivos tiende a formar una progresión geométrica cuyo primer término es la longitud media de los segmentos de primer orden y tiene por razón una relación de longitud constante.	$L_u = L_1 R^{(u-1)}$ L_1 = longitud media de los segmentos de 1er orden, L_u = longitud media de todos los segmentos de cauce	<ul style="list-style-type: none"> A mayor longitud de cauces, mayor desarrollo de la cuenca y dependiendo del material mayor edad. El análisis de los valores de número y longitud de cauces permite: Inferir la predominancia de procesos endógenos o exógenos. Clasificación de estructuras con base en la antigüedad de las geoformas. Relacionar la debilidad estructural provocada por fallas o fracturas, así como la resistencia a la erosión de material en los estratos rocosos. Protección de zonas para recarga de acuíferos y zonas forestales.
R. E. Horton	<i>Ley del área o superficie media de las cuencas:</i> las superficies medias de las cuencas de los segmentos de cauce de órdenes sucesivos tienden a formar una progresión geométrica cuyo primer término es el área media de las cuencas de primer orden y tiene por razón una relación de incremento constante	$R_a = A_u / A_{u-1}$ R_a = relación del área o superficie A_u = área de los cauces $A_u = A_1 R^{(u-1)}$ A_1 = área media de las cuencas de 1er orden	<ul style="list-style-type: none"> El incremento del área de un orden de drenaje indica está en función del tiempo y debe ser constante. La superficie está directamente relacionada con el incremento del caudal de los cauces y su análisis resulta esencial para el diseño de estructuras hidráulicas, tales como presas, puentes y canales de riego, así como para la delimitación de zonas de inundación.
R. E. Horton	<i>Ley de los gradientes de los cauces de los ríos:</i> los gradientes medios de los segmentos de cauce de órdenes cada vez más elevados tienden a formar, en una misma cuenca, una progresión geométrica inversa que decrece de acuerdo con una relación de gradiente contante.	$S_u = S_1 R_s^{(u-1)}$ S_u = gradiente medio de cada orden S_1 = pendiente de orden 1 R_s = representa la relación de gradiente y se define como $R_s = [S_u / (S_{u-1})]$	<ul style="list-style-type: none"> La pendiente se relaciona con la disección de las paredes de los valles de los cauces. A mayor pendiente de las paredes de los valles, mayor caudal y aporte de derrubios groseros que pueden taponar el valle. A mayor edad de la cuenca, menor pendiente.
A. Strahler	<i>Ley de crecimiento alométrico:</i> la velocidad relativa de crecimiento de un órgano o elemento es una fracción constante de la velocidad relativa de crecimiento de todo individuo o sistema. Con respecto al desarrollo de un sistema de erosión fluvial, la red de drenaje durante el ciclo de erosión extenderá nuevos segmentos de cauce de primer orden en la parte más elevada del relieve por lo que los segmentos más antiguos irán adquiriendo valores más elevados.	$\bar{A}_u = a L_u^b$ a es una constante numérica b un exponente	<ul style="list-style-type: none"> Permite detectar áreas con similitud de procesos. Áreas o sistemas con un desarrollo anormal o anómalo en relación con el resto del sistema o macrosistema. La velocidad relativa de crecimiento.

Cuadro 3: Principales leyes de los sistemas fluviales.
Elaboración propia con base en Strahler, 1952:521-538

Entre los parámetros de la cuenca en general se encuentran los relativos a la forma de la cuenca, definidos como la configuración geométrica tal como está proyectada sobre un plano horizontal, que afecta directamente el tiempo de respuesta, es decir, el tiempo de recorrido de las aguas a través de la red de drenaje y, por consiguiente, el tipo de los hidrogramas.

Para determinar la forma de una cuenca, se han utilizado los índices de: coeficiente de compacidad, factor de forma, radio de elongación y radio de circularidad (Llamas, 1993: 73), tal como se aprecia en el cuadro 2.

En el cuadro 3 se muestran las principales Leyes de los sistemas Fluviales, entendidos como la correlación entre la constante: órdenes de drenaje; con las variables como número, longitud, gradientes y superficie de los cauces.

De acuerdo con los autores al correlacionar en la graficación cartesiana, deben obtenerse líneas rectas, que formen una progresión geométrica, en caso de desarrollo normal de la cuenca; y aunque queda claro que es solo un modelo y en la realidad el desarrollo de los sistemas fluviales no tiene un desarrollo perfecto, sí deberían aproximarse al comportamiento lineal mencionado.

Lo anterior es importante, sobre todo para la parte del análisis, ya que como menciona Sánchez, parte de la importancia de la Morfometría fluvial, radica en que a consecuencia del bagaje adquirido por las técnicas de cuantificación, podamos ser capaces de efectuar labores de predicción sobre el comportamiento de los sistemas fluviales antes las variaciones en el medio ambiente, por problemas ambientales, explotación del recurso y asentamientos inadecuados (1987: 84).

Ahora bien, debido a que la Cuenca hidrográfica se considera como un Sistema Fluvial, el principal sustento teórico de la investigación es la **Teoría General de Sistemas**, estructurada y diseñada por Bertalanffy desde 1947, y que no debe ser confundida con la Teoría clásica de los sistemas que se aplica directamente a las matemáticas clásicas, o sea al cálculo infinitesimal; ya que aun cuando considera sistemas abiertos y cerrados, con elementos y relaciones, no los estudia de forma conjunta (1968: 5, 18).

Por lo tanto la Teoría General de Sistemas afirma que las propiedades de los sistemas, no pueden ser descritos en términos de sus elementos separados; su comprensión se presenta cuando se estudian de forma global. Se fundamenta en la premisa de que los sistemas existen dentro de otro más grande, por consecuencia son sistemas abiertos funcionan dependiendo de su estructura.

Con el surgimiento de la Teoría General de Sistemas, específicamente en las áreas de las Matemáticas y Biología, se dio paso a un cambio paradigmático interdisciplinario, que la convirtió en una teoría de teorías; que pronto se convirtió en una herramienta fundamental en apoyo a numerosas disciplinas científicas, entre ellas la Geografía.

Un concepto sustancial dentro de esta teoría es el término '**Sistema**', el cual Mateo define como el conjunto de elementos interrelacionados, entre sí y con el medio circundante, que cumplen una función específica y están ordenados de forma jerárquica de acuerdo a su funcionalidad y complejidad, (2002: 42).

La dinámica y funcionalidad de un sistema en general, se describe en la Figura 2, en el que de forma esquemática se explica que en un sistema abierto siempre habrá entrada de energía, materia e información; las cuales sufren una transformación física o química, y además tienen la capacidad de retroalimentarse, así como de producir nuevos elementos (sinergia).

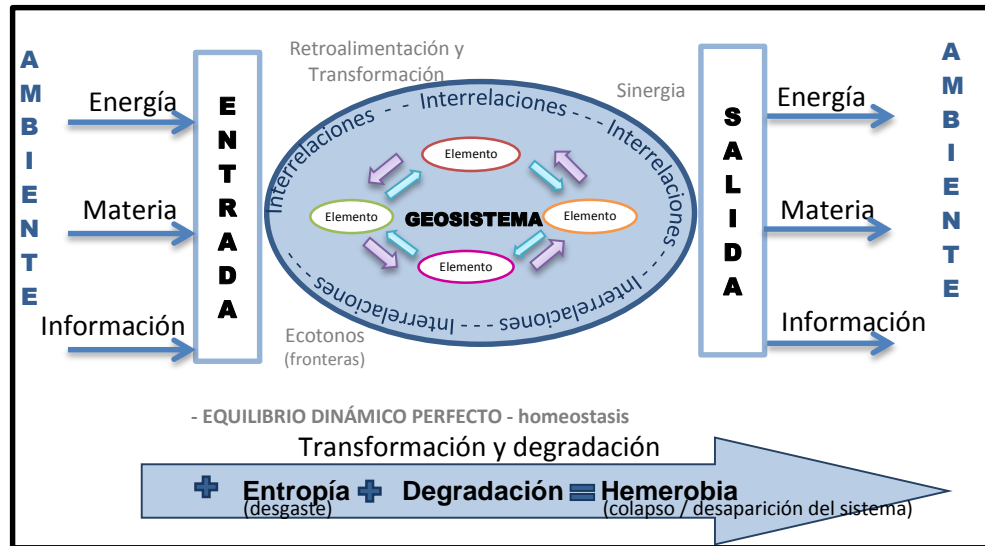


Figura 2: Esquema que explicativo de la dinámica de la Teoría General de Sistemas
 Elaboración Propia con base en Mateo (2002: 43-44).

De la misma forma que hay entradas, también hay salidas en el sistema a través de fronteras llamadas ecotonos. Por otra parte la materia sufre desgaste (entropía) en el proceso de entrada y salida; sin embargo el sistema tiene la capacidad de autorregularse y así lograr el equilibrio (homeostasis); pero cuando la capacidad de autorregulación es rebasada, entonces las propiedades generales del sistema tienden a desaparecer o colapsarse (hemerobia).

Es importante destacar que los elementos son la unidad mínima de un subsistema, el conjunto de estos a su vez forman sistemas y estos suprasistemas; en términos paralelos, cada subcuenca es un subsistema, entre los elementos más destacados se encuentra la red de drenaje, que en conjunto forman el sistema cuenca, y varias cuencas forman un suprasistema o una cuenca de mayores dimensiones.

Como método para el presente trabajo se retoma la Teoría y **Método Alométrico**. Strahler al referir a la morfometría de cuencas, señala que durante los últimos años, los geomorfólogos han vuelto los ojos hacia las ciencias biológicas y han adoptado de ellas un principio fundamental del crecimiento, que se conoce con el nombre de *Ley del Crecimiento Alométrico* (ver cuadro 3).

El origen y desarrollo de la 'Alometría' explica la razón por la cual en la presente investigación, se retoman las bases teóricas de las ciencias biológicas y matemáticas con una orientación Geográfica.

Es importante definir el término 'Alometría' para una mayor comprensión de la Propuesta presentada, a este respecto Kent le define como la:

'Relación entre el índice de crecimiento de una proporción ósea y otra parte del cuerpo. La relación puede describirse mediante *ecuaciones alométricas* que se emplean para comparar las capacidades atléticas y las funciones fisiológicas de personas de distinto tamaño. Según la ecuación alométrica de Huxley ($\log Y = a - b \log X$), por ejemplo, variables estructurales como la masa o la estatura suelen estar representados en la ecuación por X , mientras que Y representa una variable funcional, como la fuerza, la potencia aeróbica máxima u otra medición del rendimiento. El valor a representa la constante alométrica (unidad por crecimiento isométrico). Los valores b obtenidos se comparan a continuación con las expectativas teóricas (p. e., para un sistema geométrico donde el tamaño y la forma son constantes)', (2003: 37).

La definición que muestra Kent, muestra el cuerpo humano y los elementos que lo componen como un sistema, que de forma análoga, con el presente estudio podemos asemejar a una Cuenca Hidrográfica, con todos los elementos que la integran, sean estos de carácter físico o social.

Otra enunciación 'Alométrica' para las correlaciones de desarrollo morfológico afirma que:

El resultado de dichas correlaciones, consiste en un patrón evolutivo que resulta sorprendentemente conservativo. En la evolución de las especies el peso en función de la longitud x , cabría esperar una constante alométrica $b = 3$. Si y es una superficie (superficie pulmonar, superficie del intestino, etc.) y x una longitud (longitud del cuerpo), nos daría una constante alométrica $b = 2$. Las desviaciones respecto a esas constantes esperadas ponen de manifiesto cómo se han modificado las proporciones en el curso de la evolución (o del desarrollo del individuo) (Bachmann, 1978:351).

Por otra parte se afirma que aun cuando se producen cambios de tamaño o peso, estos han de mantener, en cierta medida, su proporción. Todo esto se expresa en lo que tanto Kent como Bachmann, así como otros autores manejan, que son las ecuaciones alométricas, entendidas estas, no como leyes biológicas sino como apoyo a la descripción de la zona u objeto estudiado; de igual forma se relacionan con los parámetros de medición que relaciona variables y constantes.

Fueron los autores responsables de acuñar el término "*Alometría*" como tal, en 1936; de forma conjunta publicaron en inglés y francés un artículo, en el cual estuvieron de acuerdo en utilizar este término con el fin de evitar confusiones en el campo del crecimiento relativo, también estuvieron de acuerdo en los símbolos que se utilizan en la forma algebraica de crecimiento alométrico: $y = b x^a$ (Gayon, 2000:1).

En la fórmula anterior:

y = la magnitud del diferencial de órganos en crecimiento;

x = el tamaño del cuerpo;

k = el diferencial constante crecimiento-relación, b , la constante (índice de origen)

b = constante

O bien, como Huxley dijo, la Ley de Potencia se puede expresar igualmente como una ecuación logarítmica: $\log Y = a - b \log X$

El artículo que publicaron era importante ya que en él se homogenizaron aspectos claves e imprescindibles para estudios alométricos, tales como el hecho de que tras la correlación por medio de una representación gráfica, debe obtenerse siempre una línea recta; y la integración de la herramienta matemática, que en conjunto facilitan la interpretación de resultados. Así como el hecho

de que el tratamiento de la Alometría pasó de ser análisis bivariado al uso extensivo de multivariantes de análisis (Gayón, 2000:10).

Por otra parte cabe destacar, que la Alometría fue importante en la Morfología, pero que se desarrolla a partir de los años 1950 y 1960 (Gayón, 2000:7), justo en la época que comienza el auge del desarrollo de la Geografía Cuantitativa, bajo la cual se desarrolla la presente Propuesta para la integración de la Alometría al análisis de cuencas.

Esta línea de investigación permitió clarificar además muchos términos, y clasificar los tipos de alometría en función de la temporalidad y objeto de estudio, tal como muestran los cuadros 4, 5 y 6.

Cuadro 4: Clasificación de la Alometría

Categoría	Tipo de Alometría	Descripción
Dinámica (Diacrónica) Cambios de un sistema a través del tiempo o en intervalos de tiempo	Ontogénica	Se refiere a la relación de crecimiento en los individuos
	Filogenética	Se refiere a la constante diferencial ratios de crecimiento en los linajes
Estática (Sincrónico) Cambios en un momento dado específico	Intraespecífica	Se refiere los individuos adultos de una especie o una población local (misma especie)
	Interespecífica	Se refiere al mismo tipo de fenómeno entre especies relacionadas (diferentes especies)

Elaboración propia en base a Gayón (2000:1-3).

Es importante resaltar que en los estudios de tipo dinámicos o diacrónicos se estudian los cambios en un sistema a través del tiempo o en intervalos de tiempo; mientras que los estáticos o sincrónicos, solo describen cambios en un momento dado.

De acuerdo con Gayón, al analizar el comportamiento de la 'b' en la ecuación alométrica, 'b', significa la generación de una nueva regresión de línea; pero cuestiona lo siguiente: ¿Cómo es que ciertas especies son capaces de trascender su curva alométrica, y saltar a otra?, ¿Significa esto que un cierto linaje podría cambiar de una curva alométrica a otra, a lo largo de una línea de pendiente 1? (2000:7). De forma analógica, con el sistema de cuencas hidrográficas esto sí puede ser posible, cuando por ejemplo, el sistema tiende al desgaste acelerado, y entonces se produce un daño en el plano vertical irreversible, y entonces el sistema es degradado por completo y pasa a formar un nuevo sistema, totalmente diferente al sistema original.

Cuadro 5: Tipo de crecimiento relativo

Tipo de crecimiento relativo	Descripción
Isogónico (Teissier)	Sigue el general del desarrollo del organismo. Se sustituye por el término de <u>isométrico</u> , en vez de inarmónico.
Heterogónico (Huxley)	Crecimiento que es especial o condicionado. Es el más común, refiere al crecimiento relativo individual; se sustituye por el término <u>Alometría</u> en 1935 en la literatura inglesa.

Elaboración propia con base en Gayón (2000:1-3, 7), citando de Pézard (1918:23).

Cuadro 6: Tipos de Alometría

Tipos de alometría	Descripción
Positiva	La proporción X/Y es mayor cuanto mayor es el tamaño corporal del individuo. Cuando $b > 1$, el elemento tiene un desarrollo relativo más rápido
Negativa	La proporción X/Y es menor cuanto mayor es el tamaño corporal del individuo (pero no significa necesariamente correlación negativa). Cuando $b < 1$ el elemento se desarrolla a menor velocidad que la variable de referencia

Elaboración propia en base a Hernández (2009:)

De acuerdo con el comportamiento espacial de la línea obtenida en la graficación cartesiana, es que se realiza la clasificación Alométrica en positiva o negativa, tal como se muestra en la Figura 3.

Esquema gráfico que muestra el comportamiento espacial lineal, del tipo de Alometría, crecimiento relativo, y el estado de equilibrio

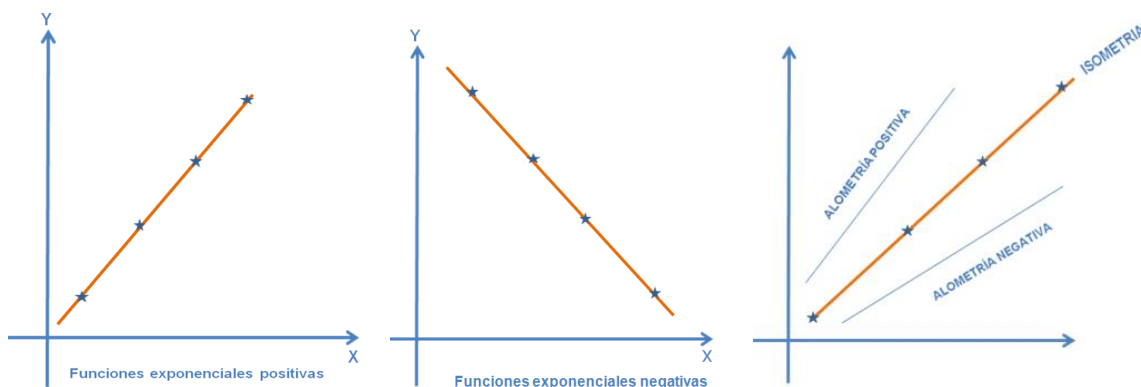


Figura 3: Esquema gráfico que muestra el comportamiento espacial lineal, del tipo de Alometría, crecimiento relativo, y el estado de equilibrio
 Retomado de Hernández (2009: 25-26)

En relación con la Figura 3, surge la importancia de definir **Isometría**, del término griego *iso* → igual y *métrico* → medida, por lo tanto se entiende como la ‘no alometría’, ‘ausencia de alometría’, o lo contrario a la alometría; cuando $b=1$, es decir, el elemento de referencia se desarrolla a la misma velocidad que la variable de referencia. Cuando $b < 1$ entonces es alometría negativa, y cuando $b > 1$ alometría positiva (Sánchez, s/d: 1).

Un referente más de la palabra alometría lo menciona Ballesteros al mencionar el origen que deriva de los vocablos griegos *allos* → diferente, otros; y *metron* → medida. Literalmente significa: de una medida diferente, es decir, crecimiento o desarrollo relativo de una parte de un organismo respecto al conjunto de éste; permite demostrar cómo un cambio pequeño en el crecimiento relativo de un órgano puede dar lugar a una importante modificación en el resto del organismo (2004: 57).

El ‘Principio de Alometría’ lo menciona Bertalanffy con la sencilla ecuación: $y = b x^a$, de la cual también menciona que si una variable ‘y’ es proyectada logarítmicamente frente a otra variable ‘x’ se obtiene una línea recta. Esta ecuación es la Ley más sencilla del crecimiento relativo (1968: 170).

Ahora bien, los conceptos presentados hasta aquí están más aproximados a la Biología, sin embargo, aunque la Alometría no se ha desarrollado de forma extensa en la Geografía, algunos destacados geógrafos han desarrollado este concepto, tal es el caso de Berry, quien retoma la 'Ley de Crecimiento Alométrico' para estudios urbanos (Murcia, 1978:2).

Christofolletti, por su parte al desarrollar la Geomorfología Fluvial refirió al estudio del equilibrio en la geometría hidráulica, y el enfoque de este bajo la perspectiva alométrica – mencionó que – la Alometría representa la transformación proporcional que ocurre en los elementos de un sistema cuando se relacionan el conjunto, o a los demás elementos, asimismo reconoció la variable tiempo para el tipo de análisis alométrico en dinámico o estático (1981: 2).

En el presente estudio las interrelaciones se llevarán a cabo con los parámetros morfométricos de las cuencas hidrográficas, y que son utilizados para realizar la descripción cuantitativa en primera instancia, de los valores obtenidos, para su posterior diagnóstico con valores cualitativos.

Este procedimiento de correlación de variables de la cuenca se lleva a cabo por medio de un **Análisis Matricial**, como herramienta que permite la representación gráfica cartesiana de la constante: órdenes de drenaje en el eje de las **X** y, las diferentes variables calculadas en el eje de las **Y**. El tipo de diagrama que se utiliza para la visualización de las variables es que está conformado en forma de 'L', pues permite la correlación de dos variables, permite además establecer las relaciones de causa – efecto, intensidad de los parámetros fluviales en relación a con la dinámica evolutiva de la cuenca.



Cuenca de recepción de San Diego

CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS SUBCUENCAS LA GAVIA, SAN DIEGO Y ALMOLOYA

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS SUBCUENCAS: LA GAVIA, SAN DIEGO, Y ALMOLOYA (DE JUÁREZ)

I. Ubicación de la zona de estudio

En este apartado el objetivo es dar una breve descripción que permita contextualizar el estado de los componentes principales de las tres Subcuencas hidrográficas seleccionadas: San Diego, La Gavia y Almoloya.

Las tres Subcuencas se ubican en el centro del Estado de México, dentro de los municipios de Zinacantepec, Villa Victoria y Almoloya de Juárez (ver Mapa Base, página 34), siendo este último, en el que mayor extensión de superficie se ubican las cuencas, tanto por el canal de desagüe como por el cono de eyección; en el caso de la exutoria de los tres sistemas fluviales, esta se encuentra en la Presa Ignacio Ramírez.

Otros rasgos que se destacan en el Mapa Base, es que a la izquierda de forma lineal se ubica la Presa Villa Victoria, mientras que a la derecha en ese mismo sentido se ubica la Presa Antonio Alzate.

Las isohipsas o curvas de nivel base para los procesos de cartografía y análisis se retomaron cada 10 metros para la carta E14A37, y para el resto a cada 20 metros, esto es porque el formato de la cartografía digital así presenta la equidistancia. Sin embargo, para efectos de presentación y estética en los mapas la equidistancia se muestra a cada 100 metros.

En términos de infraestructura, se presenta un mayor desarrollo urbano hacia el sureste, debido a la colindancia de las subcuencas con la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, que está extendiendo una sección de crecimiento y desarrollo hacia los municipios de Zinacantepec y Almoloya. En la sección norte y oeste por el tipo de relieve los asentamientos humanos son más dispersos.

Como vías de comunicación destacan las carreteras Federales: Toluca – Morelia con dirección E-W al sur del mapa; y Toluca – Palmillas – Atlacomulco con dirección S-N, y un libramiento de Toluca que corta las dos anteriores en dirección E-W.

En total el área de estudio de las subcuencas comprende 493.06 kilómetros cuadrados, esto es el 2.206 % de la superficie estatal, sin embargo, su importancia es mayor de lo que podría implicar este porcentaje.

Comenzando de derecha a izquierda, la Subcuenca Almoloya (de Juárez), es la de menor extensión territorial, con 95.03 km², mientras que la de San Diego comprende una extensión de 112.88 km², la subcuenca de La Gavia en extensión de superficie, es la más grande de los tres sistemas fluviales, cuenta con 285 km². En el caso de la Presa Ignacio Ramírez cuenta con una extensión de 6.46 km², y de acuerdo con el Plan de desarrollo municipal (2012: 55) una capacidad de 36.30 millones de m³ (aunque no está siendo ocupada al máximo).

En la caracterización de un espacio para su estudio, es imprescindible la cartografía, tal como afirma Delgado, es decir, que se pueda hacer un mapa susceptible a estudios geográficos y su distribución espacial pueda explicarse en relación con otras distribuciones espaciales de procesos asociados (2003: 36).

Por tal motivo se retoma la cartografía como herramienta de apoyo en la caracterización de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya (de Juárez), las características de esta cartografía se enuncian a continuación en la Figura 4:

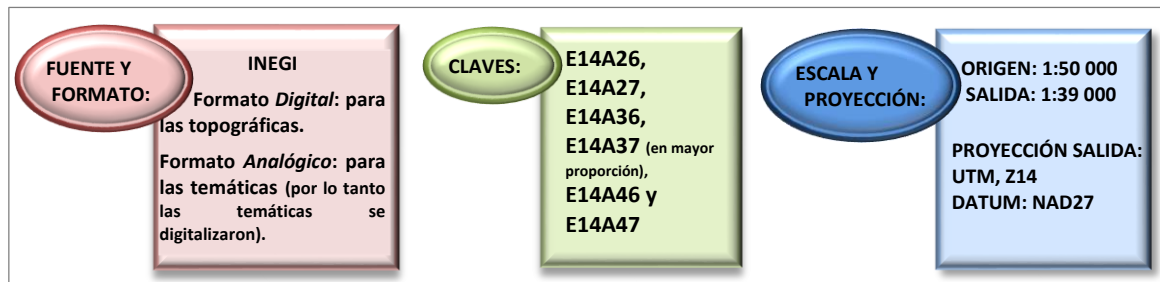


Figura 4: Características básicas de la cartografía utilizada en la caracterización de la Zona de estudio
 Elaboración propia.

La caracterización de las subcuencas se presenta de forma sistémica, tomando en consideración que cada subcuenca es un sistema (ver Figura 2, página 32), y que a ese sistema lo conforman diferentes subsistemas o elementos, de acuerdo con Bertalanffy (1968), en conjunción con la Teoría de los Geosistemas propuesta en 1978 por V. Sochava, en la que se define al Geosistema como: el sistema de elementos naturales localizado en el espacio (Baxendale, 20120: 5).

En este contexto las cuencas hidrográficas son un conjunto de sistemas naturales, entre estos y tomando como base la estructura vertical del paisaje, se encuentran en orden ascendente los mostrados en la Figura 5.

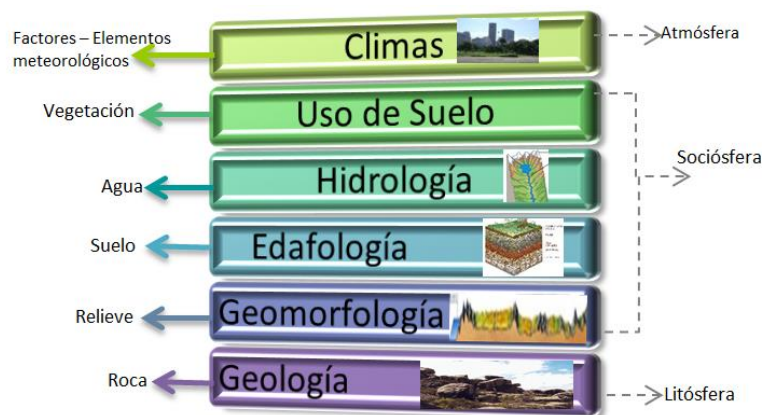
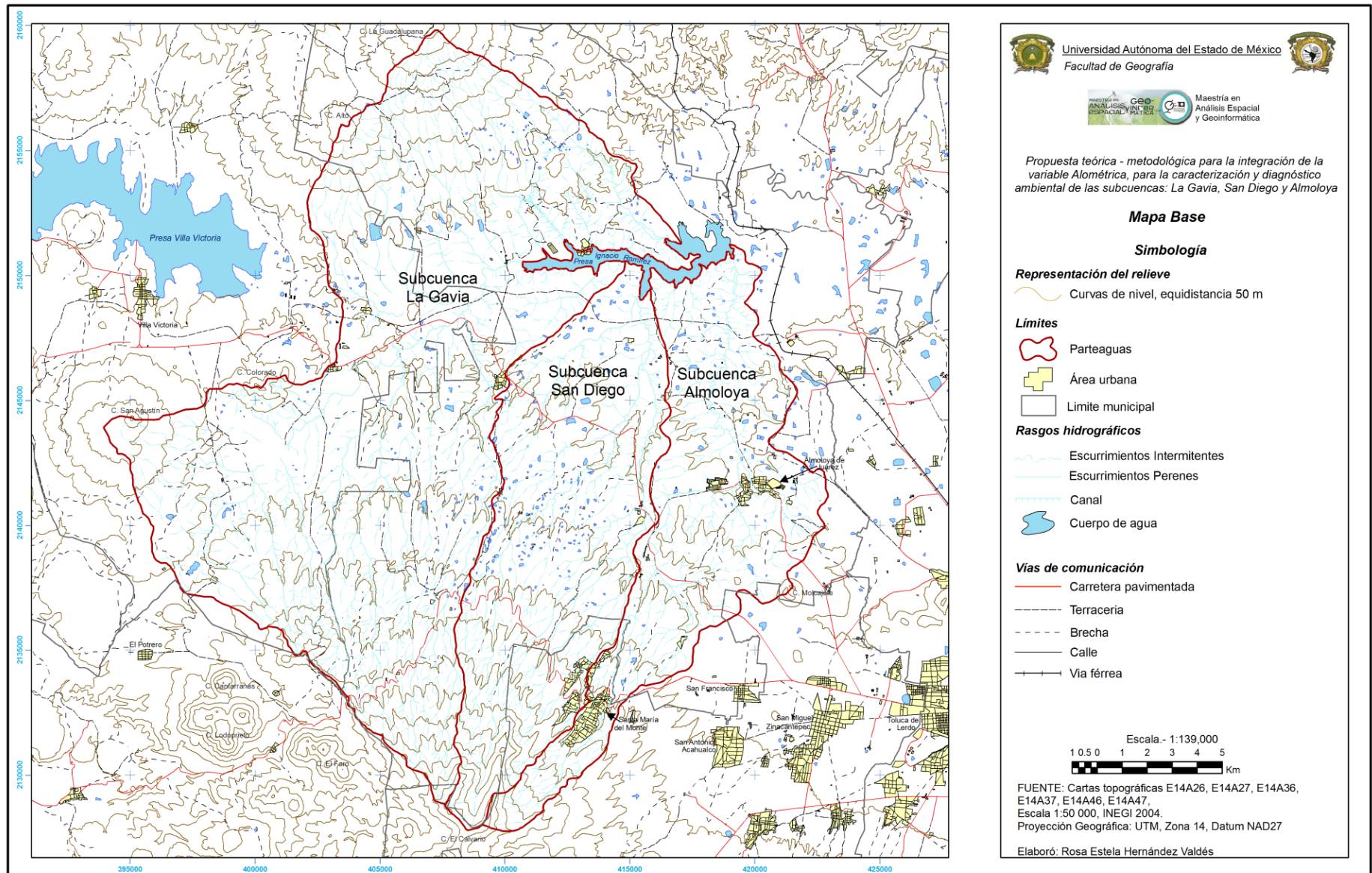


Figura 5: Estructura vertical de los sistemas naturales que conforman el Geosistema Cuenca Hidrográfica
 Elaboración propia.



Mapa base.

Acorde a lo mencionado, enseguida se presenta el primer sistema natural que compone a las tres subcuencas hidrográficas.

II. Caracterización del Sistema Geológico

a) Introducción

La geología de un espacio geográfico expone el origen (la unidad de tiempo es el millón de años) y evolución de los materiales que lo conforman, es la base para el análisis de procesos que en él se dan, ya sean de tipo endógeno o exógeno; como se trata del basamento litológico, condiciona la base del desarrollo sobre su superficie en conjunto con los factores ambientales.

De forma global y para un estudio más preciso, se ha dividido a la República Mexicana en Provincias Geológicas, estas son entendidas como: toda parte cartografiable de la superficie sólida del planeta, de centenares a millones de kilómetros cuadrados de extensión; caracterizada por sus rocas, estructura y secuencia de eventos tal que integre una historia evolutiva singular diferente a la de las áreas adyacentes, de las cuales está separada por límites estratigráficos, tectónicos o por ambos (PEMEX Exploración y Producción, 2010: 5, citando de Ortega, et.al, 1992).

En este caso de estudio, las tres subcuencas forman parte de la Provincia geológica: Faja Volcánica Transmexicana (Rodríguez y Morales, s/a: 47), mejor entendida como Eje o *Sistema Volcánico Transversal*, de acuerdo con el autor antes citado, esta provincia tiene sus orígenes en las épocas del Mioceno y Plioceno, del Neógeno en la era Cenozoica, hace unos 23.8 m.a., (Ver cuadro 7), y forma la cadena de volcanes más extensa de México (PEMEX, Exploración y Producción, 2010:15).

Esta provincia se trata de un sistema montañoso, aunque no del todo continuo, entre los paralelos 19 y 20 N, cabe mencionar que cada Provincia se subdivide en Subprovincias, que de acuerdo con el INEGI (2012^a) resultan de la primera subdivisión de estas, y cumplen con geoformas típicas de la provincia pero con frecuencia y magnitud variadas.

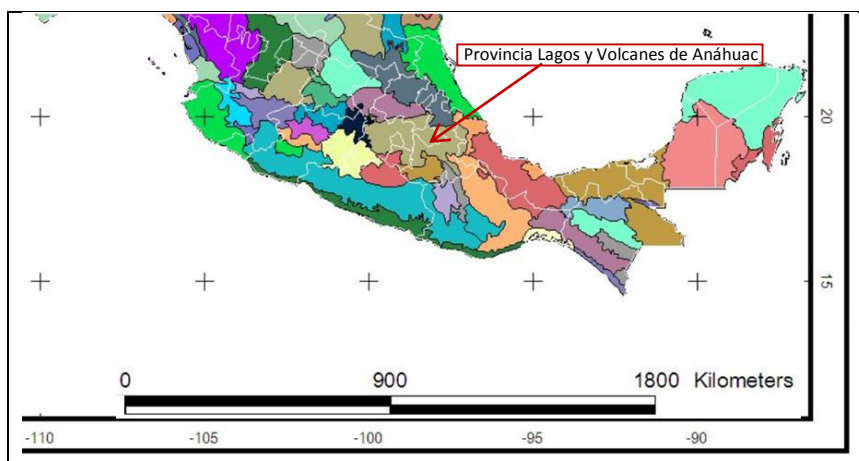


Figura 6: Provincia Lagos y Volcanes de Anáhuac.
 Retomado de Provincias fisiográficas de la República Mexicana. INEGI (1990).

De esta forma las tres subcuencas se ubican sobre la Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac de acuerdo con la Figura 6 referente a la Fisiografía del Estado de México del INEGI (2012^b)

Cuadro 7: Tiempo geológico, en el que se resalta el inicio de actividad de la provincia geológica que comprende las tres subcuencas de estudio

Edad (Ma)	Era	Período	Época	Eventos Geológicos	
0.01-0	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Erupción del Volcancillo	
0.01-1.8			Pleistoceno	Formación de los estratovolcanes Cofre de Perote y Pico de Orizaba	
5.3-1.8		Neógeno	Plioceno	Inicio del vulcanismo de la Faja Volcánica Transmexicana	
23.8-5.3			Mioceno		
33.7-23.8		Paleógeno	Oligoceno		Formación de la provincia ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental
54.8-33.7				Eoceno	Formación de la planicie costera del Golfo
65-54.8				Paleoceno	Orogenia Laramide. Formación de la Sierra Madre Oriental
144-65		Mesozoico	Cretácico		Formación de las plataformas marinas de Córdoba, Tampico-Misantla y San Luis Valles
206-144			Jurásico		
246-206			Triásico		Transgresiones marinas, formación de depósitos evaporíticos (yesos)
290-248	Paleozoico	Pérmico		Inicio de la separación de Pangea y apertura del Golfo de México	
354-290		Carbonífero		Orogenia Marathon-Wadita	
		Missisípico		Formación de Pangea	
443-417		Persilvánico			
		Devónico			
		Silúrico			
490-443	Ordovícico				
540-490	Cámbrico				
2500-540	Proterozoico				
4600-2500	Arqueozoico				

Retomado de Rodríguez y Morales s/d: 50.

Ya en materia, el tipo de geología se presenta en el Mapa de Geología de las subcuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya (ver página 42).

b) Procedimiento

Para el mapa Geológico se retomaron los polígonos de las cartas geológicas del INEGI, escala 1:50 000, en formato analógico, por lo que el procedimiento de este mapa consistió en la digitalización de los polígonos que conforman el área de estudio, esto debido a que no existe cartografía temática en formato digital en esta escala. Sin embargo, se conserva la clasificación y gama de colores. La digitalización se realizó en AutoCAD Map3D versión 10.0, mientras que la edición y cálculo de áreas se realizó en ArcMap 9.3.

En el mapa de Geología, para esta investigación se exponen los principales tipos de roca que conforman los tres geosistemas, en función de la clasificación que los geólogos hacen, al dividir a las rocas en tres grandes grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas (Tarbuck y Lutgens, 2010:1-25, cabe mencionar que la mayoría de las características de las rocas que a continuación se describen, se retoman de este autor)

- **Rocas Ígneas:** (de *ignis = fuego*) se forma conforme se enfría y se solidifica una roca fundida, se clasifican como Extrusivas o magmáticas o volcánicas e Intrusivas o Plutónicas. Las extrusivas se forman cuando un magma llega a la superficie terrestre y solidifica.

Las rocas de este tipo que presentan los geosistemas hidrográficos de estudio son los siguientes:

- **igea → Roca ígnea extrusiva ácida**

La principal característica de este tipo de roca, es que los magmas están compuestos por silicatos fundidos, en función de la cantidad de sílice (SiO_2), que contienen, existen magmas ácidos, ricos en sílice y gases muy viscosos que dan lugar a rocas claras. También son llamadas félsicas de composición granítica.

- **igei → Roca ígnea extrusiva intermedia**

Se trata de rocas que por su cantidad de silicatos se encuentra comprendida en clasificación entre las características de las rocas félsicas o ácidas y las máficas o básicas.

- **igeb → Roca ígnea extrusiva básica**

Rocas originadas por magmas básicos pobres en sílice y gases más fluidos, que originan rocas más oscuras. También son conocidas como máficas por su ausencia de cuarzo.

- **B → Basalto**

Roca de grano muy fino y coloración oscura, difundido en las coladas y corrientes de lava, de rápido enfriamiento, es la roca volcánica más conocida, es de color oscuro y pobre en sílice, se caracteriza por un bajo contenido en sílice y alto en minerales ferromagnésicos.

- **Bv → Brecha volcánica**

Roca compuesta de fragmentos rocosos angulosos englobados en una matriz de partículas más finas (I.E.S: s/a). Involucra transporte y agregación. Son muy similares a los conglomerados (rocas sedimentarias), pero que en vez de estar formadas por sedimentos erosionados, transportados y depositados por agentes externos, lo fueron en realidad por agentes geológicos internos.

- **Rocas Sedimentarias:** el término indica su naturaleza, de *sedimentum* = material sólido que se deposita a partir de un fluido, los restos meteorizados son barridos constantemente desde el lecho de la roca, transportados y depositados en las secciones de menor de pendiente (Tarbuck y Lutgens, 2010:162).

Las rocas de este tipo que presentan los geosistemas hidrográficos de estudio son los siguientes:

- **Ar-T → Arenisca – Toba:** La arenisca es sedimentaria y la Toba es ígnea extrusiva. La arenisca contiene granos formados por partículas de cuarzo más o menos redondeadas, feldespatos meteorizados y laminillas de mica. Esta formada por materiales de segunda mano, de fragmentos desgastados que proceden de la desintegración de alguna roca más antigua, (Holmes, 1971:48), por acumulación por eso es sedimentaria es permeable, detrítica.

En el caso de la toba, esta es una roca piroclásticas, compuesta por fragmentos expulsados durante una erupción volcánica, fundamentalmente de diminutos fragmentos de cenizas que se cementaron después de su caída (Tarbuck y Lutgens, 2010:111).

- **Suelos:** de regolito *rhegos* = manta y *lithos* = piedra; son definidos como la combinación de materia orgánica y mineral, agua y aire. Se entiende como la capa de roca y fragmentos minerales producidos por meteorización, la parte del regolito que soporta el crecimiento vegetal, (Tarbuck y Lutgens, 2010: G-261, 438). Los tipos de suelo que se incluyen en el mapa de Geología son los siguientes:

- **re → Residual**

El suelo residual se refiere al suelo que ha sido desarrollado directamente a partir de la meteorización del substrato de roca subyacente (2010:439), por lo tanto comprende los suelos que se han originado in situ, a partir de materiales propios; y que debido a diversos procesos han originado lomeríos y colinas bajas, su textura es de moderadamente fina a fina, muy superficiales, de topografía abrupta, con alto potencial erosivo.

- **al → Aluvial**

Refiere al suelo formado por depósitos de sedimentos no consolidados que se crean por las corrientes fluviales (Tarbuck y Lutgens, 2010: G-1)

c) Interpretación

Las anteriores descripciones de los tipos de roca, son los contenidos en los Geosistemas La Gavia, San Diego y Almoloya, como se ha mencionado corresponden a dos tipos de roca, la ígnea y sedimentaria.

La clasificación se aprecia de las zonas de mayor altitud en el norte, oeste y sur del mapa Geológico, con rocas ígneas, hacia las de menor altura en la parte central de mapa, con rocas sedimentarias, en dirección a la Presa Ignacio Ramírez. A continuación se presenta una descripción por zonas.

Sección inferior:

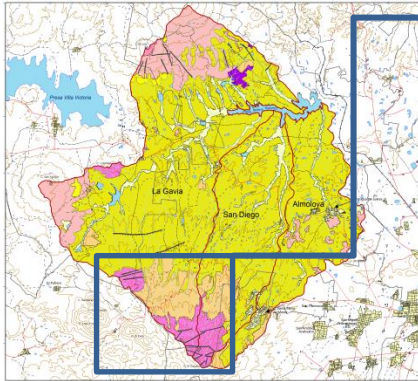


Imagen 1: Geología, sección inferior, para detalle ver Mapa Geológico.

En la sección inferior que se muestra en la imagen de la izquierda (imagen 1), resalta en la parte oeste rocas de tipo *ígneo intermedio* para los geosistemas La Gavia y San Diego, debido a la continuidad que se presenta por la cercanía con el Volcán Nevado de Toluca al sur de las cuencas de recepción de estos geosistemas, cerca del Cerro el Calvario.

Cada subcuenca presenta dos rumbos de echado de flujos, productos de la actividad volcánica, La Gavia al SW y San Diego al NE.

La *brecha volcánica* se presenta al norte en ambas cuencas, mientras que la subcuenca Almoloya presenta en esa sección menor variedad geológica, en la cuenca de recepción presenta un 4.29% del total de su extensión, como muestra el cuadro 5.

En el caso de la Gavia, es la subcuenca con mayor variedad, seguido del polígono de *Bv*, resalta una estructura nuevamente de ígnea intermedia al SE del Cerro Cantarranas.

Sección oeste:

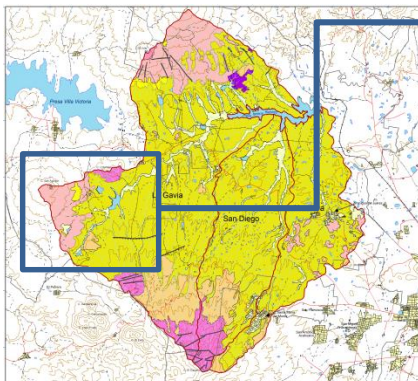


Imagen 2: Geología, sección oeste, para detalle ver Mapa Geológico.

En dirección W, solo se muestra a La Gavia con una estructura de cono volcánico ubicada en el Cerro San Agustín, de composición basáltica, con suelos de tipo *residual* y *aluvial* en su base, así como otro cono volcánico de menor extensión el E, la composición de este así como de un polígono referente a una colada al SE, es de *Bv*.

En el centro N de este cuadrante, se presenta en el límite del parteaguas un polígono de ígnea intermedia en el Cerro Colorado (ver imagen 2).

Sección norte:

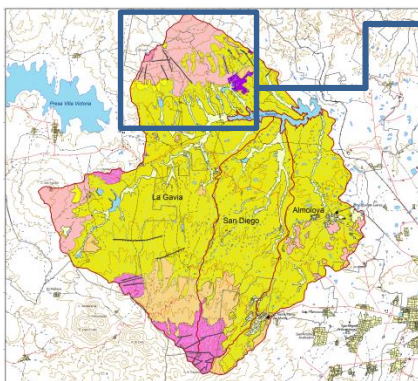


Imagen 3: Geología, sección norte, para detalle ver Mapa Geológico.

El cuadrante centro superior que muestra la imagen 3, expone en el Cerro El Alto un cono volcánico de ígnea extrusiva básica, en el límite de parteaguas, e inmerso en una gran estructura basáltica, por el tipo de geología volcánica que predomina en la zona de estudio.

Dentro de este polígono de *B*, se distribuyen polígonos de *Ar-T*, que acorde a la definición y al tipo de zona en que se ubica, se trata de rocas sedimentarias, pero no por meteorización química, sino por procesos de acumulación

de detritos de *Toba* principalmente, que es la roca antigua de estos polígonos, que han sido compactados y cementados por material procedente de la alteración en superficie de otras rocas, y que son transportados y depositados por agua, hielo y viento.

Hacia las partes más de menor altitud, se presentan polígonos de extensión mínima con suelo de tipo *residual*, mientras que al Este del cuadrante se presenta litología correspondiente a rocas ígneas de clasificación: extrusivas ácidas.

Sección este:

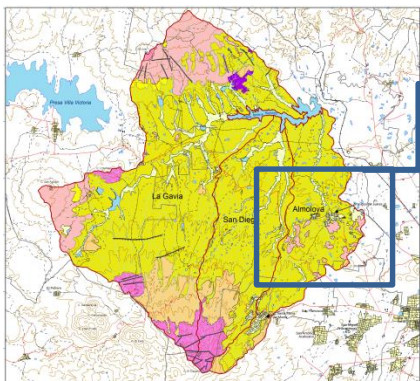


Imagen 4: Geología, sección este, para detalle ver Mapa Geológico.

La sección este (ver imagen 4), presenta en su mayoría geología de Almoloya, que es la que mayor extensión ocupa en este cuadrante. Comenzando por el Cerro Molcajete y en esa misma dirección al W del cerro se presenta otro polígono con la misma composición de *Bv*, que como se ha mencionado se trata de rocas piroclásticas procedentes de actividad volcánica.

En el centro del cuadrante por el tipo de relieve se presentan polígonos dispersos de *B*, que de acuerdo con el cuadro 5, corresponden a un 5.6% del área de la subcuenca, por lo tanto aunque son significativos, cartográficamente no son tan representativos.

Sección centro:

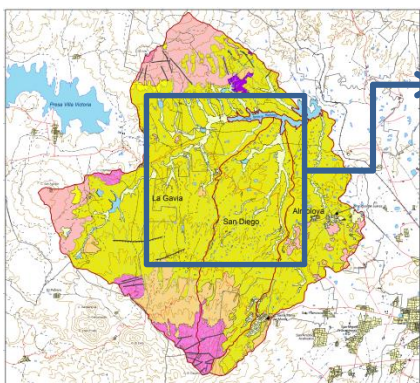


Imagen 5: Geología, sección oeste, para detalle ver Mapa Geológico.

En esta sección que puede apreciarse en la Imagen 5, se identifica que en los tres geosistemas lo que predomina en extensión superficial es ar-T, que se ha descrito líneas arriba, La Gavia presenta de esta clasificación el 63%, mientras que San Diego el 85% y Almoloya el 82% de sus respectivas superficies (ver cuadro 8).

Además se observa que en la Subcuenca San Diego se presentan en la sección centro del cuadrante la mayoría de los cueros de agua superficial, como bordos.

Como en esta sección centro, la altitud hipsométrica desciende de las partes altas de la cuenca, se trata de las cuencas de recepción y exutorias, en este sentido se presentan los polígonos de suelos de carácter aluvial, y aunque los suelos no son propiamente parte del basamento o geología de una región, si se consideran dentro del Mapa Geológico de las subcuencas, por dos razones: la primera, los polígonos base se retoman de INEGI, quien si considera suelos dentro de la geología; y en segundo lugar porque la formación de suelos forma parte del proceso del ciclo de las rocas, esencia de la formación y transformación de estas.

Cuadro 8: Geología de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km² y %

		SUBCUENCA HIDROGRÁFICA						TOTAL POR TIPO DE ROCA	
		LA GAVIA		SAN DIEGO		ALMOLOYA		TOTAL POR TIPO DE ROCA	
N.P	GEOLOGÍA	ÁREA EN km ² y %						Km ²	%
1	igea	2.085 km ²	0.73%	-	-	-	-	2.08593287	0.42
2	igei	13.36 km ²	4.68%	9.57 km ²	8.48%	-	-	22.93729215	4.65
3	igeb	0.62 km ²	0.21%	-	-	-	-	0.62326451	0.12
4	B	46.52 km ²	16.31%	-	-	5.38 km ²	5.66%	51.9103954	10.52
5	Bv	23.33 km ²	8.18%	11.62 km ²	10.30%	4.07 km ²	4.29%	39.04515255	7.91
6	ar-T	180.17 km ²	63.18%	84.879 km ²	75.19%	82.00 km ²	86.29%	347.0599697	70.38
7	re	3.30 km ²	1.16%	-	-	-	-	3.30842075	0.67
8	al	14.12 km ²	4.95%	6.49 km ²	5.75%	3.35 km ²	3.53%	23.98435992	4.86
9	C. Agua	1.60 km ²	0.56%	0.29 km ²	0.26%	0.20 km ²	0.21%	2.111937327	0.42
TOTAL CUENCA		285.150172 km ²	100%	112.880911 km ²	100%	95.03564 km ²	100%	493.0667252	100

Elaboración propia con base en el mapa de Geología, de digitalización propia, retomado de INEGI 1975 y 1980.

igea → Roca ígnea extrusiva ácida, igei → Roca ígnea extrusiva intermedia, igeb → Roca ígnea extrusiva básica
 B → basalto, Bv → brecha volcánica, ar-T → arenisca-Toba, re → suelo residual, al → suelo aluvial.

d) Procesos

El mapa de Geología de la región de estudio permite la detección de diferentes procesos presentes en el área, para esta temática y geosistemas se han detectado los siguientes:

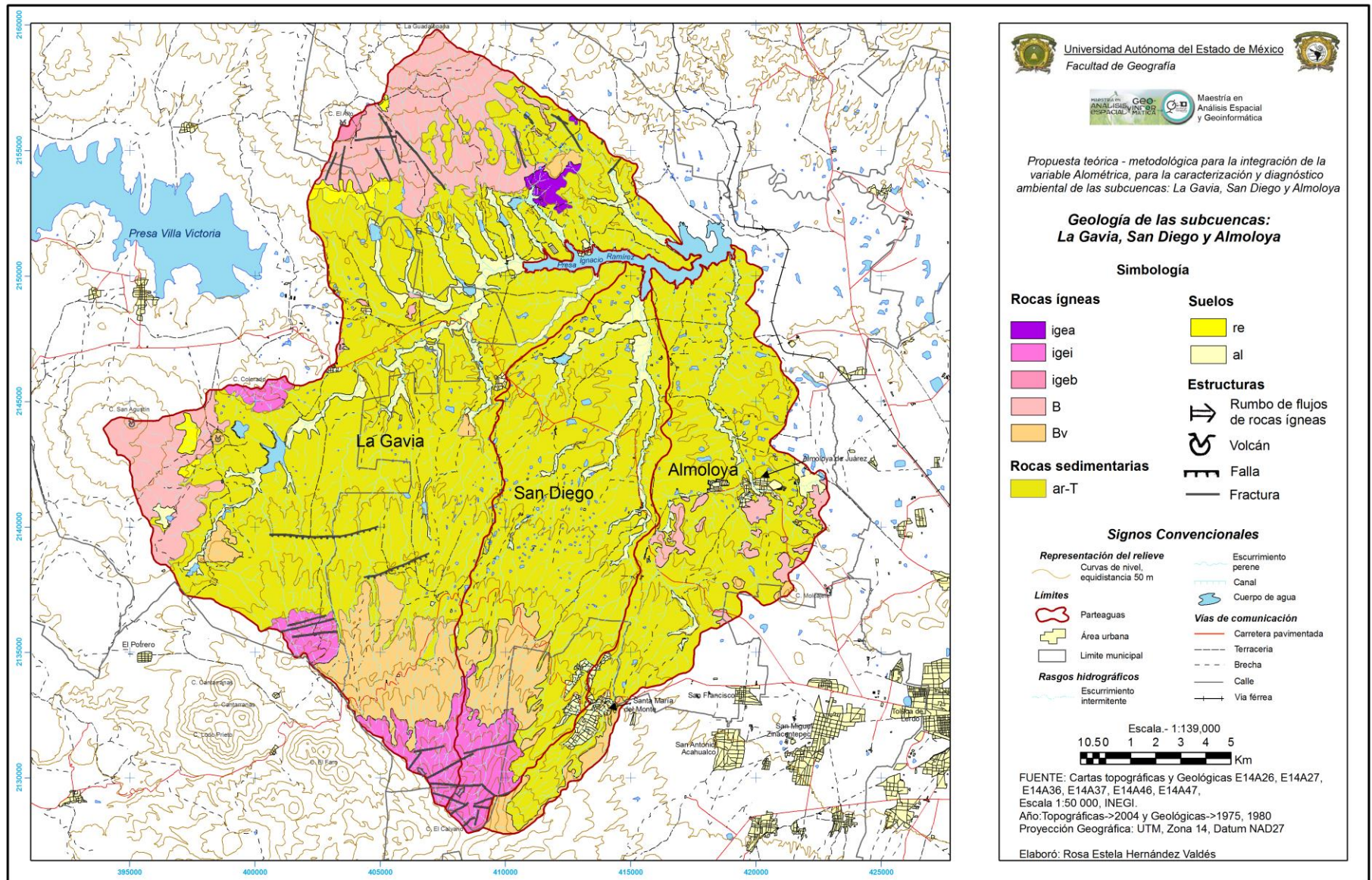
Tectónicos: en términos generales al S, SW y NW se presentan una serie de fracturas, 12, 3 y 10 respectivamente, se ubican en las subcuencas La Gavia y San Diego, para Almoloya no se presentan procesos de este tipo, de relevancia.

En el sur estas fracturas van en dirección E-W con ligeros ángulos hacia el NE. Al SW las fracturas presentan dirección E-W, prácticamente sin variación angular significativa. Y las del NW dirección N-S con ligeras inclinaciones al E. En las coordenadas aproximadas 236000 a 240000 metros Norte, se aprecian 2 fallas de clasificación normal, con lineamiento E-W y una ligera inclinación Norte, de entre 2 y 3 kilómetros de longitud

Volcánicos: como proceso volcánico se comprenden las estructuras montañosas formadas por lava, materiales piroclásticos o ambos, para los geosistemas estudiados en conjunto, estos procesos se encuentran en los extremos delimitados por el parteaguas, en el E en menor proporción de superficie y significancia.

En el S, W y N con estructuras de conos volcánicos y domos del mismo origen, la clasificación geológica da prueba de las coladas de lavas, que de estos han emanado; el tipo de mesetas, frentes lávicos y piedemontes son expresiones del relieve que exponen su origen volcánico.

Fluviales y Erosivos: de las estructuras montañosas que se encuentran en los extremos de las subcuencas, parten corrientes superficiales que erosionan el relieve de mayor pendiente y, arrastran sedimentos y que son evidentes en el mapa, por los polígonos de suelo aluvial que tienen como destino la Presa Ignacio Ramírez, formando pequeños abanicos aluviales.



Mapa geológico.

III. Caracterización del Sistema Geomorfológico

a) Introducción

La Geomorfología por definición etimológica se enfoca a la forma de la Tierra, según Gutiérrez (2008:2), quien cita de Schumm 1991, esta ciencia estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos, implicando los líquidos, sólidos y gaseosos.

Por el objeto de estudio, se dividen en diferentes áreas, una de ellas es la Geomorfología Cuantitativa, que determina matemáticamente masa, dimensiones y tiempo de desarrollo de todos los elementos de las formas de la superficie terrestre y de los procesos geológicos y, con base en esto, el diseño de modelos matemáticos empíricos. Para efectos de esta investigación se retoma por la parte de cuantificación de masa o superficie de cada geoforma del relieve.

En este contexto, las formas de relieve son entendidas como: La creación de las formas de la superficie terrestre por acción de procesos endógenos y exógenos y sus agentes (de la morfogénesis), se definen por su constitución y características geométrica y, clasifican en función de diversos parámetros, como el origen, dimensiones y posición con respecto a un plano horizontal local o regional, pueden ser positivas o negativas. (Lugo, 1989:92-93).

a) **Procedimiento:**

El Mapa Geomorfológico ha sido de elaboración propia, tomando como insumo principal las curvas de nivel, a partir del comportamiento de estas, se delimitaron los diferentes polígonos que comprenden los tres Geosistemas.

Los polígonos se definen al identificar los tipos de geoformas, es decir de las formas del relieve, según Lugo (1989), de acuerdo con las formas presentes en el relieve, es que se toma la clasificación geomorfológica, tomando en cuenta el origen, mostrando geoformas clasificadas por tipo de procesos, en:

➤ **Endógenos:** Es aquel que se forma debido a las fuerzas internas que actúan sobre la corteza, están controlados por la energía interna, por la acción de la fuerza de gravedad y por las relacionadas con la rotación de la tierra, para efectos de esta investigación; especialmente los geológicos, entre los que destacan para esta investigación.

- **Cima** → definida como la parte más alta de una elevación: loma, montaña, colina o cadena montañosa. Desde la cual se reconoce una disminución en altitud del relieve hacia todos los lados, está limitada por una línea de base cerrada.
- **Domo** → elevación en forma de arco redondeado, ms o menos isométrica. La longitud es igual a la anchura o la supera, pero no más de dos veces. Las capas que descansan sobre los domos se inclinan hacia todos los lados con ángulos variados.

En este caso el tipo de domos que presentan los geosistemas, corresponden a domos de tipo volcánico, en su mayoría con laderas de pendiente fuerte (mayor de 35°).

- **Meseta volcánica** → superficie plana en la parte superior de una elevación, en este caso corresponde a rocas de tipo volcánico en la porción SW del Geosistema de la Gavia, mientras que en los otros geosistemas corresponden a tipo de roca sedimentaria – volcánica.
 - **Ladera recta** → como ladera se entiende una porción inclinada de la superficie terrestre que delimita formas positivas y negativas. La ladera recta es de tipo vertical a desplome e inclinadas, respecto a un plano horizontal, ambas con una clara expresión de su base.
 - **Ladera mixta** → para esta caracterización geosistémica, refiere la combinación de ladera convexa y cóncava, al igual que en los otros tipos de ladera, influyen: el estadio de desarrollo del relieve, la estructura de las capas, las condiciones climáticas, exposición de las laderas al sol y vientos dominantes
 - **Ladera convexa** → la parte superior suave, incrementándose la pendiente hacia abajo, el piso se aprecia fácilmente.
 - **Ladera cóncava** → en la parte superior empinada y la inferior suave, con una base con débil expresión.
- **Exógenos:** se forma debido a la acción de la degradación del relieve mediante meteorización de las rocas, siendo los principales agentes externos que contribuyen a la degradación: radiación solar, fuerza de gravedad, organismos, precipitación, escorrentía, hielo y viento; se originan en la superficie de la tierra y se clasifican en intemperismo, erosión y acumulación. Para la zona de estudio se presentan los siguientes:

1. Acumulativas

- **Lomerío** → referente al relieve que se origina por la disección de una planicie inclinada o por la nivelación de las montañas, para el caso de los geosistemas originados por procesos erosivos; o referente a las márgenes de sistemas orogénicos en el que se ubican espacialmente.
- **Piedemonte** → superficie marginal de las montañas, de las que se distingue por una pendiente y alturas considerablemente menores.

2. Erosivas

- **Valle erosivo** → como valle se entiende la forma relativa del relieve, equivalente a una depresión estrecha y alargada, formada especialmente por procesos erosivos. Los geosistemas de la Gavia, San Diego y Almoloya, de tipo erosivo son de tipo fluvial, caracterizado por su origen en la acción de las aguas de escurrimiento superficial,
- **Valle acumulativo** → de acuerdo con el perfil transversal del valle acumulativo, este se caracteriza por recibir el cauce o lecho del valle erosivo, por lo tanto se ubican en secciones del relieve definidas por pendiente baja y como llanuras de inundación.

- **Planicie acumulativa** → en un plano horizontal equivale a una superficie de poca inclinación, en depósitos exógenos en depósitos fluviales, debido al tipo de morfología y tipo de sedimentos.
- **Circo erosivo** → es una forma cóncava del relieve montañoso a manera de anfiteatro con laderas empinadas que se origina en las cabeceras de algunas corrientes fluviales, por deslizamiento (erosión remontante), y la acción escorrentías que inciden en un canal principal (Hubp, 1989: 37).

Cabe mencionar que la digitalización de los polígonos se realizó en AutoCAD Map3D versión 10.0, mientras que la edición y cálculo de áreas se realizó en ArcMap 9.3, (ver mapa de Geomorfología de las subcuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya).

La gama de colores corresponde a la normatividad internacional para la elaboración de cartografía geomorfológica, asignando así colores cálidos a los rangos de mayor valor, en términos de procesos endógenos; y fríos a los de menor valor, es decir a los de procesos de tipo exógeno.

b) Interpretación

La composición del relieve como se ha descrito en el procedimiento, corresponde a geoformas de tipo volcánico, y que por lo tanto condicionan el resto de geoformas que de estas se deriva.

Continuando con el esquema de caracterización por secciones, esta se presenta a continuación por áreas, tomando en cuenta el nivel altitudinal sobre el nivel del mar, y en función de esta, por tipo de cuenca:

Cuenca de recepción:

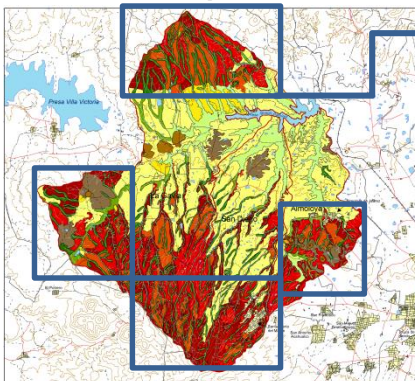


Imagen 6: Geomorfología, cuenca de recepción, para detalle ver Mapa Geomorfológico.

La cuenca de recepción tiene que ver con las partes más altas de la cuenca, está delimitada por el parteaguas, de forma que la topografía está implícita en ella.

La parte más alta de la cuenca es donde se concentra casi la totalidad del caudal de agua, para los tres geosistemas se han identificado 6 cimas principales, se muestran en el Cuadro 9.

Cabe señalar que la zona de estudio presenta mayores altitudes en m.s.n.m., en la subcuenca de La Gavia, en el W,

mientras que la subcuenca San Diego menor, y va disminuyendo más al E con la Almoloya. El rango de diferencia es de 1100 metros, ya que la altura máxima es de 3670 y la mínima es de 2570 metros en la parte más baja, correspondiente a la Presa Ignacio Ramírez.

Cuadro 9: Cimas principales de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya

N/P	Nombre	Altura msnm	Coordenadas (x, y) UTM	Geosistema
1	C. El Calvario	3670	408 594, 2 128 055	San Diego
2	C. La Guadalupana	3320	407 229, 2159 897	La Gavia
3	C. San Agustín	3130	395 037, 2 144 302	La Gavia
4	C. Alto	3080	403 652, 2 156 126	La Gavia
5	C. Colorado	2860	400 243, 2 145 538	La Gavia
6	C. Molcajete	2930	421 370, 2 137 361	Almoloya

Elaboración propia con base en las isohipsas con equidistancia de 10 m.

En la cuenca de recepción se presentan para los tres geosistemas geformas de cimas, circos de erosión y el origen de valles tipo erosivos, por el tipo de relieve y pendiente, así como por la geología presente; estos valles son estrechos y profundos en forma de 'V', además de que son de longitud extensa y casi de forma paralela, unos con otros, por estos *talwegs* (valles) escurren las aguas, perforando la superficie del suelo y construyendo los lechos de los ríos (ver imagen 6).

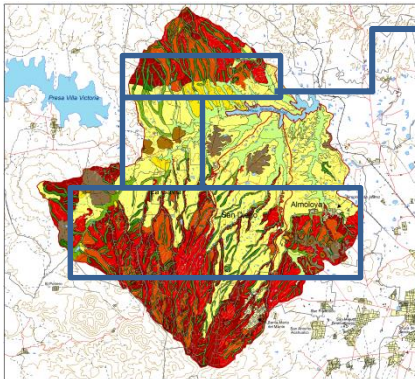
Las mesetas de tipo volcánico, también son presentes en estos cuadrantes, con una superficie total de 4.31% del total de la superficie de las tres subcuencas, como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Geofomas de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km² y %

		SUBCUENCA HIDROGRÁFICA						TOTAL POR TIPO DE GEOFORMA	
		LA GAVIA		SAN DIEGO		ALMOLOYA			
N.P	GEOFORMA	ÁREA EN km ² y %						Km ²	%
1	Cima	1.76	0.61	0.26	0.23	0.14	0.15	2.16	0.44
2	Domo	4.22	1.48	0.29	0.26	1.13	1.18	5.64	1.14
3	Meseta volcánica	12.23	4.28	3.32	2.94	5.71	6.01	21.25	4.31
4	Ladera recta	37.49	13.15	18.35	16.26	8.87	9.34	64.72	13.13
5	Ladera mixta	44.44	15.59	12.05	10.68	19.92	20.96	76.42	15.50
6	Ladera convexa	29.22	10.25	1.01	0.90	5.19	5.46	35.42	7.18
7	Ladera cóncava	0.15	0.05	0.00	0.00	0.13	0.13	0.27	0.05
8	Lomerío	9.93	3.48	0.20	0.18	0.00	0.00	10.13	2.05
9	Piedemonte	72.91	25.57	52.08	46.13	35.74	37.60	160.72	32.60
10	Valle erosivo	42.46	14.89	15.19	13.45	7.03	7.40	64.68	13.12
11	Valle acumulativo	9.73	3.41	1.26	1.12	2.24	2.36	13.24	2.69
12	Planicie acumulativa	20.60	7.22	8.87	7.86	8.94	9.41	38.41	7.79
	TOTAL CUENCA	285.15	100%	112.88	100%	95.04	100%	493.07	100%

Elaboración propia con base en el mapa de Geomorfología.

Cuenca de transporte o canal de desagüe:



También conocido como garganta de desagüe, que de acuerdo con Heano (2006: 52), es el encajonamiento entre las dos vertientes – en estas secciones de los geosistemas – se producen procesos de erosión que socavan el lecho y fondo del río, y procesos de acumulación de bloques y material fino.

Razón por la cual, se presentan valles erosivos, con laderas que se han clasificado según el comportamiento de sus *talwegs* e interfluvios, en mixtas, cóncavas y conexas (ver Imagen 7).

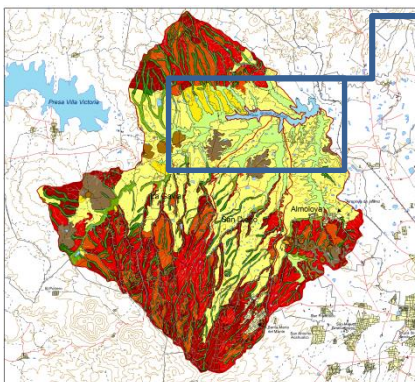
Imagen 7: Geomorfología, cuenca de transporte, para detalle ver Mapa Geomorfológico.

De hecho, es en estas secciones, principalmente en la sección sur del mapa que se presentan valles erosivos con laderas isométricas en cuanto a altitud, pendiente, longitud y morfología – es decir – con mayor inclinación de un lado que de otro, esto debido a la exposición de las laderas, a los factores ambientales más intensos de un lado que del otro.

A este tipo de laderas se les ha agrupado en las geoformas de laderas planas, ya que también cubren con las características de este tipo de relieve, solo que a diferencia de las laderas planas de las cuencas de recepción, estas laderas son de menor altura y mayor longitud, por lo general al lado derecho de cada valle erosivo.

En esta sección de las subcuencas, también se presentan algunos valles acumulativos, principalmente en La Gavia y Almoloya, resalta el Geosistema de Almoloya en esta aspecto, ya que en el centro de la subcuenca se presenta una disminución de altitud, y luego una elevación por el conjunto de cimas seguidas de forma paralela al Cerro Molcajete.

Cuenca de recepción o lecho o cono de eyección:



Estas geoformas tienen que ver con los depósitos aluviales que se forman cuando la corriente llega a una superficie plana de poca pendiente, en este caso, para la cuenca la Gavia al Norte de la Presa Ignacio Ramírez, esta disminución de pendiente forma lomeríos con una extensión de 3.4% de la superficie de esta cuenca (ver Cuadro 10).

En la sección al Sur de la Presa, antes de llegar a la exutoria, se aprecian formaciones de mesetas, no hay expresiones de algún tipo de laderas, por lo que a este nivel el tipo de relieve volcánico deja de predominar, para pasar a un relieve de tipo

Imagen 8: Geomorfología, cuenca de recepción, para detalle ver Mapa Geomorfológico.

acumulativo, por el tipo de material que la cuenca recibe. Así es como piedemonte logra una superficie total de los geosistemas del 32.6%.

En la cuenca de recepción también se aprecian procesos erosivos formando así una extensión del 7.7% de planicie acumulativa y un total de 2.69% de valle acumulativo como total de los tres geosistemas.

c) Procesos

Los procesos que predominan en estos geosistemas, al igual que el mapa geológico, tienen que ver con procesos de tipo volcánico y fluvial, sin embargo para efectos de la descripción de procesos desde el punto de vista geomorfológico, se enuncian los siguientes:

Endógenos: generados a partir de las fuerzas internas de la tierra, en La Gavia solo se presentan los tectónicos, sin embargo no se están incluyendo en este mapa geomorfológico; en el caso de los volcánicos, estos si se representan en el mapa.

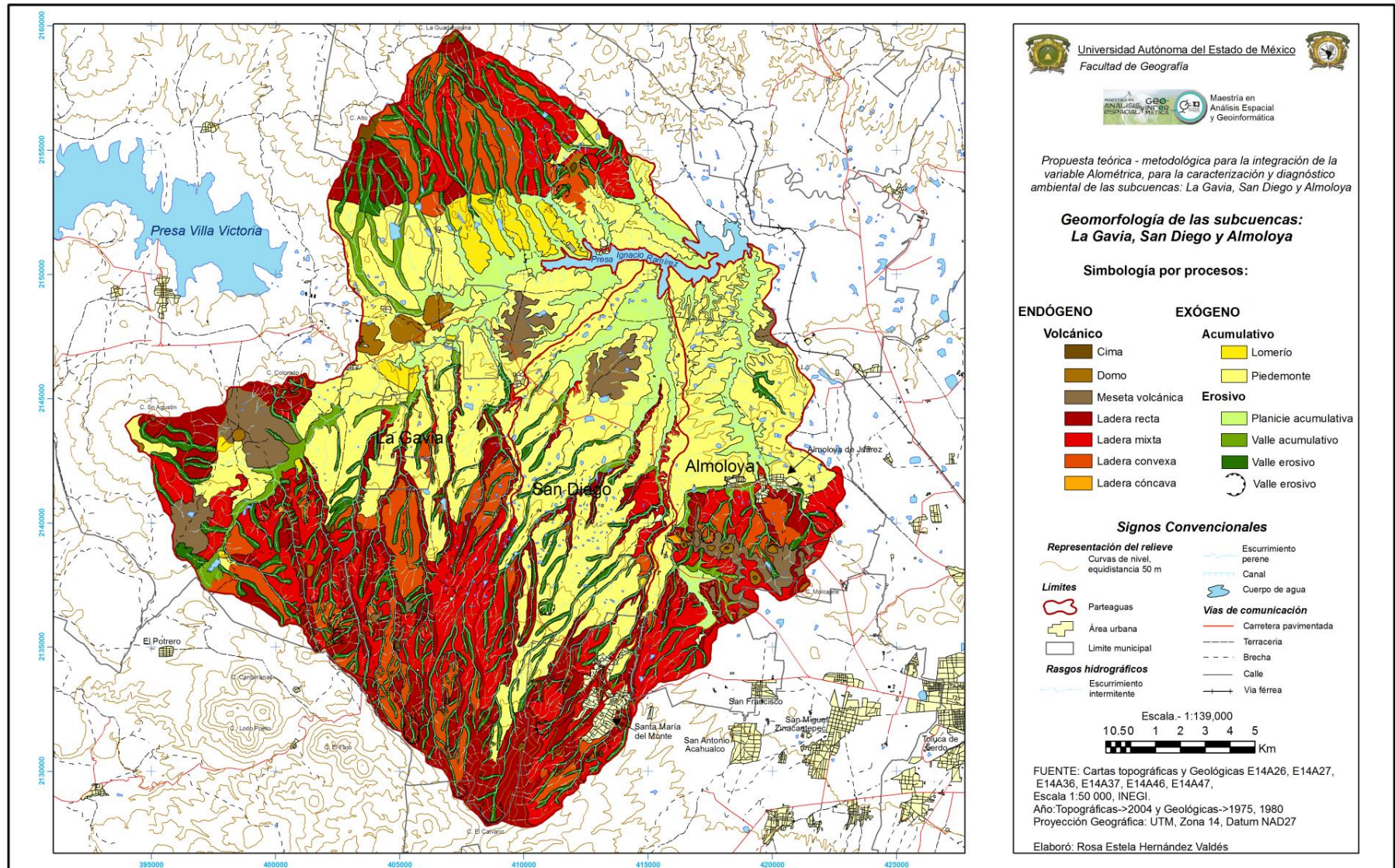
La actividad volcánica construye: origina y modifica el relieve, por lo que en el mapa se aprecian las diferentes cimas y domos volcánicos, con dos grandes estructuras una, en el N del mapa y la otra al S, en dirección al Nevado de Toluca.

La región cuenta con tres conos volcánicos, evidencia de actividad de esta naturaleza. Al E, Almoloya presenta un alineamiento E-W de pequeñas cimas y domos de menor extensión.

Exógenos: como parte del proceso de formación del relieve se presentan ritmos con diversas etapas de evolución, dando así origen a los procesos acumulativos, que quedan innegables ante las geoformas de lomeríos y piedemontes, entre las cuencas de transporte y recepción.

También tienen lugar procesos erosivos en estos geosistemas, las geoformas de valles erosivos dan prueba de ello, así como algunos circos de erosión que están formándose al ir profundizando sobre superficies de laderas planas, dejando así un valle semicircular.

El valle erosivo es otra geoforma incisiva que destruye el relieve, y que contribuye al reciclaje constante de los materiales de la superficie terrestre, cuando el caudal fluye sobre el valle transporta corriente abajo sedimentos que son depositados en planicies aluviales, en las proximidades y en la Presa Ignacio Ramírez.



Mapa geomorfológico

IV. Caracterización del sistema Edafológico

a) Introducción

La edafología es también considerada en esta investigación como un sistema complejo en el que intervienen diferentes elementos y procesos, en el que influyen otros sistemas como el geológico, biológico, hidrológico y meteorológico. En el orden vertical del geosistema cuenca, la edafología ocupa el tercer lugar, precedido del basamento geológico y geomorfología.

La edafología es definida como es el estudio de los suelos, deriva de las raíces *edafos*, suelo y *logos*, estudio, mientras que suelo es entendido como la capa más superficial de la corteza terrestre, en la cual encuentra soporte la cubierta vegetal natural y gran parte de las actividades humanas (INEGI, 2004: 1).

El suelo es también definido como la capa superficial del manto de rocas detríticas donde los procesos físicos y químicos de descomposición cooperan en asociación íntima con los procesos biológicos (Holmes, 1971: 119); compone el sustrato en general en que se desarrolla la vida, por lo tanto es denominado con gran precisión como 'el puente entre la vida y el mundo inanimado' (Tarbut 2010:438).

En el proceso de formación del suelo existe una secuencia de sucesos físicos y químicos que inician con la meteorización e influyen en la creación de un suelo en particular, de acuerdo con (Holmes, 1971: 119), en estos procesos intervienen factores como:

- La ubicación geográfica, por el tipo de clima y los efectos que produce.
- La naturaleza de la roca madre o de cualquier otro depósito sobre el cual se ha generado el suelo, por la composición química de la geología sobre la cual se desarrollan
- El sistema de geformas, es decir, el tipo de relieve en el que el suelo es desarrollado.
- La edad de suelo, respecto a la cantidad de tiempo durante el cual se ha ido desarrollando el suelo.
- La actividad antrópica, que aunque no es un factor natural por los efectos de cultivo superpuesto influyen sobre la uniformidad del suelo.

b) Procedimiento

Para la caracterización de este sistema, se ha elaborado el Mapa de Edafológico de las Subcuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya (Ver página 58). El proceso que se ha seguido, es similar al mapa geológico.

Debido a que no hay cartografía en formato digital, se han digitalizado los polígonos del formato analógico retomando las cartas edafológicas correspondientes, editadas por el INEGI; este proceso se realizó en AutoCAD Map3D versión 10.0, mientras que la edición y cálculo de áreas en ArcMap 9.3 con el apoyo de las herramientas del XTools.

De la elaboración de este mapa, por el tipo de extensión superficial se han derivado 7 tipos de suelos desarrollados en los tres geosistemas. Para la descripción de estos suelos se ha utilizado la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, que el grupo de trabajo IUSS, ISRIC y FAO (2007) han actualizado. Los suelos son los siguientes:

➤ Suelos

● **A→ Acrisol** (Del latín *hacer* = muy ácido).

Suelos ácidos fuertemente meteorizados con baja saturación con bases y arcillas de baja actividad, que predominan más en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) que llevan a un horizonte árgico en el subsuelo. De acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (2007:67):

Material parental: proviene de la meteorización de rocas ácidas y arcillas degradadas, con proceso de lixiviación de cationes básicos debido al ambiente húmedo y avanzado grado de meteorización.

De un ambiente: principalmente de superficies con topografías onduladas y colinas, de clima tropicales húmedos a templados.

● **T→ Andosol** (del japonés *an* = negro y *do* = suelo)

Suelo negro procedente de paisajes volcánicos y en ocasiones de otros materiales ricos en silicatos, de rápida meteorización resulta en la acumulación de complejos órgano-minerales-estables o, minerales de bajo grado de ordenamiento como alofano, imogolita y ferrihidrita.

Material parental: desarrollado de eyecciones y vidrios volcánicos (principalmente cenizas, tufa, pómez, entre otros ricos en silicato)

De un ambiente: de meteorización ácida casi desarrollados en cualquier clima, excepto el hiperárido, pero especialmente en húmedos y hiperhúmedos. De relieve ondulado a montañoso con amplio rango de vegetaciones (IUSS, 2007: 83).

● **J→ Fluvisol** (del latín *fluvius* = río)

Son suelos azonales genéticamente jóvenes en depósitos aluviales (aunque también pueden ocurrir de depósitos lacustres y marinos)

Material parental: Predominantemente depósitos recientes, fluviales, lacustres y marinos.

De un ambiente: de relieve referente planicies aluviales, abanicos de ríos, valles y marismas costeros, que bajo condiciones naturales se inundan periódicamente; en todas las zonas climáticas (IUSS, 2007: 92).

● **H→ Feozem** (de l griego *phaeo* = pardo y del ruso *zemljá* = tierra).

Suelo de capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes semejante a las capas superficiales de los Chernozems y los Castañozems, pero sin las capas ricas en cal; profundos en terrenos planos con alto rendimiento.

Material parental: de casi cualquier tipo de relieve, los menos profundos situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos bajos y se erosionan con más facilidad, aptos a la ganadería y pastoreo.

De un ambiente: en cualquier tipo de relieve, excepto regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas (INEGI, 2004: 14).

● **L → Luvisol** (del latín luere = lavar)

Suelos de mayor contenido de arcilla con alta actividad en el subsuelo, resultado de procesos pedogenéticos (migración de arcilla) que lleva a un horizonte subsuperficial árgico. Contiene bases en ciertas profundidades pueden tener un horizonte eluvial alábico entre el horizonte superficial y el horizonte subsuperficial árgico, pero no tienen las lenguas albelúvicas de los Albeluvisoles.

Material parental: deriva de una amplia variedad de materiales no consolidados incluyendo till glaciario, y depósitos eólicos, aluviales y coluviales.

De un ambiente: principalmente de tierras llanas o suavemente inclinadas en regiones templadas frescas y con estación seca y húmeda marcadas (IUSS, 2007: 98).

● **I → Litosol** (del griego leptos = fino)

Suelos ahora conocidos como Leptosoles, son muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos. Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas

Material parental: Varios tipos de roca continua o de materiales no consolidados con menos de 20 por ciento (en volumen) de tierra fina.

De un ambiente: de tierras en altitud media o alta, con topografía fuertemente disectada, se encuentran en todas las zonas climáticas y particularmente en áreas fuertemente erosionadas (IUSS, 2007:84).

● **W → Planosol** (del latín *planus* = plano)

Suelos con un horizonte superficial de color claro que muestra signos de estancamiento de agua periódico y suprayace abruptamente un subsuelo denso, lentamente permeable con significativo incremento de arcilla respecto del horizonte superficial. En el horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas estacionalmente anegadas.

Material parental: principalmente depósitos aluviales y coluviales arcillosos. La estratificación geológica o pedogénesis (destrucción y/o remoción de arcilla), o ambos, ha producido un suelo superficial claro con textura relativamente gruesa, abruptamente por encima de una textura más fina; la percolación de agua descendente impedida causa condiciones reductoras temporarias.

De un ambiente: estacionalmente o periódicamente saturado, áreas planas en regiones subtropicales y templadas, semiáridas y subhúmedas con vegetación de bosque liviano o pastos (IUSS, 2007: 101).

V→ Vertisol (del latín *vertere* = dar vuelta, refiere a reciclado interno constante del suelo).

Suelos con alta proporción de arcillas expandibles que forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo, así como de slickensides y agregados estructurales, cuando se secan, lo que ocurre en la mayoría de los años.

Material parental: de sedimentos con alta proporción de arcillas expandibles, o producidas por neoformación a partir de meteorización de rocas.

De un ambiente: en depresiones y áreas llanas a onduladas, principalmente en climas tropicales, subtropicales, semiáridos a subhúmedos y húmedo con una alternancia clara de estación seca y húmeda. La vegetación clímax es sabana, pastizal natural y/o bosque (IUSS: 2007: 109).

c) Interpretación

Como se ha mencionado en la introducción de este sistema, las 7 clasificaciones de suelo que se han descrito, corresponden con el tipo de basamento y geoforma de la zona de estudio, así como de la zona climática en que se encuentra. De forma espacial la ubicación de cada tipo de suelo se explica a continuación:

Sección sur:

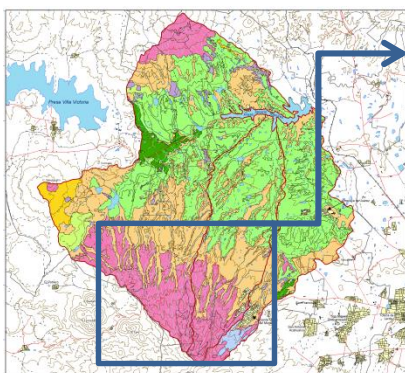


Imagen 9: Edafología, sección sur, para detalle, ver Mapa Edafológico.

El sur de los tres geosistemas (ver imagen 9), mantiene un comportamiento similar, respecto a geoforma y litología, acorde a esto ha desarrollado un suelo volcánico de tipo Andosol, con una superficie del 22% de la extensión total de la Gavia, 24% de San Diego y el 5 % de Almoloya (ver cuadro 11).

Cabe mencionar que este es un suelo con alto potencial agrícola por su origen de cenizas volcánicas, además de que la geoforma no lo expone a un lavado excesivo.

Al norte del cuadrante marcado en la imagen, limitando con el Andosol se encuentra suelo de clasificación Feozem, este tipo

de suelos corresponde con geoformas y pendientes más variadas que el Andosol y correspondientes a basamento de Brechas volcánicas. Este tipo de suelo al igual que el anterior, es rico en materia orgánica, aunque es menos profundo.

En el geosistema de Almoloya se aprecia un polígono de suelo de tipo Fluvisol, es el único polígono de esta clasificación tanto en este geosistema como en el de la Gavia y San Diego, esto tiene que ver directamente con el tipo de topografía y la exposición de esta superficie a los factores formadores del suelo.

Sección oeste:

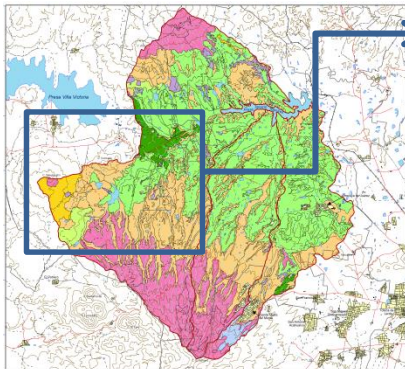


Imagen 10: Edafología, sección oeste, para detalle, ver Mapa Edafológico.

En la sección oeste, el parteaguas corresponde únicamente a La Gavia, presenta un suelo de tipo Luvisol con un extensión de 2.4% del total del geosistema, es el único polígono representativo de las tres subcuencas (ver cuadro 11).

Se caracteriza por procesos relacionados con el alto contenido de arcillas, por lo tanto, presentan un amplio rango agrícola, sin embargo por el tipo de pendiente, requieren medidas de control por procesos erosivos.

En dirección este del cuadrante, se presentan suelos Feozem,

al sur del parteaguas se aprecia un polígono de suelo Acrisol, con 2.5% de la superficie total de La Gavia. En el centro del cuadrante, por el tipo de geoformas en la meseta y piedemonte se presenta un suelo de clasificación Vertisol, este tipo de suelo es de mayor predominancia en los tres geosistemas. En el NE del cuadrante se presenta un polígono de suelo Planosol, con extensión de 3.4% del total de La Gavia. Este tipo de suelos por su bajo potencial agrícola es mayormente dedicado a la ganadería.

Sección norte:

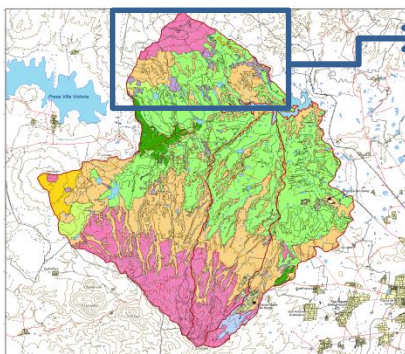


Imagen 11: Edafología, sección norte, para detalle, ver Mapa Edafológico.

Por la extensión y forma de La Gavia, el cuadrante norte únicamente abarca superficie de este geosistema, en la zona de parteaguas el suelo, al igual que en el cuadrante sur presenta suelos de tipo Andosol, obviamente por el tipo de geoforma, altitud y procesos geológicos (ver imagen 11).

Al suroeste y sureste del cuadrante presenta la misma continuidad de suelos de clasificación Feozem.

El resto de la superficie de este cuadrante predominan superficies de tipo Vertisol, con pequeñas intrusiones de suelo

identificado como Litosol, donde la erosión ha mantenido el paso con la formación de suelo, o ha removido la parte superior del perfil de suelo, razón por la cual favorecen el pastoreo. Este tipo de

suelo es poco representativo en relación a la superficie total de los tres geosistemas, ya que corresponde solo al 1.6%, ubicado en su mayoría en polígonos de La Gavia (ver cuadro 11).

Sección este:

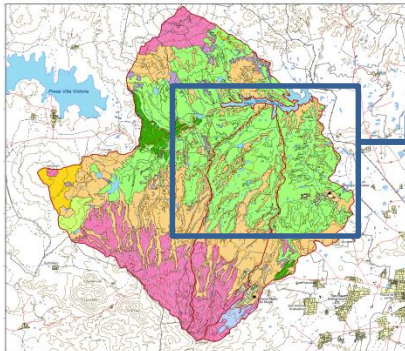


Imagen 12: Edafología, sección este, para detalle, ver Mapa Edafológico.

Por el tipo de geología y geformas que se ubican en este cuadrante (ver imagen 12), la edafología correspondiente a esta sección abarca en mayor superficie suelos de tipo Vertisol, de hecho el porcentaje total para cada subcuenca es de 31.1%, para La Gavia, 44.3% de San Diego y 58.6 % de la superficie total de Almoloya (ver Cuadro 11).

En este cuadrante se encuentra la exutoria de las subcuencas, y retomando el Mapa de Geología, alrededor de la Presa Ignacio Ramírez se encuentran

suelos aluviales, por la acumulación de los sedimentos transportados aguas arriba.

Por el tipo de relieve correspondiente a laderas rectas, de las partes altas a las bajas se presentan pequeños polígonos de suelos Feozem.

Cuadro 11: Edafología por grandes grupos, de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km² y %.

N.P	EDAFOLOGIA	SUBCUENCA HIDROGRÁFICA						TOTAL POR TIPO DE ROCA	
		LA GAVIA		SAN DIEGO		ALMOLOYA		Km ²	%
		ÁREA EN km ² y %							
1	C. Agua	1.66	0.58	0.31	0.27	0.22	0.23	2.19	0.44
2	Acrisol (A)	7.31	2.56	-	-	-	-	7.31	1.48
3	Andosol (T)	63.57	22.29	23.82	21.10	5.11	5.38	92.5	18.76
4	Fluvisol (J)	-	-	-	-	4.29	4.51	4.29	0.87
5	Litosol (I)	6.83	2.40	0.23	0.20	0.87	0.92	7.93	1.61
6	Feozem (H)	98.16	34.42	38.41	34.03	27.48	28.91	164.05	33.27
7	Luvisol (L)	8.94	3.14	-	-	-	-	8.94	1.81
8	Planosol (W)	9.87	3.46	-	0.00	1.29	1.36	11.16	2.26
9	Vertisol (V)	88.81	31.15	50.11	44.39	55.78	58.69	194.7	39.49
TOTAL CUENCA		285.15 km ²	100%	112.88 km ²	100%	95.04 km ²	100%	493.06	100%

Elaboración propia con base en el mapa de Edafología.

d) Procesos

En la presente investigación no se muestran las características del perfil de cada tipo de suelo, tampoco se muestran las diferentes combinaciones entre los grupos de suelos presentados en el mapa, por la extensión de superficie mínima que estos representan, sin embargo para efectos de consulta se ha integrado el Cuadro 12 con las diferentes combinaciones de suelos y las superficies que cada uno de estos representa.

Ahora bien, en términos espaciales, el Mapa de Edafología de las subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya, representa únicamente la clasificación por principales grupos de suelos, lo que ayuda a entender los procesos que en la región se llevan a cabo, algunos de estos se exponen a continuación:

Erosivos: estos procesos están directamente relacionados con la meteorización de la roca madre de cada subcuenca, se hacen evidentes en el tipo de suelo desarrollado en cada geoforma, partiendo de las zonas de parteaguas, hacia la cuenca de transporte se ubican Andosoles, Luvisoles y Litosoles, expuestos a factores ambientales (temperatura, biota) y, ahora antrópicos, que aceleran procesos erosivos, que desgastan y destruyen los suelos.

Acumulativos: Por el arrastre de partículas de suelos expuestos a erosión, se forma en las secciones de menor pendiente, suelo Feozem, rico en materia orgánica procedente de la vegetación característica que domina sobre ellos, principalmente de la vegetación de pastizales.

En las geoformas de piedemonte se ubican también procesos acumulativos, formando suelos de tipo Vertisol, que por su alto contenido de arcillas expandibles ocasionados por los diferentes grados de humedad generan grandes grietas de diferentes profundidades, esto genera un proceso de reciclado de suelo, ya que desde la superficie caen partículas de otros suelos, hasta los horizontes más profundos.

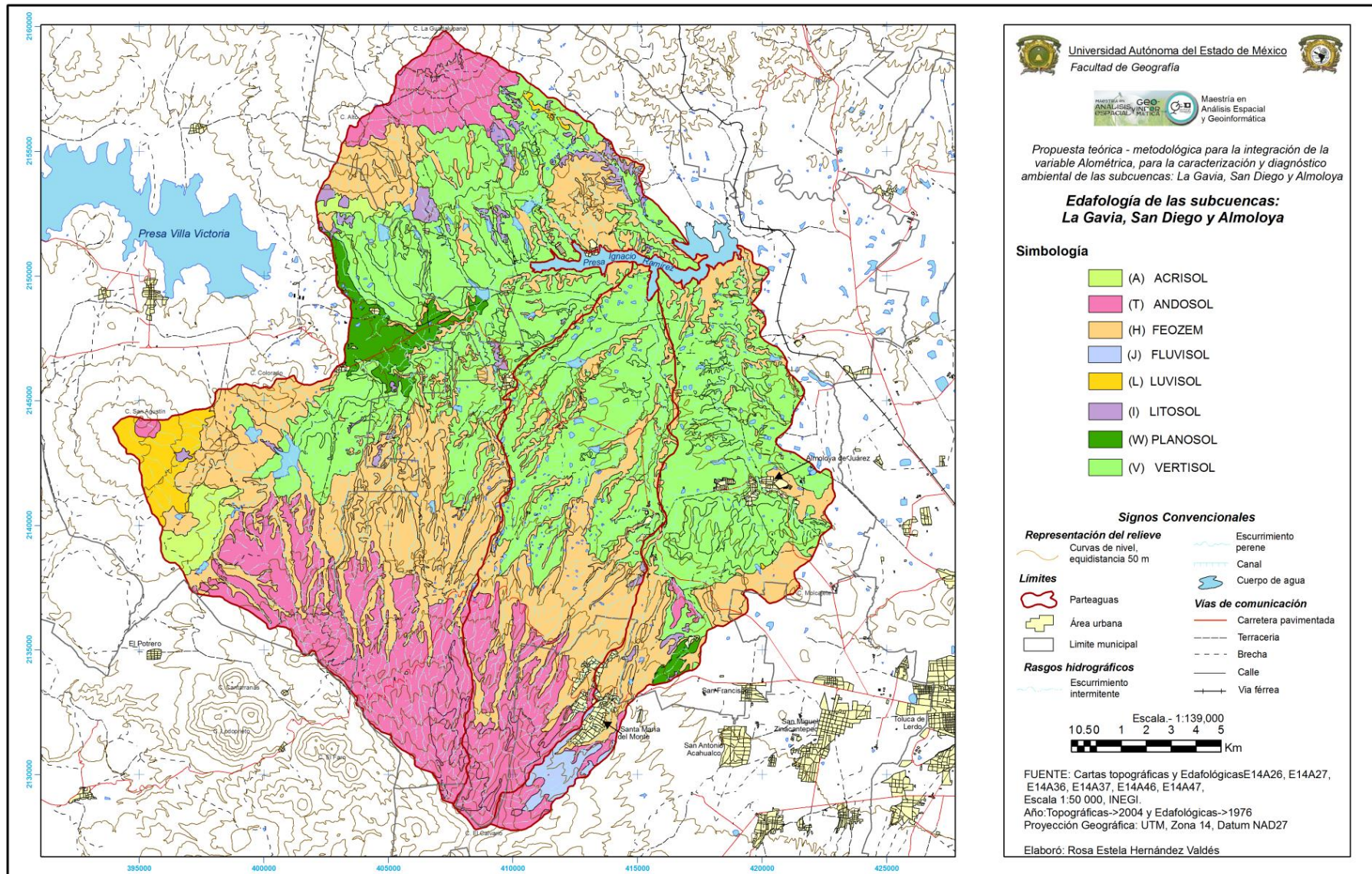
En el parteaguas oeste, en el Cerro San Agustín se presenta un comportamiento similar en el suelo Luvisol.

Tanto en los procesos acumulativos como en los erosivos se presentan dinámicas en las que tanto el intemperismo mecánico como químico influyen en la formación y comportamiento de los suelos. Por otra parte, con la edad geológica se aprecia el grado de desarrollo que los suelos de estos geosistemas presentan.

Cuadro 12: Edafología desglosada por subtipos, de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km² y %

		SUBCUENCA HIDROGRÁFICA						TOTAL POR TIPO DE ROCA	
		LA GAVIA		SAN DIEGO		ALMOLOYA			
N.P	EDAFOLOGIA	ÁREA EN km ² y %						Km ²	%
1	Agua	1.66 km ²	0.58%	0.31 km ²	0.28%	0.22 km ²	0.24%	2.19	0.445
2	Ah+Hl/2	5.75 km ²	2.02%	-	-	-	-	5.75	1.167
3	Ao+l/2	1.56 km ²	0.55%	-	-	-	-	1.56	0.316
4	Tm+l/2	15.57 km ²	5.46%	-	-	-	-	15.57	3.158
5	Th+Bc/2	23.79 km ²	8.34%	0.12 km ²	0.10%	1.19 km ²	1.26%	25.11	5.092
6	Th+l/2	3.46 km ²	1.21%	7.45 km ²	6.60%	3.92 km ²	4.13%	14.83	3.007
7	Th/2	1.23 km ²	0.43%	10.17 km ²	9.01%	-	-	11.40	2.311
8	To+Bc/2	13.59 km ²	4.76%	6.08 km ²	5.39%	-	-	19.67	3.989
9	To+Hh/2	1.60 km ²	0.56%	-	-	-	-	1.60	0.325
10	To+Hl/2	4.33 km ²	1.52%	-	-	-	-	4.33	0.878
11	Jh+Bc/2	0.00 km ²	0.00%	-	-	4.29 km ²	4.52%	4.29	0.87
12	l+Hh/2	3.54 km ²	1.24%	0.23 km ²	0.21%	0.58 km ²	0.61%	4.35	0.883
13	l+Lc/2	0.51 km ²	0.18%	-	0.00%	-	0.00%	0.51	0.103
14	l+Vp/2	1.29 km ²	0.45%	-	0.00%	0.26 km ²	0.28%	1.55	0.315
15	l/2	1.49 km ²	0.52%	-	0.00%	0.03 km ²	0.03%	1.52	0.308
16	Hl+Hh/2	21.86 km ²	7.67%	23.01 km ²	20.39%	-	0.00%	44.87	9.101
17	Hl+l/2	0.34 km ²	0.12%	-	0.00%	-	0.00%	0.34	0.07
18	Hh+Bc/2	0.52 km ²	0.18%	-	0.00%	-	0.00%	0.52	0.105
19	Hh+Hl/2	4.43 km ²	1.55%	0.42 km ²	0.37%	2.33 km ²	2.46%	7.19	1.458
20	Hh+Hh/2+ Hh+Vp/2	1.98 km ²	0.69%	-	0.00%	-	0.00%	1.98	0.402
21	Hh+l/2	39.19 km ²	13.74%	10.16 km ²	9.00%	5.82 km ²	6.12%	55.17	11.19
22	Hh/2	7.04 km ²	2.47%	4.79 km ²	4.24%	2.03 km ²	2.13%	13.86	2.81
23	Hh+Lc/2	10.32 km ²	3.62%	-	0.00%	-	0.00%	10.32	2.093
24	Hh+l+Vp/2	0.76 km ²	0.27%	-	0.00%	-	0.00%	0.76	0.154
25	Hh+Vp/2	11.71 km ²	4.11%	-	0.00%	4.07 km ²	4.28%	15.77	3.199
26	Hh+Vp/3	0.00 km ²	0.00%	0.03 km ²	0.02%	13.23 km ²	13.92%	13.26	2.689
2	Lc+Hh/2	0.39 km ²	0.14%	-	0.00%	-	0.00%	0.39	0.078
28	Lc+ms+Th/ 2	8.55 km ²	3.00%	-	0.00%	-	0.00%	8.55	1.735
29	Wm+ms+V p/2	9.87 km ²	3.46%	-	0.00%	-	0.00%	9.87	2.002
30	Wm+Wh/2	0.00 km ²	0.00%	0.00 km ²	0.00%	1.29 km ²	1.36%	1.29	0.261
31	Vp+Hh+l/3	8.73 km ²	3.06%	-	0.00%	37.50 km ²	39.46%	46.2303 4	9.376
32	Vp+Hh/3	56.10 km ²	19.67%	37.70 km ²	33.40%	-	0.00%	93.80	19.02
33	Vp+Hh/2	0.91 km ²	0.32%	-	0.00%	-	0.00%	0.91	0.185
34	Vp+l/3	-	-	-	-	5.46 km ²	5.74%	5.46	1.107
35	Vp+l+Hh/3	-	-	-	-	6.24 km ²	6.57%	6.24	1.267
36	Vp+We/3	0.86 km ²	0.30%	-	0.00%	-	0.00%	0.86	0.175
37	Vp+Wm/3	0.86 km ²	0.30%	4.74 km ²	4.20%	0.07 km ²	0.08%	5.68	1.152
38	Vp+l+Hh/3	0.38 km ²	0.13%	-	0.00%	-	0.00%	0.38	0.077
39	Vp/2	0.00 km ²	0.00%	0.22 km ²	0.20%	-	0.00%	0.22	0.045
40	Vp/3	18.54 km ²	6.50%	6.44 km ²	5.71%	6.50 km ²	6.84%	31.47	6.383
41	Vp+l/3	2.43 km ²	0.85%	1.00 km ²	0.89%	-	0.00%	3.43	0.696
	TOTAL CUENCA	285.15 km ²	100%	112.88 km ²	100%	95.04 km ²	100%	493.06	100%

Elaboración propia con base en el mapa de Edafología.



Mapa edafológico

V. Caracterización del sistema hidrológico

a) Introducción

Parte esencial y de especial importancia es la caracterización de la zona de estudio por la temática de investigación. Tiene como principal objetivo la red de drenaje *superficial*, es decir, la manera o disposición con que una serie de corrientes tributarias se acomodan entre ellas mismas, dentro de una cuenca de drenaje dada (Guerra, 1980: 202).

Esta red de drenaje puede ser analizado desde las siguientes perspectivas:

- **Descriptiva:** en la cual se clasifican los cursos fluviales según su forma y textura, asociándolos a características geológicas del sustrato.
- **Cuantitativa:** que analiza las redes de drenaje mediante una previa ordenación de cauces; estableciendo una jerarquización de órdenes de corriente y, que puede elevar el nivel de análisis desde la complejidad matemática hasta donde se desee bajo un enfoque morfométrico.

En esta caracterización se analizarán las redes de drenaje de cada geosistema bajo la perspectiva descriptiva, y de la cuantitativa solo se mostrará la jerarquización de las corrientes, en esta sección.

El análisis cuantitativo se presenta de forma completa en el capítulo siguiente.

b) Procedimiento

Para la elaboración del mapa de drenaje superficial de las subcuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya (ver página 64), se requirió de las curvas de nivel de las cartas correspondientes a la zona de estudio con equidistancia de 10 m para la carta E14A37, para el resto de 20 m.

Asimismo se tomaron las corrientes perenes e intermitentes de la zona de estudio en formato digital, a partir de estos dos insumos se delimitó el parteaguas de cada geosistema.

Debido a la forma de presentación de los archivos digitales se realizó una limpieza, una vez terminado este proceso; de forma visual y tomando como referencia la literatura de hidrología superficial, en las que se indican que los ríos toman la dirección de los valles, separados por los interfluvios, se delimitaron todos los cauces faltantes. Esto se realizó de esta forma por la naturaleza de la investigación, se requiere una cartografía detallada de la red de drenaje.

Posteriormente se realizó la jerarquización de la red de drenaje, en segmentos de cauce y asignando una serie de números a los órdenes; esto tomando en consideración a Strahler (1982: 524), para quien cada cauce extremo se denomina segmento de *primer orden*, después en la conjunción de dos segmentos de primer orden, se forma un cauce de *segundo orden*, y se prolonga hasta que se une con otro de segundo orden, de lo que se origina uno de *tercer orden*, y así sucesivamente; sin embargo como el indica, si un segmento de primer orden se une a otro de segundo orden, a partir del punto de unión no se produce incremento de orden.

El río principal de la cuenca es el que tiene el número más elevado de todo el geosistema, y son los que siempre presentan escurrimientos, los de primer y segundo orden solo son intermitentes.

En la etapa de la jerarquización de la red de drenaje se asignan colores a cada orden de drenaje para su mejor análisis visual, esta gama de colores se retoma de la normatividad internacional para la elaboración de cartografía geomorfológica, asignando así los colores cálidos a los rangos de mayor valor, y fríos a los de menor valor.

c) Interpretación

Tanto la forma como la dinámica de las tres redes fluviales, son el resultado de las características tanto ambientales del territorio como de las referentes al tipo de roca, geoforma y procesos tectónicos, aunado a los sistemas de transferencia de energía y materia en las respectivas cuencas.

Los escurrimientos superficiales parten de las cuencas de recepción desde una altitud de 3670 msnm, recorren una diferencia de 1100 metros de altitud, hasta la cuenca de recepción en la Presa Ignacio Ramírez a 2570 msnm. Los principales comportamientos de la red de drenaje se muestran por clasificación sistémica:

Clasificación dendrítica en etapa de elaboración: (del griego *dendron* = árbol)

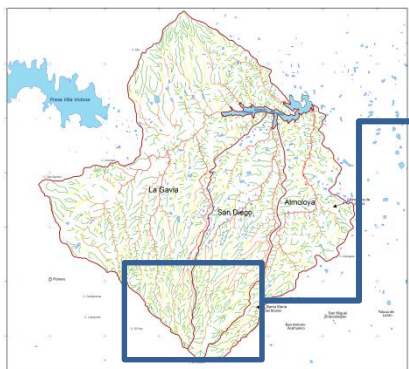


Imagen 13: Hidrología, sección sur, clasificación dendrítica, ver a detalle en Mapa de drenaje.

Este tipo de clasificación de la red de drenaje, es denominada también como arborescente, por su parecido con el desarrollo de un árbol (Guerra, 1980:206). La corriente principal corresponde al tronco del árbol, y las tributarias a las ramas. Distribuidas en todas direcciones, al bifurcarse unas con otras forman ángulos agudos, es decir, de diversa graduación, pero menores a 90°.

De acuerdo con Guerra, la presencia de uno o dos ángulos rectos representa alguna anomalía tectónica, solo que para esta zona de estudio los ligeros cambios de ángulos que se presentan en San Diego son más bien, por el tipo de geoformas formadas por diferente material geológico. En la zona de parteaguas, existe la presencia de fracturas, sin embargo por el tipo de pendiente y geoforma, no representan influencia directa sobre el comportamiento del drenaje.

En este cuadrante el tipo de red dendrítica ya ha pasado en su fase de desarrollo por la etapa de iniciación, alargamiento y ahora la configuración corresponde a drenaje dendrítico en etapa de elaboración.

Clasificación dendrítica en etapa de iniciación y alargamiento:

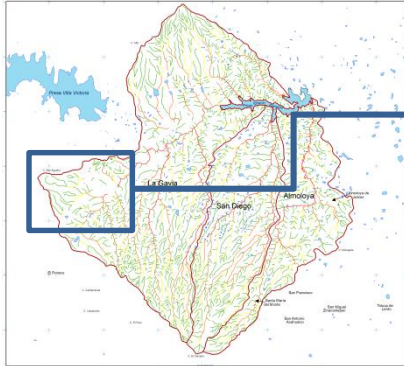


Imagen 14: Hidrología, sección este, clasificación dendrítica, ver a detalle en Mapa de drenaje.

La configuración es similar, sin embargo por el tipo de roca basáltica en que se desarrolla la red de drenaje muestra comportamientos correspondientes a lo que Guerra (1980, 207), señala como dendrítica en fase de alargamiento, pero no necesariamente por la edad del relieve, sino que, debido a la configuración y características geológicas, se trata de una zona de recarga de acuíferos, el material es permeable, razón por la cual las corrientes de primer, segundo y tercer orden desaparecen (ver imagen 14).

Clasificación subdendrítica - paralela:

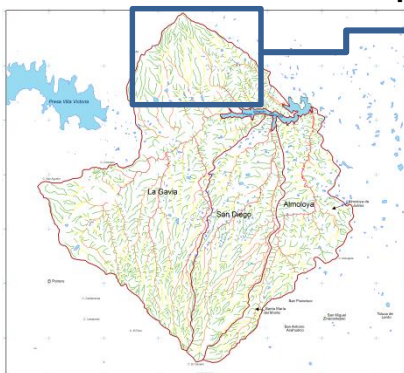


Imagen 15: Hidrología, sección norte, clasificación subdendrítica -paralela. , ver a detalle en Mapa de drenaje.

Esta sección norte, presenta una configuración dendrítica - subdendrítica, obviamente por el tipo de relieve a grandes rasgos 'homogéneo', este constituye una modificación de la clasificación dendrítica (ver imagen 15).

El desarrollo del drenaje es subsecuente, es decir, son corrientes más largas, y las líneas dominantes del drenaje son la respuesta al tipo de rocas y estructuras, como producto de la rápida erosión en materiales poco resistentes; propios de pendientes pronunciadas.

En esta sección, este tipo de drenaje si está condicionado por las estructuras geológicas de fracturas, ya que las corrientes siguen la dirección de estas. La variación angular de las corrientes tributarias obedece a los contactos litológicos, en el centro del cuadrante, por lo que también es considerada la configuración paralela, ya que los escurrimientos están controlados estructuralmente, que incide en el espaciamiento regular, casi paralelo.

Clasificación dendrítica – pinada → asimétrica:

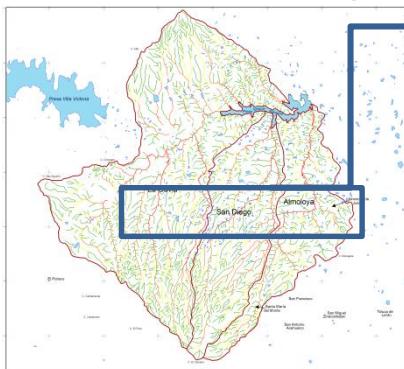


Imagen 16: Hidrología, sección centro, clasificación dendrítica – pinada - asimétrica. Ver a detalle en Mapa de drenaje.

La clasificación de un sistema de drenaje depende de la distribución de las rocas, esto se hace evidente especialmente en la subcuenca Almoloya, donde debido a la presencia de estructuras geológicas ubicadas justo en la cuenca de transporte.

Estas están condicionando la configuración, cambiando di dirección a la corriente principal, por lo que el escurrimiento presenta tres cambios de ángulos de casi 90° (ver imagen 16).

Por lo tanto se trata sigue tratándose de un sistema dendrítico – subdendrítico. En el caso de La Gavia y San Diego, las variantes en el cambio de ángulos, no son propios de diferentes contactos geológicos, sino por el tipo de relieve y laderas que presentan, de hecho, se orientan a una clasificación dendrítica, con tendencia pinada – asimétrica.

Lo anterior porque el tipo de laderas rectas conduce a la formación de valles tributarios, de forma diferente, más del lado de mayor gradiente, razón por la que se le denomina como pectiniforme, del latín pecten = peine (Guerra, 1980: 212).

Resalta de este cuadrante que San Diego, presenta la mayor cantidad de cuerpo de agua, en relación con el resto del total de su superficie, y en relación a los otros dos geosistemas.

Clasificación dendrítica – enrejada:

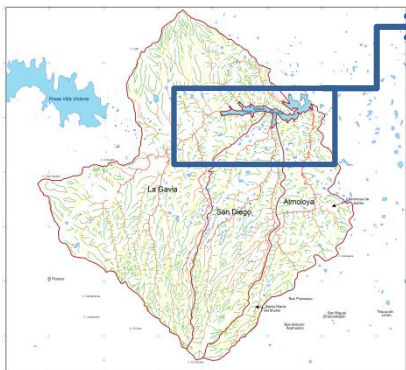


Imagen 17: Hidrología, sección centro-sur, clasificación dendrítica – pinada – asimétrica. Ver a detalle en Mapa de drenaje.

La sección en la que se ubica la exutoria de las subcuencas, presenta en el norte de la presa, en las geoformas de lomeríos, una configuración dendrítica, que es la configuración general de las tres redes de drenaje, pero ya de forma puntual, esta sección muestra tendencias a configuración enrejada.

Aunque no hay control estructural geológico o tectónico, en este espacio, los ángulos casi rectos de los tributarios de primer orden al bifurcarse con los de segundo, son un indicio de este tipo de configuración.

La forma en que se distribuyen de forma casi paralela, unos con otros así como la corta longitud de estos, marcan esta tendencia.

En la sección sur de la Presa, la configuración es diferente por el tipo de geoformas, ya que en esta parte del territorio se ubican zonas de pendiente muy baja, piedemonte y llanuras de acumulación; sin embargo, el modelo de drenaje sigue siendo principalmente de carácter dendrítico.

Cabe señalar, que en esta sección, por el tipo de pendiente, la dirección de los ríos no es recta, sino que debido a los procesos y dinámica de erosión fluvial, presentan una serie de meandros, hasta llegar a las exutorias.

d) Procesos

Gracias a los aportes realizados de Davis, menciona Guerra (1980: 187), es posible que ahora podamos realizar configuraciones del drenaje superficial, íntimamente relacionadas con la clasificación genésica, y en función de esta determinar estructuras geológicas, o bien la etapa del ciclo fisiográfico en que se encuentra la región a estudiar.

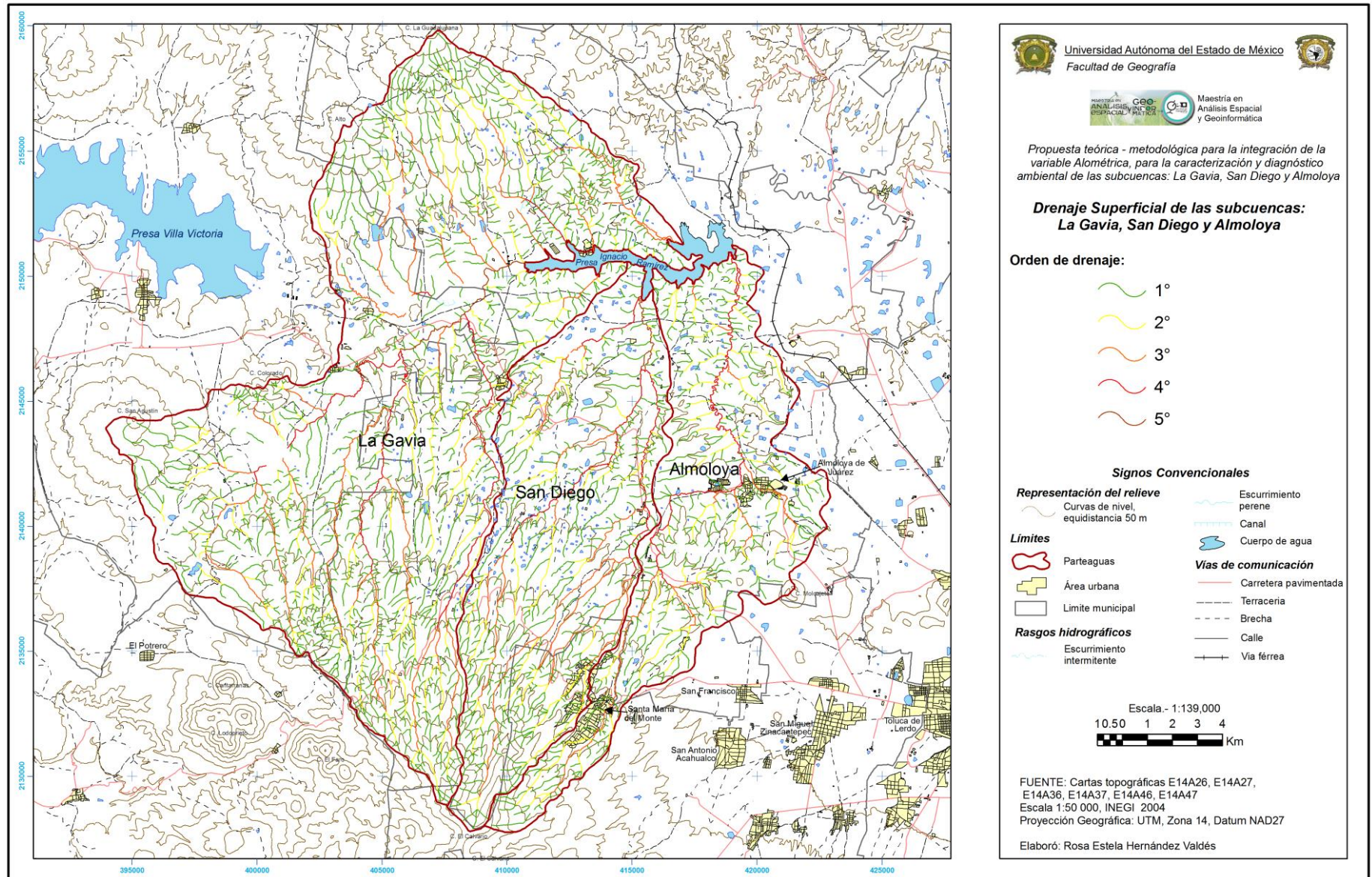
En este caso, como ya se han presentado la caracterización de los otros sistemas de las subcuencas, es más enriquecedor el análisis visual de las redes de drenaje. En este sentido, se han detectado los siguientes procesos:

Tectónicos: en la sección sur, hay fallas y fracturas, pero no están condicionando la distribución espacial del drenaje. En la sección norte, no hay fallas, pero si fracturas, que están condicionando la dirección de los escurrimientos, de hecho reflejan un modelo diferente de drenaje.

Estructurales: entendidos como procesos que se derivan de la presencia de estructuras en el relieve, para esta zona de origen volcánico, y que condicionan la dirección y gradiente de las corrientes.

Litológicos: que están relacionados con los procesos estructurales, ya que derivado de los diferentes tipos de geología y, sus características de dureza o debilidad permiten a los escurrimientos tomar una dirección, e ir formando cada uno de sus valles; acorde al tipo de geoforma que el relieve presente.

Erosivos: en este caso de tipo fluvial, que contribuye a la evolución del paisaje, de hecho, la configuración actual es el reflejo del modelado fluvial sobre el relieve de las subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya; en las cuencas de recepción los valles se presentan más anchos que en las cuencas de recepción y transporte donde son más estrechos.



Mapa hidrológico

VI. Caracterización del sistema de Uso de Suelo

a) Introducción

Las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conocen como uso de suelo (INE, s/d: 1).

En el sistema de Uso de suelo es importante considerar la fisiografía de la zona de estudio, según Rzedowski (1986: 21), por la ubicación y forma de cada región. Entre las generalidades que condicionan el uso de suelo se encuentra la latitud, altitud del relieve, geología, edafología, hidrografía y clima; y es en función de todos estos componentes que el territorio de los tres geosistemas presenta sus características.

Dichas características hacen posible la explotación de las tres subcuencas con diferentes intensidades y propósitos.

En los sitios menos modificados, el uso del suelo está determinado por la vegetación natural, mientras que en regiones donde una porción de la comunidad biológica ha sido explotada parcialmente o bien se está recuperando se califica como 'perturbada' o 'secundaria'; y como 'antrópica' donde la vegetación ya es totalmente diferente a la original al ser modificada por el hombre, incluyendo la cubierta agrícola, ganadera o urbana (INE, s/d: 1)

b) Procedimiento

Para la caracterización del sistema de uso de suelo se presenta el Mapa de Uso de Suelo (ver página 74), tomando como principal insumo las cartas de uso de suelo correspondiente del INEGI, y en escala 1:50 000 y formato analógico, por lo que se realizó la digitalización de los polígonos correspondientes en AutoCAD Map3D versión 10.0, mientras que la edición y cálculo de áreas se realizó en ArcMap 9.3.

Una vez representados de forma espacial, se enlistan a continuación los tipos de usos de suelo representativos por su extensión superficial, que se aprecian en las subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya.

➤ **Uso:**

● **Atp → Agricultura de temporal permanente**

La clasificación de los tipos de agricultura se hace teniendo en cuenta la disponibilidad de agua para los cultivos, en este caso los polígonos refieren a la agricultura establecida de temporal permanente, es decir un sistema de producción que depende del comportamiento de las lluvias durante el ciclo de producción y de la capacidad del suelo para captar el agua y conservar la humedad.

Y es de temporal porque se distingue de acuerdo con la temporalidad del uso agrícola en el área, la ocupación del terreno es constante (más de 5 años) (INEGI, 1981: 20).

● P → Pecuario

Este tipo de uso de suelo refiere a todo aquello que pertenece o es relativo al ganado: producción, comercialización y derivados de las distintas especies animales.

En este sentido lo pecuario para la clasificación de usos de suelo indican este con el estado actual de las comunidades vegetales; de acuerdo con el INEGI (1986: 28), las áreas pecuarias son las más perturbadas desde el punto de vista de las comunidades vegetales e incluso la sobrepoblación de ganado provoca la pérdida casi total de la cubierta vegetal.

La principal cubierta de suelo para el uso pecuario indica vegetación de tipo pastizal, que según Rzendowski (1986: 216), no es de un óptimo manejo por el sobrepastoreo debido a la falta de organización y técnica adecuada que impide obtener el máximo rendimiento, y el buen desarrollo y reproducción de especies nutritivas y apetecidas por el ganado, propiciando el establecimiento de plantas que los animales no comen, y que a menudo son venenosas, por lo tanto se reduce la cobertura del suelo exponiéndolo a efectos erosivos.

● FB → Forestal (bosque)

El uso forestal para estos geosistemas consiste en vegetación arbórea de origen septentrional (holártico) principalmente de regiones de climas templado y semifrío, con diferentes grados de humedad, propias de las regiones montañosas del Sistema Neovolcánico. Por sus características ecológicas y fisonómicas, ha dado lugar a la clasificación de un gran número de tipos de vegetación (INEGI: 1981: 47).

Los usos de suelo referentes a bosques, presentan variantes respecto al tipo de las especies que contienen, entre estas se ubica:

* El bosque de pino, del género *pinus spp*, ese trata de una comunidad siempre verde, asociada con encinares y otras especies, de gran importancia económica en la industria forestal del país por lo que prácticamente todos soportan actividades forestales como aserrío, resinación, obtención de pulpa para celulosa, postería y recolección de frutos y semillas. La vegetación está dominada por diferentes especies de pino con alturas promedio de 15 a 30 m, los pinares tienen un estrato inferior relativamente pobre en arbustos, pero con abundantes gramíneas, esta condición se relaciona con los frecuentes incendios y la tala inmoderada (INEGI, 1981: 50).

* El bosque de encino: comunidad vegetal formada por diferentes especies de encinos o robles del género *Quercus*; generalmente se encuentran como transición entre los de coníferas, pueden alcanzar desde los 4 hasta los 30 m de altura; se encuentra muy relacionada con los de pino, formando una serie de mosaicos difíciles de cartografiar por ser muy similares. Son explotados para extracción de madera y elaboración de carbón, lo cual provoca lo cual provoca que este tipo de vegetación tienda a fases

secundarias que a su vez sean incorporadas a la actividad agrícola y pecuaria (INEGI, 1981: 51-52).

* Bosque de oyamel: comunidad formada por *abies ssp*, que se caracteriza por sobrepasar los 30 m de altura, desarrollados en clima semifrío y húmedo, entre los 2000-3400 m de altitud, las masas arboladas pueden ser mixtas, acompañadas de coníferas y latifoliadas. Su alteración es debido al alto valor comercial de su madera, para leña, aserrío, construcciones, pulpa de papel y trementina usada en la industria de la pintura, cosmética y medicinal, así como para árboles de decoración navideña (INEGI, 1981: 48).

* Bosques formados a partir de las combinaciones de especies anteriores, y algunas otras de menor representatividad por el porcentaje de superficie que ocupan, entre estas especies se encuentra el cedro blanco y sauce. Cabe mencionar que algunos de estos polígonos de bosque son artificiales, algunos de coníferas y latifoliadas.

➤ Asociaciones especiales de vegetación:

● S → Vegetación secundaria

De acuerdo con Rzendowski (1986: 70), este tipo de vegetación se origina como consecuencia de la destrucción total o parcial de la vegetación primaria o clímax, realizada directamente por el hombre o sus animales domésticos. Este tipo de comunidad tiende a desaparecer y dará lugar a otra y otra, hasta llegar nuevamente a un clímax, sin embargo también puede permanecer indefinidamente si la perturbación continúa.

Este tipo de vegetación va en aumento de superficie, por el tipo de proceso que su origen implica.

Para el caso de la zona de estudio el tipo de vegetación secundaria a que se ha dado paso corresponde a matorral inerme, entendido como matorral: la vegetación arbustiva que generalmente presenta ramificaciones desde la base del tallo, cerca de la superficie del suelo y con altura variable, pero casi siempre inferior a 4 m. Hay diferentes tipos de matorral, en los geosistemas predomina el inerme, referido a las plantas sin espinas (INEGI, 1981: 60, 66).

➤ Desprovisto de vegetación:

● Eh → Erosión hídrica

La erosión hace referencia a la degradación del suelo por desgaste del mismo. Se considera únicamente a procesos de erosión favorecido por actividades humanas y naturales (INEGI, 1981: 75). La erosión es un proceso natural, una vez formado el suelo - se considera como - la eliminación física de material por agentes dinámicos o fuerzas erosivas, en especial, el agua, el viento y el hielo.

En el caso específico la erosión hídrica involucra procesos de desprendimientos, transporte y depósito.

c) Interpretación

En el orden vertical del paisaje el uso del suelo se ubica entre uno de los sistemas más superficiales, en el que el ser humano ha logrado establecer una relación estrecha con el uso de suelo, como principal satisfactor de sus necesidades básicas, entre los principales usos que se le han dado en esta región se encuentran los que enseguida se presentan:

Sección sur:

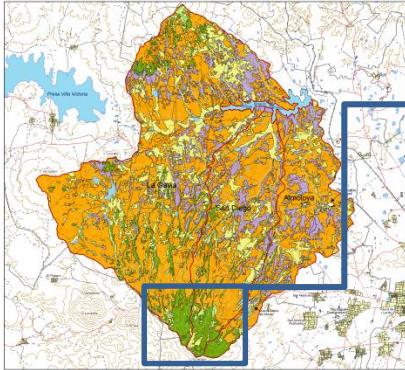


Imagen 18: Uso de suelo, sección sur. Ver detalle en Mapa de Uso de suelo.

Entre los factores que inciden directamente sobre el suelo del suelo se encuentran los sistemas que se han venido describiendo, como la geología, geoformas, edafología e hidrología, ya que es en función de este que se desarrollan ciertas especies vegetales y animales en un espacio determinado.

A este respecto, en la sección sur, por el tipo de basamento litológico y por lo tanto el desarrollo del suelo, el principal uso que se ha cartografiado es el forestal (ver imagen 18).

Lo anterior obedece a otra factor importante que es la altitud sobre el nivel del mar, 3670m, presenta la cima de mayor altitud en esta zona, debido a esto es posible el desarrollo de bosques de pino, encino, oyamel y cedros. Esta zona sur delimitada por al parteaguas, es de gran relevancia, no solo para la zona de estudio, que consiste en una importante zona de recarga, sino que a nivel nacional en la literatura de vegetación de México se exponen las especies aquí desarrolladas como ejemplo del tipo de bosques desarrollados bajo ciertas condiciones.

El uso de suelo forestal para esta sección es representativo, además, por la continuidad que presenta en geoforma, respecto al Nevado de Toluca. El resto de los polígonos que muestran uso forestal se encuentran sobre las laderas rectas de las subcuencas, pero más que ser polígonos geométricos, se trata de alineamientos de árboles de anchura mínima.

Secciones centro y noreste:

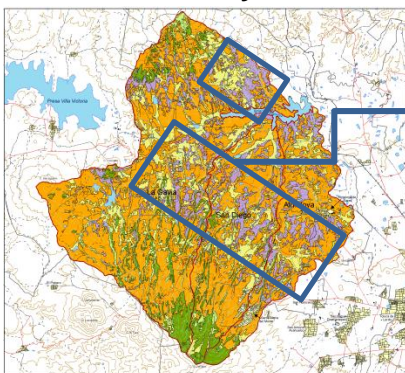


Imagen 19: Uso de suelo, sección sur. Ver detalle en Mapa de Uso de suelo.

Los cuadrantes resaltados en la imagen 19, se destacan por polígonos dispersos, pero continuos de suelo desprovisto de vegetación.

Este tipo de erosión se distribuye especialmente en dirección de los escurrimientos superficiales y por el tipo de laderas y valles que estos presentan.

La erosión hídrica para esta zona de estudio se ha calificado en función de dinámica, como fuerte, llama la atención que el porcentaje total de superficie con esta problemática es de

14.41% y que no está distribuida en las zonas de mayor altitud sino en las intermedias, de piedemonte, especialmente porque no hay ningún tipo de vegetación en esta zona. Posiblemente por el uso agrícola que se está dando en este tipo de geformas y sin ninguna técnica de uso de suelo sostenible.

Sección norte:

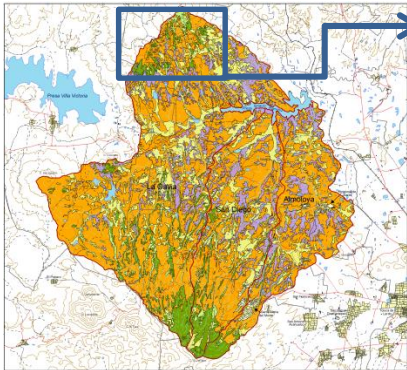


Imagen 20: Uso de suelo, sección norte. Ver detalle en Mapa de Uso de suelo.

En la cuenca de recepción de la zona norte, el geosistema de la Gavia, presenta un comportamiento diferente con respecto al parteaguas de la sección sur. La sección norte carece de vegetación endémica original, por lo tanto por el tipo de relieve y suelo, se ha desarrollado en la cima vegetación secundaria, con especies de pastizal inermes.

Por el tipo de región, es posible que antes de esta vegetación secundaria, también se hubiera tratado de una superficie de uso forestal, pero que por las actividades antrópicas ha sido eliminada, para dar paso a un tipo de vegetación diferente.

De esto dan evidencia pequeños polígonos que aún conservan parte de especies correspondientes a bosques.

En la cuenca de transporte se aprecian por el tipo de pendiente y estructura litológica, superficies con una alto grado de erosión.

Sección oeste y centro norte:

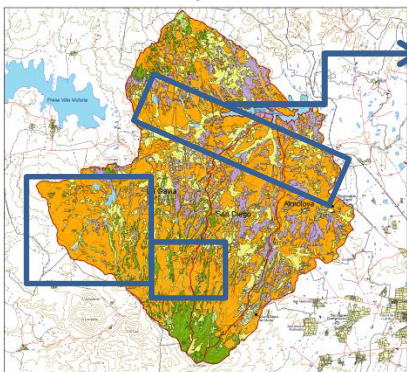


Imagen 21: Uso de suelo, sección norte. Ver detalle en Mapa de Uso de suelo.

Estas secciones resaltan con mayor intensidad el uso agrícola que las poblaciones del lugar le han conferido a estos espacios (ver imagen 21).

Aunque, prácticamente en toda la zona de estudio que comprenden las tres subcuencas, se presenta un comportamiento similar. De hecho, los porcentajes de superficie de este uso son de 57.5% para La Gavia, 56.7% para San Diego y 60.4% en el caso de Almoloya (ver cuadro 13).

Por lo tanto, este tipo de usos de suelos está condicionando

totalmente el uso general del resto de la superficie, ya que a causa de esta actividad, se puede percibir el cambio de uso de suelo forestal, la transición de vegetación primaria a secundaria y las zonas desprovistas de vegetación que quedan a exposición de los factores ambientales erosivos.

De acuerdo con el Cuadro 13, el tipo de agricultura que se da en estos geosistemas es en su mayoría de temporal, la referencia de los porcentajes indica un total de las tres subcuencas de 57.9% de uso agrícola, del cual solo el 11.5% tiene combinaciones con agricultura de riego, vegetación secundaria, de temporal anual y de suelos erosionados (ver cuadro 14). Los principales productos cultivados tienen que ver con maíz en grano y avena forrajera.

Cuadro 13: Uso de suelo por grandes grupos, de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km² y %.

		SUBCUENCA HIDROGRÁFICA						TOTAL POR TIPO DE ROCA	
		LA GAVIA		SAN DIEGO		ALMOLOYA			
N.P	USO DE SUELO	ÁREA EN km ² y %						Km ²	%
1	Uso Agrícola (A)	164.11	57.55	64.07	56.76	57.45	60.44	285.63	57.93
2	Uso Pecuario (P)	51.68	18.12	20.12	17.82	11.54	12.14	83.34	16.90
3	Uso Forestal (F)	23.17	8.13	10.42	9.23	4.64	4.88	38.23	7,75
4	Asociación especial de vegetación:								
5	Vegetación secundaria (S)	8.27	2.90	3.11	2.76	1.31	1.37	12.69	2.57
6	Área desprovista de vegetación:								
7	Erosión hídrica	36.32	12.74	14.86	13.16	19.85	28.88	71.03	14.41
8	Cuerpos de Agua								
9	C. Agua	1.6	0.56	0.3	0.27	0.25	0.26	2.15	0.44
TOTAL CUENCA		285.15 km ²	100%	112.88 km ²	100%	95.04 km ²	100%	493.06 km ²	100%

Elaboración propia con base en el Mapa de Uso de suelo. Entendiendo como:

A = agricultura de r→riego, **A** →anual, **t**→temporal, **P**→permanente.

P = pastizal, **i**→ inducido.

FB = Bosque: **a**→ artificial, **C**→ de coníferas, **Cu** → cedro blanco, **P**→ pino, **L**→ latifoliadas, **Sx**→ sauce, **A**→ oyamel,

Q→encino.

S = vegetación secundaria de: **Mi**→ matorral inerme.

Secciones dispersas:

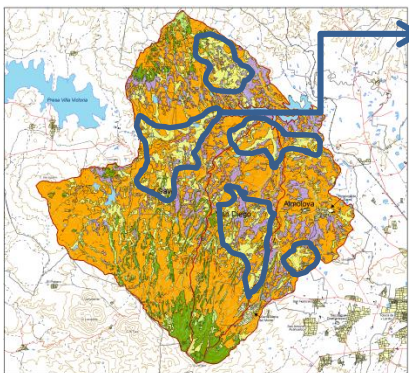


Imagen 22: Uso de suelo, secciones diversas. Ver detalle en Mapa de Uso de suelo.

Estas secciones no se han clasificado por cuadrantes debido a las irregulares formas que presentan, estas formas resaltadas en azul (ver imagen 22), se ubican en geformas de piedemonte, algunas laderas y planicies, debido a este relieve y tipo de suelo son utilizadas con uso de suelo pecuario.

De cuadro con el cuadro 13, este tipo de uso ocupa superficies de 18.1% de superficie de la Gavia, 17.8% de San Diego y 12.1% de Almoloya, resalta que la ubicación de este tipo de uso de suelo este colindando con polígonos de alto grado de erosión. Por lo que se deduce que la actividad pecuaria, específicamente de ganadería está impactando de forma directa

sobre el desgaste del suelo, de forma que todos los nutrientes y materia orgánica del suelo son arrastrados por procesos de meteorización.

d) Procesos

En los polígonos de los tres geosistemas la distribución espacial de los diferentes usos de suelo están determinados por el tipo basamento, relieve, suelo, clima y por supuesto actividades antrópicas que están modificando la dinámica natural del espacio, entre los principales procesos se identifican los siguientes:

Transición de usos de suelo: originalmente la vegetación nativa de las secciones de parteaguas, por el tipo de suelo volcánico en que se ha desarrollado, corresponden a comunidades de bosques de pino, encino y oyamel, principalmente. Sin embargo, antes de continuar es importante mencionar que la cartografía en este sistema no está actualizada, la versión más actualizada es la que ahora se ha mostrado, y corresponde al año de 1976.

Esta aclaración es esencial en función de la actual dinámica de usos de suelo, que se presentan de forma global, y a la cual no escapa esta zona de estudio. Sin embargo se ha retomado como cartografía base, ya que un análisis de estas zonas de estudio a través del tratamiento de imágenes de satélite – que es lo más ideal para análisis para cambios de uso suelo – es en sí mismo un trabajo de investigación.

Por otra parte, este trabajo no pretende mostrar los cambios transitivos, ya que esta investigación corresponde a un estudio de tipo estático o sincrónico, es decir que solo se analiza en un momento dado, no es un período de tiempo.

Ahora bien, el tipo de procesos que se aprecian en los tres geosistemas, refiere a transiciones que se han dado por actividad antropogénica, entre estas se identifican:

* Deforestación: que se considera como la principal causa de pérdida de vegetación primaria, de forma que cualquiera que sea su propósito: recurso maderable comercial o doméstico representa la pérdida no solo de una masa forestal, sino pérdida de hábitats, de suelo, de volumen de recarga de acuíferos por filtración.

Con la destrucción de las áreas forestales, no existe la posibilidad de que el ecosistema se restablezca por proceso de sucesión ecológica natural, la destrucción de extensas áreas arboladas origina siempre extinción; y es justo lo que está sucediendo en las laderas de la cima y laderas sur; ya que la deforestación continua desde el Nevado de Toluca, aun cuando es área natural protegida.

En el caso del parteaguas norte, el proceso es similar, solo que ya se ha extinguido el ecosistema original, para el momento del levantamiento cartográfico, aún existían polígonos forestales, que es difícil pensar 36 años después sigan conservándose en estado original.

* Agricultura: se distribuye con mayor intensidad en prácticamente todo el territorio de los geosistemas, está determinada por los cuerpos de agua que sostienen los cultivos en el caso de las superficies de riego; pero en su mayoría dependen de la temporada de lluvias para la óptima producción.

Este tipo de actividad predomina en los tres municipios que abarcan las tres subcuencas, especialmente en Almoloya de Juárez y Villa Victoria. A consecuencia de la demanda de mayores espacios para la agricultura, la comunidad se extendió hacia espacios de vegetación primaria, contribuyendo a procesos de desgaste de suelo, y que la agricultura que se practica es tradicional de monocultivo de maíz y en algunos casos de intercultivo; pero casi nunca de rotación de cultivos o agricultura sustentable.

* Ganadería: surge como una actividad paralela al uso de suelo agrícola, pero sigue una fase de uso de suelo degradado, es decir, una vez que se tala un espacio, se utiliza para la agricultura, pero cuando el suelo no produce el mismo porcentaje de aprovechamiento, entonces los agricultores visualizan un nuevo uso, el pecuario, solo que esto deteriora aún más el suelo. Por otra parte muchos han orientado su mirada hacia este tipo de actividad, debido a los bajos rendimientos productivos de la tierra y la disminución de los costos de venta en el mercado del principal producto cultivado que es el maíz.

Erosivos: de forma que el suelo que no tiene vegetación primaria, ya ha sido utilizado para procesos agrícolas y ganaderos, una vez que estos pierden su potencialidad son abandonados, quedando vulnerables a procesos erosivos, y por lo tanto carecen de los elementos para sustentar un estrato vegetativo.

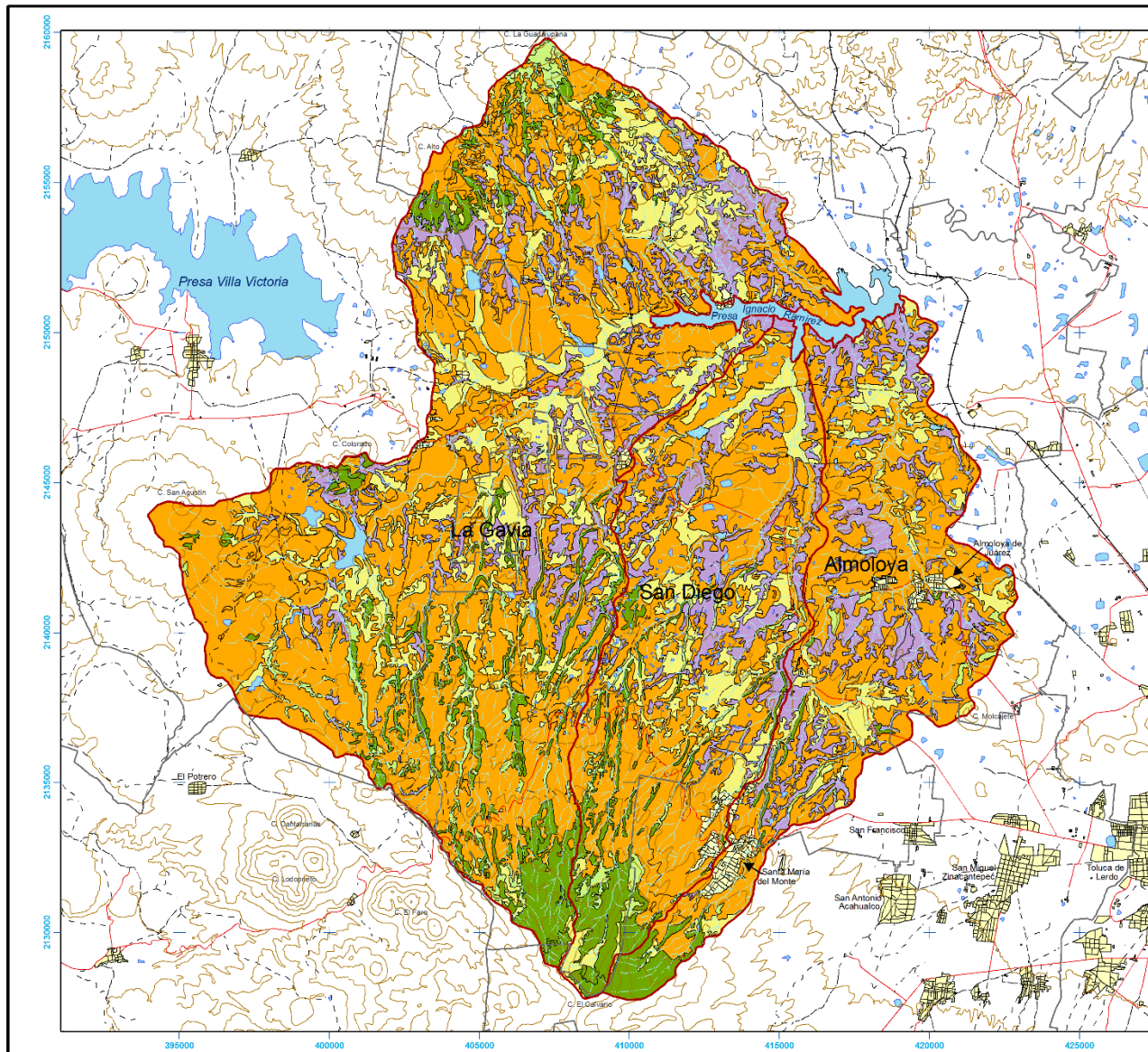
Tomando en cuenta el tiempo transcurrido, es preocupante el ahora actual porcentaje de superficie erosionada, ya que no se han implementado políticas de recuperación para esta área de estudio.

Cuadro 14: Uso de suelo desglosado por categorías, de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya por área en km² y %

N.P	USO DE SUELO	SUBCUENCA HIDROGRÁFICA						TOTAL POR TIPO DE ROCA	
		LA GAVIA		SAN DIEGO		ALMOLOYA		Km ²	%
		ÁREA	EN	km ²	y %				
1	ArSp	-	-	0.45	0.40	-	-	0.45	0.09
2	Atp	-	-	-	-	0.15	0.16	0.15	0.03
3	Atp(A-P)	2.03	0.71	8.01	7.10	0.05	0.05	10.09	2.05
4	Atp(A-P)Pi	0.18	0.06	-	-	-	-	0.18	0.04
5	Atp(P-A)	1.36	0.48	-	-	0.19	0.20	1.55	0.32
6	Atp(P-A)-Ehf	0.64	0.22	-	-	-	-	0.64	0.13
7	AtpA	131.89	46.25	40.49	35.87	37.45	39.40	209.83	42.55
8	AtpA-ArA	23.65	8.29	14.32	12.69	-	-	37.97	7.70
9	AtpA-ArA-Ehf	0.31	0.11	-	-	-	-	0.31	0.06
10	AtpA-Ehf	0.48	0.17	-	-	0.57	0.60	1.05	0.21
11	AtpA-FBC(P)-S(Mi)	0.22	0.08	-	-	-	-	0.22	0.04
12	AtpA-Pi	0.50	0.18	-	-	-	-	0.50	0.10
13	Atp-ArA	-	-	-	-	18.05	18.99	18.05	3.66
14	Atp-Ehf	0.13	0.05	-	-	-	-	0.13	0.03
15	AtpFBC(P)-S(Mi)	0.08	0.03	-	-	-	-	0.08	0.02
16	AtpP	1.83	0.64	0.47	0.41	0.55	0.58	2.85	0.58
17	AtpP-Ehf	-	-	0.06	0.05	-	-	0.06	0.01
18	AtpP-FBC(P)	0.34	0.12	-	-	-	-	0.34	0.07
19	AtpP-Pi	0.07	0.02	0.09	0.08	0.45	0.47	0.61	0.12
20	AtpP-S(Mi)	0.40	0.14	0.18	0.16	-	-	0.58	0.12
21	C. Agua	1.60	0.56	0.30	0.27	0.25	0.26	2.16	0.44
22	Ehf	1.01	0.35	0.09	0.08	-	-	1.09	0.22

23	Ehf-AtpA	0.28	0.10	-	-	0.27	0.29	0.55	0.11
24	Ehf-AtpA-Pi	0.11	0.04	-	-	-	-	0.11	0.02
25	Ehf(Mi)-Pi	-	-	-	-	0.44	0.47	0.44	0.09
26	Ehf-pi	30.77	10.79	14.68	13.01	19.14	20.13	64.59	13.10
27	Ehf-Pi-AtpA	3.33	1.17	-	-	-	-	3.33	0.68
28	Ehf-Pi-FBL(Q)	0.21	0.07	-	-	-	-	0.21	0.04
29	Ehf-S(Mi)	0.27	0.09	0.09	0.08	-	-	0.36	0.07
30	Ehf-S(Mi)-Pi	0.34	0.12	-	-	-	-	0.34	0.07
31	FbaC(Cu)-S(Mi)-Pi	0.07	0.02	-	-	-	-	0.07	0.01
32	FBaC(P)	1.50	0.53	-	-	0.11	0.12	1.61	0.33
33	FBaC(P)-Pi	0.47	0.16	-	-	-	-	0.47	0.10
34	FBaC(P)-Pi-Ehf	0.10	0.04	-	-	-	-	0.10	0.02
35	FBaL(Sx)	-	-	-	-	0.07	0.08	0.07	0.01
36	FBB(A)-FBL(Q)	-	-	0.17	0.15	-	-	0.17	0.04
37	FBC(A)	7.53	2.64	5.80	5.14	3.70	3.90	17.03	3.45
38	FBC(A)-EHF	0.11	0.04	-	-	-	-	0.11	0.02
39	FBC(A)-S(Mi)	0.05	0.02	0.07	0.06	-	-	0.12	0.02
40	FBC(A-P)	1.35	0.47	0.78	0.69	-	-	2.13	0.43
41	FBC(A-P)-FBL(Q)	0.34	0.12	-	-	-	-	0.34	0.07
42	FBC(P)	3.40	1.19	0.26	0.23	-	0.00	3.67	0.74
43	FBC(P)-FBC(Q)	1.94	0.68	-	-	0.27	0.29	2.21	0.45
44	FBC(P)-FBL(Q)	-	-	0.75	0.67	-	-	0.75	0.15
45	FBC(P)-S(Mi)	0.22	0.08	-	-	-	-	0.22	0.04
46	FBC(P-A)	0.45	0.16	-	-	-	-	0.45	0.09
47	FBC(Q)	0.92	0.32	-	-	-	-	0.92	0.19
48	FBC(Q)-FBL(P)	2.10	0.74	-	-	-	-	2.10	0.43
49	FBC(P-A)-Pi	0.61	0.21	0.20	0.18	-	-	0.81	0.16
50	FBL(Q)	1.52	0.53	1.57	1.39	0.48	0.51	3.57	0.72
51	FBL(Q)-S(Mi)	0.49	0.17	0.80	0.71	-	-	1.30	0.26
52	Pi	27.59	9.67	8.82	7.81	3.62	3.81	40.03	8.12
53	Pi-AtpA	0.35	0.12	-	-	-	-	0.35	0.07
54	Pi-AtpA-Ehf	0.39	0.14	-	-	0.29	0.30	0.68	0.14
55	Pi-AtpP	-	-	0.05	0.05	-	-	0.05	0.01
56	Pi-Ehf	20.14	7.06	9.41	8.33	5.14	5.41	34.69	7.03
57	Pi-Ehf-AtpA	-	-	0.86	0.76	2.23	2.35	3.09	0.63
58	Pi-Ehf-AtpP	0.13	0.04	-	-	-	-	0.13	0.03
59	Pi-Ehf-FBL(Q)	0.24	0.08	-	-	-	-	0.24	0.05
60	Pi-FBaC(P)	0.34	0.12	-	-	-	-	0.34	0.07
61	Pi-FBC(A)	-	-	0.27	0.24	-	-	0.27	0.05
62	Pi-FBC(P)	0.36	0.13	0.71	0.63	0.06	0.07	1.13	0.23
63	Pi-FBL(Q)	0.15	0.05	-	-	-	-	0.15	0.03
64	Pi-S(Mi)	1.15	0.40	-	-	0.19	0.20	1.34	0.27
65	Pi-S(Mi)-Ehf	0.50	0.18	-	-	-	-	0.50	0.10
66	Pi-S(Mi)-FBL(Q)	0.33	0.12	-	-	-	-	0.33	0.07
67	S(M)-AtpA	0.10	0.04	-	-	-	-	0.10	0.02
68	S(Mi)	4.32	1.51	1.59	1.41	0.63	0.66	6.53	1.32
69	S(Mi)-AtpA	-	-	-	-	0.31	0.33	0.31	0.06
70	S(Mi)-Atp(A-P)	0.09	0.03	-	-	-	-	0.09	0.02
71	S(Mi)-Ehf	0.37	0.13	0.12	0.11	-	-	0.49	0.10
72	S(Mi)-FBC(A)	0.10	0.04	1.25	1.11	-	-	1.36	0.28
73	S(Mi)-FBC(Cu)	0.01	0.00	-	-	-	-	0.01	0.00
74	S(Mi)-FBC(P)	0.90	0.32	-	-	-	-	0.90	0.18
75	S(Mi)-FBC(Pi)-Pi	0.25	0.09	-	-	-	-	0.25	0.05
76	S(Mi)-FBL(Q)	0.64	0.22	-	-	-	-	0.64	0.13
77	S(Mi)-FBL(Q)-Ehf	0.57	0.20	-	-	-	-	0.57	0.11
78	S(Mi)-Pi	0.87	0.30	0.15	0.13	-	-	1.02	0.21
79	S(Mi)-Pi-AtpA	-	-	-	-	0.25	0.26	0.25	0.05
80	S(Mi)-Pi-Ehf	-	-	-	-	0.12	0.13	0.12	0.02
81	S(Mi)-Pi-FCP(P)	0.05	0.02	-	-	-	-	0.05	0.01
TOTAL CUENCA		285.15 km ²	100%	112.88 km ²	100%	95.04 km ²	100%	493.08	100%

Elaboración propia con base en el mapa de Uso de suelo



Universidad Autónoma del Estado de México
 Facultad de Geografía

Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática

Propuesta teórica - metodológica para la integración de la variable Alométrica, para la caracterización y diagnóstico ambiental de las subcuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya

Uso de Suelo de las subcuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya

Simbología

Uso:

- (A) Agrícola
- (P) Pecuaria
- (F) Forestal

Asociación especial de vegetación:

- (S) Vegetación secundaria

Desprovisto de Vegetación:

- (Eh) Erosión hídrica

Signos Convencionales

Representación del relieve Curvas de nivel, equidistancia 50 m	Escorrentía perenne Canal
Límites Parteaguas Área urbana Limite municipal	Vías de comunicación Carretera pavimentada Terracería Brecha Calle Vía férrea
Rasgos hidrográficos Escorrentía intermitente	Cuerpo de agua

Escala - 1:139 000

FUENTE: Cartas topográficas y Edafológicas E14A26, E14A27, E14A36, E14A37, E14A46, E14A47, Escala 1:50 000, INEGI.
 Año: Topográficas->2004 y Uso de Suelo>1976
 Proyección Geográfica: UTM, Zona 14, Datum NAD27

Elaboró: Rosa Estela Hernández Valdés

Mapa de uso de suelo

VII. Caracterización del Sistema climático

a) Introducción

Por el tipo de superficie al que pertenecen las subcuencas de La Gavia, San Diego y Almoloya, no se presenta un mapa del sistema climático, sin embargo se mencionan algunas características de este, y la influencia que tiene sobre otros geosistemas.

En relación al componente climático, este también contribuye al desarrollo Edafológico, Hidrológico, Ecológico, y procesos del relieve. El área de estudio comprende tres tipos de clima desde el piso altitudinal de altura máxima en las montañas, y sus variaciones hacia la parte media de las subcuencas y planicies.

En el área de mayor altitud y próxima al Volcán Nevado de Toluca, se presenta clima Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5 y 12°C, la temperatura del mes más frío oscila entre los -3 y 1 8°C, y la del mes más caliente 22°C; con precipitaciones de 40 mm en el mes más seco, y porcentaje de lluvia en verano e invernal de 5 al 10.2% del total anual (Cb'(w2)).

Así como un clima Templado, subhúmedo, con temperatura media anual entre 12 y 18°C, -3°C y 22°C en el mes más frío y caliente respectivamente. Con precipitaciones en el mes más seco menores a 40 mm, lluvias en verano con un índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual (C(w1)).

En el resto de la superficie predomina el Templado – subhúmedo, con una temperatura media anual entre 12 y 18°C, -3 y 18°C en el mes más frío y 22°C en el más caliente. La precipitación del mes más seco es menor de 40 mm; y las lluvias de verano con un índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual (C(w2)).

VIII. Caracterización del Sistema Socioeconómico

a) Introducción

Acorde al desarrollo de las investigaciones de carácter espacial, no solo es importante la parte física de la zona, sino que la parte socioeconómica se ha convertido en el complemento de los análisis de cualquier tipo y de cualquier lugar, esto es así porque el ser humano y el medio natural deben aprender a estrechar una relación simbiótica, en la que ambos obtengan beneficios.

Con esta orientación se cumple con la parte de análisis ambiental, en el que tanto los elementos y procesos físicos, económicos y sociales son importantes.

Para esta caracterización se toman solo los elementos más básicos, como la distribución de la población, caracterización básica de esta y sus principales actividades económicas.

b) Procedimiento

Para comprender la dinámica espacial y económica de la población es importante conocer tanto su distribución como el número de habitantes que cada una alberga; en el Mapa de distribución espacial (ver Mapa de Distribución espacial de localidades en página 88), se representa solo de forma puntual la ubicación de cada una de las localidades de mayor representatividad en función del número de habitantes. Solo se están considerando para la representación en el mapa, las localidades de más de 2000 habitantes, el resto de las localidades puede visualizarse en los cuadros 15, 16, y 17.

Del total de las localidades con más de 2000 habitantes, 6 se ubican en La Gavia, que son: Sitio Ejido, Ex Hacienda Mextepec, Benito Juárez, Colonia Loma del Salitre, Cieneguillas de Guadalupe y Ejido San José La Gavia, en general se ubican sobre los piedemonte y planicies de acumulación, por lo tanto están cerca de las exutorias de los ríos.

Para el caso del geosistema de San Diego, presenta la distribución de 7 localidades, a diferencia de La Gavia, estas se ubican desde cerca de la cuenca de recepción; de sur a norte se ubica El Cóporo, San Bartolo del Llano (San Isidro), Poteje Sur, San Agustín Poteje Centro, San Miguel Almoloyan, Paredón Ejido y San Pedro de la Hortaliza.

La subcuenca de Almoloya presenta continuos urbanos con la de San Diego, desde la zona de parteaguas, y de las tres subcuencas es la que presenta una tendencia de crecimiento por la cercanía que tiene con la zona metropolitana de la Ciudad de Toluca, y Zinacantepec. Las localidades que presenta son 11, de sur a norte: Barrio de México, Santa María del Monte, San Bartolo del Llano (El Viejo), San Mateo Tlalchichilpan, La Cabecera, Barrio La Concepción (San Pedro), Almoloya de Juárez, Fraccionamiento SUTEYM, San Lorenzo Cuauhtenco, La Cabecera 3ra sección y Ejido de San Pedro.

c) Interpretación

Los municipios que comprenden las tres subcuencas corresponden al Estado de México, identificado por el INEGI con la clave de entidad federativa 15, cuenta con una población total de 15,175,862 habitantes, de los cuales 7,396,986 (49%), es población masculina y 7,778,876 (51%) población femenina de acuerdo con el Censo de Población y vivienda 2010 (INEGI, 2011).

En el caso del municipio de Almoloya de Juárez es el municipio 5 de la entidad, alberga una población total de 147,653 esto es el 0.97% del total de la población estatal. De esta población total 73,783 (50%) es población masculina, de igual forma 73,870 (50%) femenina, manteniendo así, un mismo comportamiento municipal por sexo (ver cuadro 15).

Villa Victoria presenta el 0.62% de la población estatal, con una población total de 94,369 habitantes, de los cuales 46,657 son hombres y 47,712 mujeres, esto es el 49 y 51% respectivamente. La clave del municipio es 114 (ver cuadro 16).

Para el municipio de Zinacantepec se presenta el 1.1% de la población de la entidad, con una población total de 167,759 habitantes, de los cuales 82,109 son hombres y 85,650 esto equivalente nuevamente al 49 y 51% respectivamente. La clave de este municipio es 118 (ver cuadro 17).

Cuadro 15: Tabla que muestra las localidades del municipio de Almoloya de Juárez, con datos de localización: longitud, latitud y altitud, así como población total y por sexos.

N.P	LOCALIDAD	Longitud	Latitud	Altitud	Población total	Pob. masculina	Pob. femenina
1	Villa de Almoloya de Juárez	994530	192209	2614	3091	1469	1622
2	Colonia Bellavista	994839	191759	2840	1289	642	647
3	Benito Juárez	995125	192655	2562	2342	1129	1213
4	La Cabecera	994453	192122	2633	6559	3194	3365
5	Cañada de Guadarrama	994726	191843	2713	1414	728	686
6	Cieneguillas de Guadalupe	995132	192419	2603	3089	1484	1605
7	San Agustín Citlali	994745	192859	2599	3111	1496	1615
8	Arroyo Zarco	995441	191933	2853	755	386	369
9	Dilatada Sur (Dilatada)	995408	191752	3011	1512	741	771
10	El Estanco	995306	191935	2844	806	396	410
11	Ejido la Gavia (San José la Gavia)	995246	192316	2640	2157	1077	1080
12	Loma Blanca	995130	192128	2707	259	122	137
13	Loma del Salitre (Colonia Loma del Salitre)	995021	192713	2583	925	443	482
14	Mayorazgo de León (Estación Río México)	994446	192809	2590	4030	2003	2027
15	Mextepec (Ex-Hacienda Mextepec)	995330	192739	2600	3424	1714	1710
16	Mina México	994346	192432	2610	3479	1751	1728
17	Ocoyotepec (Ocoyotepec Centro)	995032	192942	2711	700	350	350
18	Barrio la Unión de Ocoyotepec	995040	192813	2581	336	171	165
19	Paredón Ejido	995015	192253	2626	800	397	403
20	Salitre de Mañones	994721	192618	2582	2273	1120	1153
21	San Agustín las Tablas	994937	192711	2569	634	337	297
22	San Agustín Poteje Centro	994950	191941	2760	2184	1073	1111
23	Poteje Norte	994900	192043	2693	741	355	386
24	Poteje Sur	995057	191857	2886	2048	993	1055
25	San Antonio Buenavista	995414	192100	2736	788	390	398
26	San Cristóbal	995005	192530	2593	455	202	253
27	San Francisco Tlalcalcalpan	994608	191732	2771	16509	7965	8544
28	San Lorenzo Cuauhtenco	994707	192208	2615	2034	980	1054
29	San Mateo Tlalchichilpan	994521	192038	2717	4478	2197	2281
30	San Miguel Almoloyán	994756	192124	2637	3165	1562	1603
31	San Nicolás Amealco	995219	191929	2849	1069	544	525
32	Barrio San Pedro (La Concepción San Pedro)	994553	192203	2590	3167	1549	1618
33	Ejido de San Pedro	994625	192338	2590	2020	990	1030
34	San Pedro de la Hortaliza (Ejido Almoloyán)	994904	192317	2585	2459	1241	1218
35	Tabernillas (Santa Catarina)	995202	192858	2716	1638	801	837
36	Santa Juana Primera Sección	994427	192323	2617	1979	956	1023
37	Santa Juana Segunda Sección	994349	192744	2598	864	430	434
38	Santa María Nativitas	994618	192131	2624	3532	1766	1766
39	Santiaguito Tlalcalcalpan	994344	192024	2704	8761	5183	3578
40	La Tinaja	995441	192241	2657	218	100	118
41	El Tulillo	995140	191944	2818	232	116	116
42	Yebuciví Centro (Yebuciví)	995426	193020	2962	1747	861	886
43	Ex-Hacienda Boreje	994756	192620	2578	9	*	*
44	Barrio del Jacal de Yebuciví	995315	193058	3140	395	196	199
45	Ejido San Diego	994926	192544	2578	1091	541	550
46	Barrio la Galera (La Galera)	995104	191934	2811	576	283	293
47	La Lima	995246	191812	2993	439	220	219
48	Rancharía de San Diego (Ciénega de San Diego)	994742	192453	2596	213	101	112
49	San Isidro (El Reservado)	994644	191825	2747	2088	995	1093
50	Rancho San José Amealco (Rancho el Capulín)	994406	192208	2627	4	*	*
51	La Soledad Ocoyotepec	995127	193133	2912	301	147	154
52	Ejido Tres Barrancas	994744	192009	2682	963	448	515
53	Barrio los Lagartos Yebuciví	995340	192907	2794	540	269	271
54	Río Frío (Río Frío Yebuciví)	995544	193040	2918	775	394	381
55	Palos Amarillos (Palos Amarillos Yebuciví)	995500	193222	2983	2017	1004	1013
56	Besana Ancha	994553	191820	2740	651	317	334
57	Rancho Atotonilco	994559	192651	2584	6	*	*
58	Barrio de la Cabecera Primera Sección	994438	192134	2649	3	*	*
59	Barrio de la Cabecera Tercera Sección	994515	192228	2610	2243	1098	1145
60	Casa Nueva (Casa Nueva Yebuciví)	995458	192925	2987	797	392	405
61	Cieneguillas de Mañones	994831	192723	2587	342	181	161
62	Rancho los Gavilanes	994650	192830	2581	2	*	*
63	La Hortaliza	994835	192324	2590	1155	557	598
64	Colonia Lázaro Cárdenas (La Trampa)	995050	193001	2746	376	190	186
65	Loma de la Tinaja	995034	192634	2567	268	129	139
66	Santa Juana Centro (La Palma)	994503	192537	2596	2158	1480	678
67	Paredón Centro	995012	192107	2705	445	221	224
68	Barrio el Plan Ocoyotepec	994843	193015	2619	109	53	56
69	Rancho la Soledad	994652	192806	2558	6	*	*
70	Rosa Morada	995141	191742	3029	446	234	212
71	Santiaguito	994951	192415	2603	989	493	496
72	El Santito (Barrio el Santito Yebuciví)	995601	192947	2937	469	239	230

73	San Agustín Tabernillas	995100	193115	2824	5	*	*
74	Ejido San Antonio Ocoyotepec	994719	192815	2575	479	235	244
75	Rancho San Diego Buenavista (Ejido San Diego)	994832	192517	2583	4	*	*
76	El Tepetatal	994616	192038	2702	1480	716	764
77	La Venta	995007	193137	2712	10	6	4
78	San Antonio Atotonilco	994637	192749	2552	511	243	268
79	Unidad Habitacional Olaldea (Colonia Olaldea)	994834	192015	2655	51	23	28
80	Laguna de Tabernillas (El Resbaloso)	995242	192741	2601	1568	787	781
81	Arroyo Zarco la Mesa	995408	191923	2875	236	121	115
82	Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco	994635	192307	2579	213	107	106
83	Ejido de Santa Juana Primera Sección	994358	192532	2600	65	34	31
84	La Lagunita Yebuciví	995230	192953	2871	146	75	71
85	La Palma (Ejido de San Francisco Tlalcilcalpan)	994706	192004	2685	15	5	10
86	Conjunto Habitacional Ecológico SUTEYM	994643	192208	2606	2719	1368	1351
87	Colonia la Navidad	994539	192138	2639	980	480	500
88	Loma del Puente	995140	192908	2716	200	107	93
89	El Plan	994747	192222	2626	1083	524	559
90	Barrio San Pedro Zona Norte	994549	192239	2594	466	213	253
91	Barrio Santa Juana	994350	192107	2659	210	106	104
92	Cerro San Mateo	994504	192020	2783	146	75	71
93	Loma del Jacal (Loma de las Mangas)	995226	192806	2607	813	409	404
94	Loma del Rancho	995115	192741	2587	433	221	212
95	Loma de San Miguel	994730	192031	2725	1676	805	871
96	El Plan de San Pedro	994607	192218	2584	1020	502	518
97	Paredón Ejido Norte	994946	192340	2614	320	143	177
98	Barrio del Carmen	994746	192704	2577	601	302	299
99	Buenavista Yebuciví	995229	193105	3084	254	125	129
100	Ejido el Estanco	995228	192104	2749	968	494	474
101	La Posta	995324	191812	2993	336	172	164
102	Fraccionamiento Colinas del Sol	994425	192220	2621	6640	3272	3368
103	Loma de Guadalupe	994807	191748	2818	640	310	330
104	Fraccionamiento el Álamo	994534	192250	2605	416	198	218
					147653	73783	73870

Elaboración propia con datos del Censo de población y vivienda (INEGI, 2010).

Cuadro 16: Tabla que muestra las localidades del municipio de Villa Victoria, con datos de localización: longitud, latitud y altitud, así como población total y por sexos.

N.P	LOCALIDAD	Longitud	Latitud	Altitud	Población total	Pob. masculina	Pob. femenina
1	Villa Victoria	995943	192631	2600	3827	1875	1952
2	La Alameda	995851	193037	2631	614	306	308
3	Casas Coloradas	1000313	192823	2571	890	434	456
4	Los Cedros	995908	193008	2613	1010	508	502
5	Cerritos del Pilar	1000112	192643	2612	1228	625	603
6	Cuadrilla Vieja	995924	193057	2675	1015	481	534
7	Dolores Vaquerías	1000250	192448	2571	966	482	484
8	El Espinal	1000333	192754	2589	1917	935	982
9	Ejido el Hospital	995440	192553	2604	1743	858	885
10	Jesús María	995947	192515	2632	1821	886	935
11	Laguna Seca Ejido Primera Sección	995508	192318	2630	648	321	327
12	Laguna Seca Propiedad	995942	192042	2723	896	445	451
13	Loma de Guadalupe	995957	193031	2623	598	286	312
14	San Luis la Manzana	995540	192020	2782	1173	585	588
15	Mina Vieja	995638	193309	2892	1771	874	897
16	Los Padres Ejido	995636	192721	2589	736	361	375
17	Palizada	1000600	193021	2653	1141	560	581
18	Las Peñas	995958	192659	2575	1469	716	753
19	Potrero de San Diego	1000500	192927	2664	1006	499	507
20	La Puerta del Pilar	1000048	192723	2609	2925	1463	1462
21	San Agustín Berros	1000032	192453	2658	1289	653	636
22	Sección de Guadalupe	995808	192535	2633	1280	636	644
23	San Agustín Canohillas Segunda Sección	1000039	192234	2913	218	116	102
24	San Diego del Cerrito	1000026	193031	2658	2402	1135	1267
25	San Diego Suchitepec	1000140	193139	2846	411	203	208
26	San Felipe de la Rosa	1000330	192928	2587	836	405	431
27	San Joaquín del Monte	995416	192501	2608	1514	722	792
28	San Luis la Gavia	995550	192144	2702	1170	570	600
29	San Luis el Alto	995511	191808	2940	874	448	426
90	San Marcos de la Loma	995733	193005	2725	3401	1683	1718
31	San Pedro del Rincón	1000050	192610	2598	1308	652	656
32	Sansón	995720	192302	2668	640	312	328
33	Santa Isabel del Monte	995752	192429	2669	1823	885	938
34	Santiago del Monte	995644	192400	2778	1733	883	850
35	Sitio Ejido	995411	192724	2600	2725	1347	1378
36	Mesa de Suchitímber	1000606	192749	2670	511	239	272
37	Turcio Primera Sección	995806	192009	2691	890	426	464
38	La Unión Berros	1000126	192338	2782	575	285	290
39	La Campanilla	995628	193000	2868	1815	880	935
40	El Fresno San Agustín	995857	192432	2691	704	360	344
41	San Agustín Altamirano Segunda Sección	995519	192230	2651	541	292	249
42	San Agustín Canohillas Primera Sección	1000125	192240	2799	616	308	308
43	Barrio de San Isidro	995731	193117	2768	1176	592	584
44	Turcio Segunda Sección	995738	192159	2657	1065	536	529
45	Turcio Tercera Sección	995656	191907	2826	568	293	275
46	Venta de Ocotillos	995719	192758	2594	1340	672	668
47	El Atole	1000646	193107	2679	298	155	143
48	Las Milpas	1000640	193045	2681	325	170	155
49	Campo Nuevo	1000726	192937	2719	205	92	113
50	Loma del Burro	1000830	192907	2869	37	16	21
51	Vaquerías Palizada	1000843	192830	2857	151	84	67
52	El Catorce	1000645	192917	2699	451	227	224
53	Ojo de Agua	1000718	192805	2687	385	199	186
54	Los Remedios Suchitepec	1000248	193044	2628	668	318	350
55	Loma de la Rosa	1000246	193142	2673	440	231	209
56	Los Cedros Suchitepec	1000207	193033	2713	819	377	442
57	Loma de San José	1000009	193207	2771	838	394	444
58	Agua Zarca	1000114	193250	2860	724	348	376
59	Loma de Lienzo	995833	192951	2606	1423	699	724
60	El Jacal	1000005	192920	2563	197	98	99
61	Sitio Centro	995557	192749	2626	1178	581	597
62	Ejido las Peñas	995943	192819	2570	56	34	22
63	Rancho de los Padres Propiedad	995853	192639	2571	467	249	218
64	La Presa	1000311	192730	2557	176	83	93
65	Loma del Molino	995819	192828	2586	289	141	148
66	Barrio de Centro del Cerrillo	995715	193213	2841	2203	1107	1096
67	Los Aviones	1000648	193006	2725	142	61	81
68	El Capulín	1000550	192912	2629	336	164	172
69	Centro del Cerrillo	995814	193229	2862	1759	864	895
70	San Agustín Altamirano Primera Sección	995823	192246	2706	1153	593	560
71	Ejido San Pedro del Rincón (Cerro del Tecolote)	1000216	192629	2622	13	*	*

72	San Roque	995738	192849	2627	1283	630	653
73	Santa Cruz de la Rosa	1000323	192959	2580	500	260	240
74	Barrio el Vivero	1000207	192711	2559	1371	683	688
75	Los Matorrales	995142	192527	2599	315	168	147
76	Puente los Velázquez	995225	192554	2571	421	203	218
77	El Panteón	1000152	193012	2677	456	236	220
78	Barrio el Cerrillo	995900	192842	2568	499	262	237
79	Mesa del Espinal	1000527	192754	2619	234	116	118
80	Agua Grande	1000119	193157	2811	794	374	420
81	Cerrillo Chico	1000149	193134	2836	576	272	304
82	Nuevo Bosque	1000203	192933	2566	655	339	316
83	La Providencia	1000133	192927	2560	335	157	178
84	Barrio de San Miguel	995721	193043	2742	1074	506	568
85	Ejido de Villa Victoria	1000357	192727	2553	247	126	121
86	Ejido de Jesús María Segunda Sección	995511	192727	2617	243	120	123
87	San Agustín Monte Alto, La Trampa	1000016	192256	2931	169	86	83
88	Hospital Propiedad (Dos Estrellas)	995652	192519	2607	596	287	309
89	Barrio de PuenteCillas	995855	193205	2822	1027	507	520
90	Ramejé	1000017	193120	2721	864	426	438
91	San Antonio del Rincón	1000000	193252	2805	1527	766	761
92	Jesús María Monte Alto	1000124	192451	2658	200	94	106
93	Loma Larga	1000606	192952	2690	47	19	28
94	La Mesa	1000128	193126	2868	450	224	226
95	Colonia Doctor Gustavo Baz	995518	192438	2617	1548	748	800
96	El Gallito	995346	192224	2681	211	106	105
97	Laguna Seca 2da. Sección	995757	192315	2681	346	178	168
98	Ex-Hacienda de Ayala	995925	192953	2611	465	230	235
99	Cerrillo Grande	1000243	193118	2685	630	311	319
100	Barrio el Centenario	995944	193106	2643	504	254	250
101	Turcio la Loma	995712	192043	2751	703	359	344
102	Ejido Puerta del Pilar	1000447	192805	2627	55	28	27
103	Ojitos de Agua	1000021	192723	2561	167	82	85
104	Barrio el Ocote	995634	192803	2624	799	414	385
105	Piedras Blancas (Piedras Blancas Centro)	995606	193135	2879	756	385	371
106	Piedras Blancas Sur	995439	192630	2592	750	379	371
					94369	46657	47712

Cuadro 16: Elaboración propia con datos del Censo de población y vivienda (INEGI, 2010).

Cuadro 17: Tabla que muestra las localidades del municipio de Zinacantepec, con datos de localización: longitud, latitud y altitud, así como población total y por sexos.

N.P	LOCALIDAD	Longitud	Latitud	Altitud	Población total	Pob. masculina	Pob. femenina
1	San Miguel Zinacantepec	994406	191706	2746	54220	26129	28091
2	Rancho las Ánimas	994452	191636	2776	595	441	154
3	Buenavista	994924	191219	3115	560	293	267
4	Colonia la Deportiva Rancho Viejo	994220	191659	2729	1261	651	610
5	Contadero de Matamoros (San José)	994836	191412	3038	2082	1063	1019
6	El Cópore	995007	191659	2988	6068	2980	3088
7	El Curtidor	995006	191730	2897	2301	1148	1153
8	Colonia Morelos (Ejido San Juan de las Huertas)	994445	191440	2857	2915	1416	1499
9	Loma Alta	994823	191017	3447	530	262	268
10	Loma de San Francisco	994833	191700	2918	1252	623	629
11	El Molino (Hacienda del Molino)	994451	191710	2754	2	*	*
12	Cerro del Murciélago	994517	191655	2816	1079	540	539
13	Ojo de Agua	994619	191255	3017	2083	1022	1061
14	La Peñuela	995117	190939	3033	655	332	323
15	La Puerta del Monte (La Puerta)	994855	191151	3168	253	130	123
16	San Antonio Acahualco	994628	191638	2800	16442	8037	8405
17	San Juan de las Huertas	994524	191444	2861	12253	6054	6199
18	Ejido San Lorenzo Cuauhtenco	994501	191805	2741	8024	3975	4049
19	San Pedro Tejalpa	994727	191534	2861	1892	911	981
20	Santa Cruz Cuauhtenco	994344	191449	2802	7460	3640	3820
21	Santa María del Monte	994916	191731	2903	3922	1926	1996
22	Santa María Nativitas	994318	191946	2678	284	145	139
23	Rancho Serratón	994322	191849	2692	7	*	*
24	Tejalpa	994555	191504	2856	2729	1359	1370
25	Colonia Ricardo Flores Magón	994530	191606	2805	2315	1123	1192
26	Recibitas (El Remolino)	994534	191401	2941	602	296	306
27	San Bartolo del Llano (San Isidro)	994939	191819	2845	2348	1170	1178
28	San Bartolo el Viejo	994926	191756	2874	3312	1629	1683
29	Barrio de México	994942	191657	2964	7414	3706	3708
90	Cruz Colorada	994823	191118	3249	35	20	15
31	Raíces	994818	190939	3498	664	331	333
32	San José Barbabosa	994312	191633	2742	1009	486	523
33	Colonia Nueva Serratón	994342	191841	2703	126	58	68
34	Rinconada de Tecaxic	994339	191904	2686	63	30	33
35	Colonia San Matías Transfiguración	994412	191623	2769	2179	1076	1103
36	La Cañada (Cañada Grande)	994653	191658	2792	793	372	421
37	Colonia la Herradura	994726	191626	2831	81	36	45
38	Ciendabajo (Hacienda de Abajo)	994656	191630	2803	772	381	391
39	La Joya	994532	191635	2791	3800	1868	1932
40	Colonia Praztitlán (Colonia de los Ingenieros)	994439	191902	2703	253	129	124
41	El Capón (Puerta del Llano)	994447	191856	2711	158	81	77
42	Dos Caminos (Crucero de la Puerta)	994826	191250	3119	27	14	13
43	Agua Blanca Ejido de Santa María del Monte	995026	190442	3175	113	59	54
44	Loma de San Luis Mextepec	994525	191925	2760	106	53	53
45	Barrio de la Rosa	995050	191810	2964	229	118	111
46	San Miguel Hojas Anchas	995029	191740	2905	848	414	434
47	Colonia Dos de Marzo	994426	191453	2820	477	243	234
48	Colonia la Virgen	994334	191813	2708	562	267	295
49	Colonia Cuauhtémoc	994742	191502	2894	1718	813	905
50	El Kiosco	994916	191631	2985	192	97	95
51	Los Rosales	994243	191615	2746	547	276	271
52	Conjunto Urbano la Loma I	994355	191935	2725	6192	2930	3262
53	Conjunto Urbano Privadas de la Hacienda	994322	191902	2684	284	139	145
54	El Porvenir I	994344	191901	2687	1514	727	787
55	Santa Martha	994330	191930	2684	156	86	70
56	San José [Mina]	994448	191333	2962	1	*	*
					Σ= 167759	82109	85650

Elaboración propia con datos del Censo de población y vivienda (INEGI, 2010).

d) Procesos

Los principales procesos que para esta caracterización se toman en cuenta, tienen que ver con las actividades económicas que se desarrollan en los tres municipios, y que va ligado a los usos de suelo por las actividades del sector primario, y que ayudan a comprender los usos actuales. La descripción se presenta por municipios:

Almoloya de Juárez:

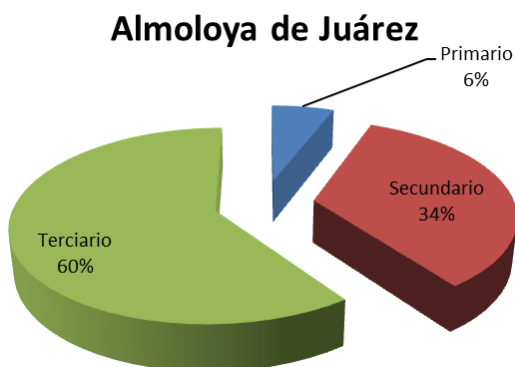


Imagen 23: Gráfico de las actividades económicas por sector y porcentaje. En base a INEGI (2010).

De acuerdo con los tabulados del cuestionario ampliado del Censo de Población y Vivienda 2010, la población ocupada de este municipio 55 009 personas, de las cuales el 6% se ubica en actividades del sector primario, es decir, las relacionadas a la agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca.

El 34% al sector secundario, correspondiente a actividades relacionadas con la minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción.

El 60% restante se ubica en actividades de transporte, gobierno y otros servicios, propios del sector terciario, tal como se aprecia en la imagen 23.

Villa Victoria:

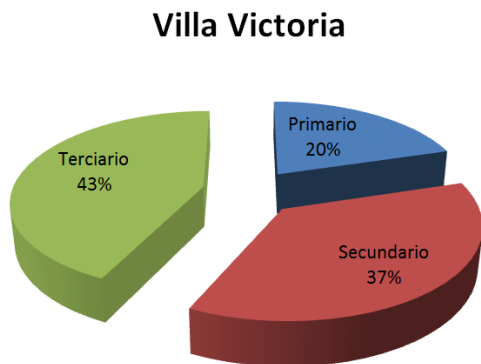


Imagen 24: Gráfico de las actividades económicas por sector y porcentaje. En base a INEGI (2010).

Para este municipio la población ocupada corresponde a un total de 31 260 habitantes de los cuales, el 20% se ubica en actividades del sector económico primario.

Con respecto al sector secundario y terciario, presentan un comportamiento más o menos similar, pues el 37% corresponde al secundario, mientras que el 43% al terciario.

De los tres municipios, Villa Victoria, es el menos urbanizado aunque con mayor número de localidades, estas se presentan en asentamientos dispersos y con un número de habitantes menores a los incluidos en este análisis.

Zinacantepec:

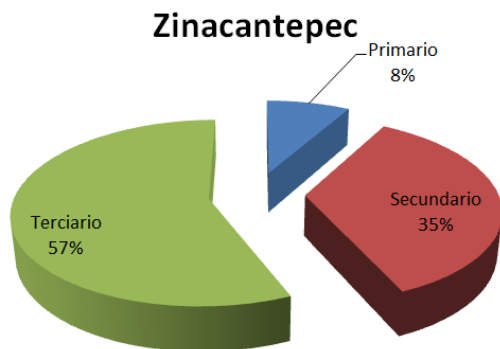
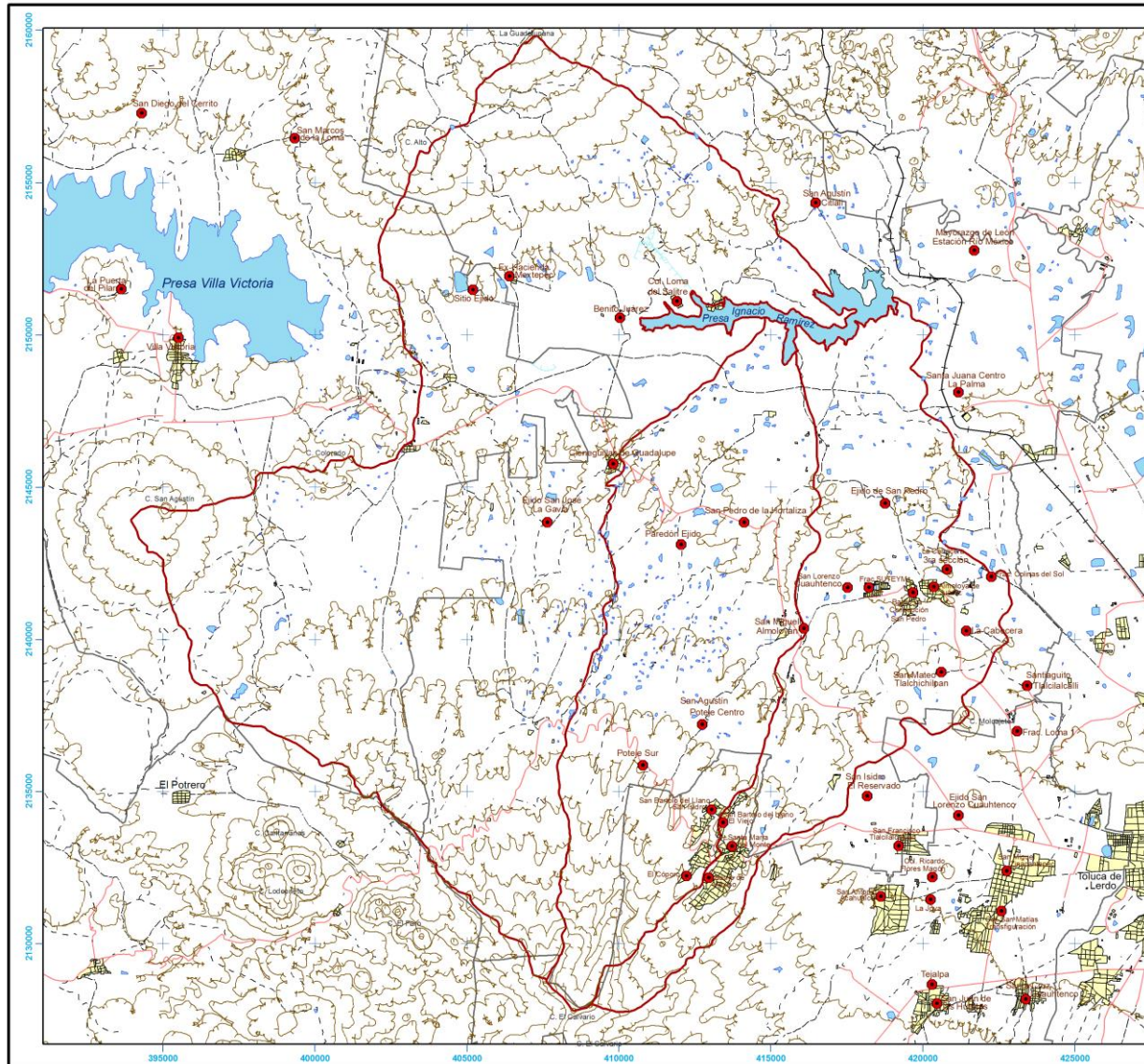


Imagen 25: Gráfico de las actividades económicas por sector y porcentaje. En base a INEGI (2010).

Zinacantepec, en realidad solo comparte la zona de parteaguas sur, con los tres geosistemas, por lo tanto no representa una superficie significativa, sin embargo 5 de las principales localidades se encuentran dentro de este límite municipal. Por esta razón, es importante incluirlo en la caracterización.

Aunque solo presenta 56 localidades, de los tres municipios es que mayor población alberga. Su población total ocupada asciende a 59 643, de las cuales solo el 8% se mantiene en actividades propias del sector primario, un 35 % en actividades correspondientes al secundario y el 57% restante a actividades del sector terciario.



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía

Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática

Propuesta teórica - metodológica para la integración de la variable Alométrica, para la caracterización y diagnóstico ambiental de las subcuencas: La Gavia, San Diego y Almolya

Distribución espacial de las localidades de las Subcuencas La Gavia, San Diego y Almolya

Simbología:

Localidades de más de 2000 habitantes

Signos Convencionales

Representación del relieve	Escorrentía perene
Curvas de nivel, equidistancia 50 m	Canal
Límites	Cuerpo de agua
Parteaguas	Vías de comunicación
Área urbana	Carretera pavimentada
Límite municipal	Terracería
Rasgos hidrográficos	Brecha
Escorrentía intermitente	Calle
	Vía férrea

Escala: - 1:139,000

10.50 1 2 3 4 Km

FUENTE: Cartas topográficas E14A26, E14A27, E14A36, E14A37, E14A46, E14A47
 Enso de Población y vivienda 2010, INEGI
 Escala 1:50 000, INEGI 2004
 Proyección Geográfica: UTM, Zona 14, Datum NAD27

Elaboró: Rosa Estela Hernández Valdés

Mapa de localidades

e) Conclusión

Del análisis que se ha presentado, se deduce en términos generales que aunque la cartografía de Uso de suelo de hace algunos años, resaltaba la actividad agrícola, de forma homogénea en las tres subcuencas, y con altos valores de producción; en la actualidad al revisar imágenes satelitales sencillas como las del *Google Earth* del 2012, se sigue apreciando un espacio prácticamente agrícola en su totalidad.

Sin embargo, en realidad en estos años la actividad primaria, específicamente la agrícola, ha dejado de ser una actividad económica relevante; tan sólo para Almoloya y Zinacantepec un 6 y 8% respectivamente, de la población se dedica a esta actividad.

En el caso de Villa Victoria un 20% aún conserva esta actividad, esto por la ubicación espacial en que se encuentra; pero la tendencia ya está definida hacia la migración de actividades agrícolas hacia las de transporte, gobierno y otros servicios, propios del sector terciario. Entre las principales causas del abandono de la actividad agrícola se encuentran los bajos costos en el precio de venta del maíz, que es el principal producto cultivado, así como los altos costos de inversión para producción, y la disminución de producción por factores económicos y climáticos.

En función de lo anterior, resaltan problemáticas que demandan consideración por el impacto que las poblaciones han ejercido sobre la zona de estudio y los activos ambientales: agua, suelo, aire, biota, paisaje; al contaminarlos se convierten en pasivos ambientales reduciendo su aprovechamiento óptimo.

Dichas problemáticas tienen que ver con problemas de desgaste, erosión y pérdida total de suelo y cobertura vegetal; aunado a los problemas de contaminación en el principal cuerpo de agua: la Presa Ignacio Ramírez. Por lo que se hace indispensable una evaluación ambiental de los tres geosistemas, a fin de determinar políticas de protección, conservación, restauración y recuperación para las diferentes zonas de las cuencas.

En el siguiente capítulo, se presenta un análisis cuantitativo profundo de las redes de drenaje, en el que a partir de un análisis alométrico, se deriva el análisis ambiental de estos tres espacios.



Cuenca norte de recepción de La Gavia

CAPITULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y APLICACIÓN DE LA PROPUESTA

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y APLICACIÓN DE LA PROPUESTA

Acorde a la estructura de la investigación, en este capítulo se desarrolla la propuesta de análisis alométrico para el diagnóstico ambiental en cuencas hidrográficas, para ello se han tomados tres geosistemas como ejemplo de caso de estudio, en que se exponen los elementos necesarios para un Análisis Alométrico, y los pasos a considerar en este desarrollo.

Para este efecto, el capítulo se presenta en dos secciones, la primera contiene información de carácter teórico general de cómo desarrollar el Análisis Alométrico de cuencas. Así como una breve explicación del tipo de líneas de tendencia, utilizadas en los diferentes diagramas matriciales, en la aplicación de la propuesta.

La segunda explica de forma práctica, cómo llevar a cabo el análisis; para esto, en primer lugar se realiza el análisis individualizado por geosistema o subcuenca, posteriormente se expone un análisis conjunto de La Gavia, San Diego y Almoloya, visto desde una óptica de macrosistema.

Finalmente, como resultado de la evaluación diagnóstica individual y en conjunto, se sugieren algunas propuestas de políticas para el óptimo desarrollo y aprovechamiento de la región, en términos de políticas de Ordenamiento territorial y ecológico.

I. Instrumentación de la propuesta

Para un análisis Alométrico, en función de los soportes teóricos y metodológicos presentados en el capítulo 1, se sugiere lo siguiente:

- Seleccionar la cuenca de estudio, para lo que se requiere la delimitación de la cuenca respetando el parteaguas que la identifica, la delimitación requiere de un polígono cerrado y ser topológicamente limpio.
- Definir todos los escurrimientos superficiales, y jerarquizarlos por orden de drenaje, según Horton (Heano, 2006: 70), y Strahler (1982:524), como material de apoyo se sugiere contar con las curvas de nivel, el archivo final debe estar limpio en términos topológicos.
- Identificar los puntos de altitud máxima y mínima.
- Caracterizar la cuenca, en términos del tipo de basamento que contiene, las geoformas que presenta, el tipo de suelo que ha desarrollado, clima que presenta, el uso actual de suelo que presenta y, los asentamientos humanos que en el lugar se han establecido.
- Realizar los cálculos de los parámetros de la red de drenaje mostrados en el cuadro 1, por orden de drenaje.
- Calcular los parámetros mostrados en el cuadro 2, para la cuenca.
- Una vez obtenidos los cálculos de la red de drenaje, se grafican espacialmente en diagramas matriciales o cartesianos, correlacionando todos los resultados contra el orden de drenaje de

la cuenca. En el eje de las 'X' (ordenadas), el orden de drenaje; mientras que en el eje 'Y' (abscisas) todos los parámetros calculados.

A cada gráfico realizado, debe agregársele la línea de regresión acorde al modelo que mejor se ajuste el resultado del gráfico, tomando en cuenta R^2 , es decir, el coeficiente de determinación múltiple, que puede interpretarse como el porcentaje de variabilidad de Y explicada o debida a la recta de regresión (entre más próximo al valor 1, mejor ha sido el modelo seleccionado, y por lo tanto mejor el diagnóstico).

- De acuerdo con los cuadros 1, 2 y 3, se realiza una interpretación de la cuenca, se detectan las principales anomalías de la misma, recordando que un desarrollo de equilibrio dinámico perfecto es el ideal, y que este, se visualiza por un resultado linear recto (isométrico) en el diagrama cartesiano (ver figura 3), todo lo que este fuera de ese comportamiento se ubica en alometría positiva o negativa.
- Una vez detectadas las zonas vulnerables o de mayor anomalía, y con el apoyo de la caracterización de la cuenca, se desarrollan las sugerencias necesarias para dicho espacio.

Cuadro 18: Caracterización de las Líneas de tendencia

N. P	LÍNEA DE TENDENCIA	DESCRIPCIÓN
1	Lineal	Línea recta de ajuste perfecto, se utiliza con conjuntos de datos lineales simples. Los datos son lineales si el patrón en sus puntos de datos se asemeja a una línea. Una línea de tendencia lineal frecuentemente muestra que hay algo que aumenta o disminuye a un ritmo constante.
2	Logarítmica	Línea curva de ajuste perfecto, se utiliza cuando la tasa de cambio de los datos aumenta o disminuye rápidamente y luego se nivela. Una línea de tendencia logarítmica puede utilizar valores tanto negativos como positivos.
3	Polinómica	Línea curva que se usa cuando hay fluctuaciones de datos. Es útil, para analizar ganancias y pérdidas en un gran conjunto de datos. El orden del polinomio se puede determinar por la cantidad de fluctuaciones en los datos o por la cantidad de ajustes (máximos y mínimos) que aparecen en la curva. Una línea de tendencia polinómica de segundo orden solamente suele poseer un máximo o mínimo. Una línea de tendencia polinómica de tercer orden generalmente posee uno o dos máximos o mínimos. Una línea de tendencia de cuarto orden generalmente posee hasta tres máximos o mínimos.
4	De Potencia	Línea curva que se utiliza con conjuntos de datos que comparan medidas que aumentan a un ritmo específico, por ejemplo, la aceleración de un automóvil en intervalos de 1 segundo. No se puede crear una línea de tendencia de potencia si los datos contienen valores negativos o si no contienen valores.
5	Exponencial	Línea curva que se utiliza cuando los valores de datos suben o bajan según tasas en aumento constante. No se puede crear una línea de tendencia exponencial si los datos contienen valores negativos o si no contienen valores.
6	De Media móvil	Suaviza las fluctuaciones de los datos para mostrar con más claridad un patrón o una tendencia. Una media móvil utiliza una cantidad específica de puntos de datos (establecidos por la opción Período), los promedia y utiliza el valor promedio como un punto en la línea. Por ejemplo, si Período se establece en 2, el promedio de los dos primeros puntos de datos se utiliza como el primer punto en la línea de tendencia de media móvil. El promedio del segundo y tercer punto de datos se utiliza como el segundo punto de la línea de tendencia, etc.

Elaboración propia con base en Microsoft Office, Excel 2010.

Para la aplicación de la propuesta, de acuerdo con los autores clásicos en el análisis de cuencas, se sugiere la correlación del orden de drenaje como constante, y de los parámetros calculados, como las variables complementarias en los diagramas matriciales.

De esta correlación se determina el comportamiento de los datos, en función de las líneas de tendencia obtenidas de cada conjunto de datos. Estas líneas de regresión o progresión lineal simple, contienen un coeficiente de correlación R^2 , como:

... criterio de valoración que representa el porcentaje de la varianza justificado por la variable independiente. Puede interpretarse como el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables dependiente e independiente, o también como el cuadrado del coeficiente de correlación entre los valores reales de una variable y sus estimaciones. Si todas las observaciones están en la línea de regresión, el valor de $R^2=1$, y si no hay relación lineal entre las variables dependiente e independiente, el valor de $R^2=0$. A medida que su valor es mayor, el ajuste de la recta a los datos es mejor, puesto que la variación explicada es mayor; así, el desajuste provocado por la sustitución de los valores observados por los predichos es menor (Dolado, 1999: 1).

En función de lo anterior, el Cuadro 18 presenta las seis líneas de tendencia que el Excel del Microsoft Office 2012 maneja, y de las cuales, se han seleccionado las líneas que mejor se ajustan a cada grafico realizado:

Ahora bien, en el desarrollo de esta investigación ya se ha realizado en el capítulo 2 la caracterización correspondiente a la zona de estudio. Como parte del desarrollo de la investigación, a continuación se presenta el ejemplo de cómo llevar a cabo un análisis de tipo alométrico; en la zona de estudio de los geosistemas La Gavia, San Diego y Almoloya.

II. Aplicación de la propuesta

En el Mapa Base se muestra la delimitación de las tres subcuencas y en el Mapa de Drenaje, la jerarquización de la red de drenaje por orden. Una vez con estos insumos, se tomó en primer lugar la red de drenaje y se hicieron los cálculos correspondientes a cada geosistema.

a) LA GAVIA

➤ Cálculo de parámetros:

El archivo que contenga la red de drenaje debe estar limpio en términos topológicos, la creación de un SIG también facilita el cálculo de todos los parámetros; en este caso los cálculos se realizaron con el apoyo del ArcMap 9.3 y Excel del Office 2010.

Cabe señalar que no hay una herramienta automatizada que realice todos los cálculos de forma conjunta y precisa; existen algunos módulos hidrogeomáticos, específicamente patentados en IDRISI, sin embargo, por la complejidad matemática que representan los comportamientos en la naturaleza, los resultados no son siempre tan exactos; por eso para este trabajo se realizan de forma separada con base en las fórmulas expresadas en el cuadro 1.

Para el caso de la subcuenca La Gavia, los resultados han sido los siguientes:

Cuadro 19: Parámetros calculados de la red de drenaje

Orden de corriente u	Segmentos de corriente N_u	Relación de bifurcación R_b	Longitud de segmentos en km (L_u)	Longitud media acumulativa en km \bar{L}_u	Relación de longitud R_l	Altitud msnm			Pendiente S
						Mín.	Máx.	Media	
1°	1,001	-----	518.67	518.67	----- 1.62	2550	3710	3130 Dif.1160	0.06 3.4°
2°	159	6.30	150.08	668.75	1.95 5.59	2550	3500	3025	0.20 11.30°
3°	46	3.46	121.23	789.98	43.83 6.91	2570	3300	2935	0.24 13.49°
4°	8	5.75	40.19	830.17	3.07 20.86	2550	2880	2715	0.67 33.8°
5°	1	8.0	8.09	838.26	1.99 103.62	2550	2580	2565	3.17 72.49°
	$\Sigma=1215$		$\Sigma= 838.26$						

Resultados del cálculo de parámetros de la red de drenaje La Gavia. . En la columna de Relación de longitud, la segunda línea con tamaño de letra menor, refiere a otro tipo de relación de longitud, la que está en función de la longitud total (long. total de todos cauces/long total de un orden). Elaboración propia.

Los valores presentados corresponden a la metodología del análisis morfométrico para cuencas hidrográficas; por la esencia matemática, y corresponde con la base de datos que se utiliza para explicar el método alométrico.

Con relación a los parámetros de la cuenca, también han sido calculados en el ArcMap y con el apoyo del Excel, los resultados son los siguientes:

Cuadro 20: Parámetros calculados de la cuenca

Perímetro km	Superficie Km ²	Pendiente media	Coficiente de compacidad de Gravelius	Radio de circularidad
110.49748	285.15077 Ha=28515.07	11.85°	1.84	0.29
Longitud axial km	Ancho promedio km	Factor de forma	Longitud del río principal en km	Densidad de drenaje
22.36	12.75	0.57	12.68	2.93

Resultados del cálculo de parámetros de la subcuenca La Gavia. Elaboración propia.

➤ Correlación de variables y Análisis Alométrico

Como siguiente paso, se sugiere la correlación de los órdenes de drenaje, como constante, con las variables de los parámetros calculados, estas constantes pueden mostrar una serie de combinaciones entre todos las variables calculadas, sin embargo el objetivo es identificar cuáles realmente influyen en el comportamiento de la cuenca, y permiten un análisis práctico; por este motivo solo se han señalado los gráficos importantes o básicos.

Relación de bifurcación y número de segmentos:

Para la subcuenca la Gavia se presenta un desarrollo de 5 órdenes de drenaje, cada uno de estos órdenes presenta un número determinado de segmentos, este influye de forma directa con la relación de bifurcación de la cuenca (ver gráfico básico_1)

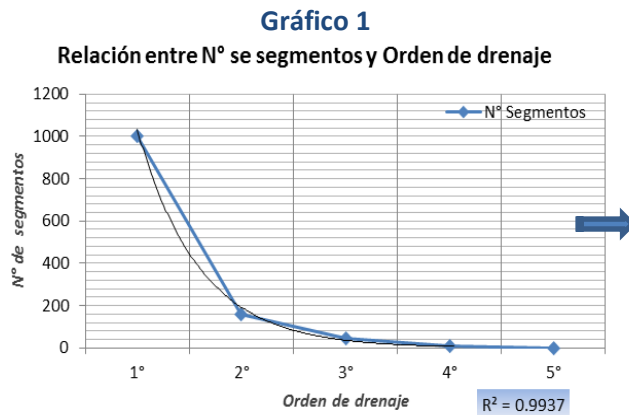


Gráfico 1: Relación entre N° de segmentos y orden de drenaje. Elaboración propia con datos del cuadro 19.

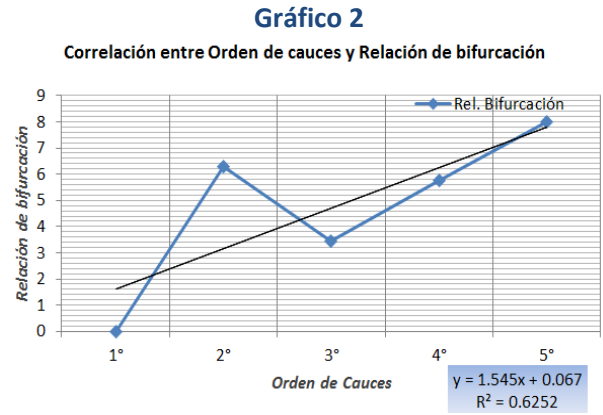


Gráfico 2: Correlación entre orden de cauces y relación de bifurcación. Elaboración propia con datos del cuadro 19.

En la relación del gráfico 1, se ha agregado una línea de tendencia exponencial negativa, que es el modelo de regresión lineal que mejor se ajusta al comportamiento de los datos, en conformidad con el R^2 próximo a 1.

Acorde a los referentes teóricos mostrados en el cuadro 1, el comportamiento en el número de cauces debe presentar una relación de incremento constante, lo que si se aprecia en el gráfico para el 2°, 3°, 4° y 5° orden 'aproximadamente'. Ya que si el último orden que es el 5^{to}, presenta un solo cauce y el de 4^{to}, 8 cauces; entonces el tercero debería presentar 64 ríos, y el segundo 512; sin embargo, como se ha mencionado en Teoría de Sistemas y Geosistemas, las cuencas son sistemas naturales y no muestran un comportamiento perfecto.

Por lo anterior, puede decirse que para La Gavia, el número de segmentos presenta un comportamiento, en su mayoría homogéneo, con excepción del primer orden, que contiene 1001 segmentos, mientras que el de segundo 159, esta es una *primera anomalía detectada* para el desarrollo de esta subcuenca, y que es visible en el comportamiento de la línea de tendencia (ver gráfico 1).

Continuando con la correlación de variables, se presenta el diagrama correspondiente a la segunda variable calculada para La Gavia, que es la relación de bifurcación, es importante aclarar que, por bifurcación se entiende el punto en que dos escurrimientos se juntan, por lo tanto la relación de bifurcación refiere a la proporción entre el número de segmentos de un orden de drenaje y los del orden inmediato superior, por esta razón en el primer orden no hay valor, porque no se ha unido a un orden inmediato anterior.

En la correlación de esta variable con el orden de cauces se aprecia un comportamiento poco uniforme, específicamente en la bifurcación existente entre segundo orden, con los de primero y los de tercero. Esta es la *segunda anomalía detectada* para esta cuenca.

Como apoyo de análisis, al gráfico se le ha agregado la tendencia lineal así como la ecuación del gráfico y el R^2 que mejor se ha ajustado al modelo. Este R^2 muestra un valor muy alejado de 1, esto como parte del reflejo del valor que el segundo orden presenta (ver gráfico 1, Gráfico 2).

En el gráfico 1, se ha colocado a la izquierda el correspondiente al número de segmentos y la leyenda de gráfico 'opcional', y a la derecha en la relación de bifurcación, la leyenda de 'básico, esto es porque aun sin graficar el número de segmentos, la relación de bifurcación indica cuál es el comportamiento en los segmentos y también en qué orden existe alometría.

El que se presente cierto tipo de alometría indica que no está desarrollando de forma homogénea toda la cuenca en términos de estas variables, y que hay factores o elementos que están interfiriendo con este desarrollo.

Relación de longitud en km:

Un segundo grupo de variables que permite el análisis de cuencas tiene que ver con la longitud de cauces, que cada orden de drenaje ha desarrollado, estas variables son longitud de cauces, longitud media acumulada y relación de longitud. Al igual que en el primer grupo de variables, se ha señalado cuál es el gráfico que conjunta todo lo relacionado a longitud:

El gráfico 3, presenta la longitud de segmentos por orden de drenaje, y un R^2 de 0.94 de acuerdo con los datos que presenta la cuenca, y la de línea de tendencia exponencial, que indica que estos datos suben y bajan pero de forma constante, cabe aclarar que la línea de tendencia logarítmica también se ajusta a los datos con un R^2 de 0.91, o que indica que la tasa de cambio de datos sube y baja pero se nivela de inmediato. Todo esto es el reflejo de la dinámica homogénea que presentan las longitudes de cada orden de drenaje.

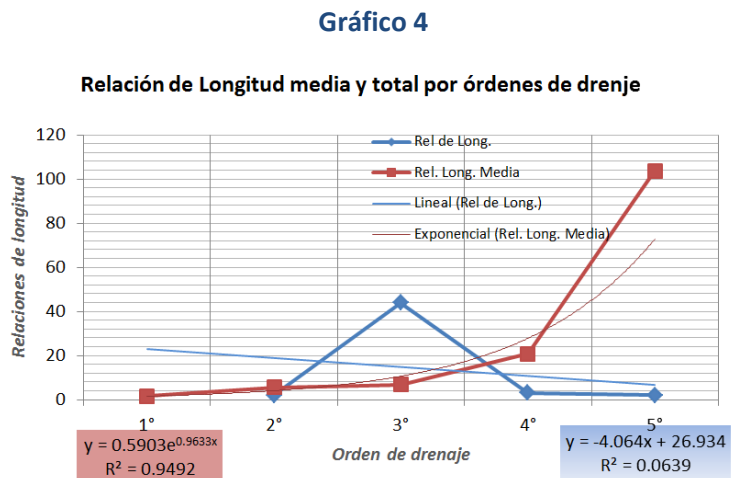
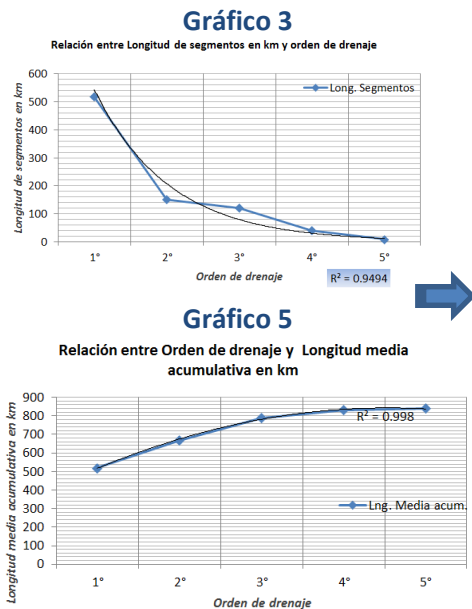


Gráfico 5. Relación de longitud media y total por órdenes de drenaje, La Gavia.

Elaboración propia con datos del cuadro 19.

Gráfico 3. Relación entre longitud de segmentos en km y orden de drenaje.

Gráfico 4. Relación entre orden de drenaje y longitud media acumulada en km.

Elaboración propia con datos del cuadro 19.

En el caso del gráfico 5, la correlación se presenta para la variable de Longitud media acumulada, en relación a los valores, el modelo al que se justan corresponde a la línea de tendencia polinómica

de segundo orden, con un R^2 casi perfecto de 0.99, de hecho el modelo de regresión logarítmica también es bueno con un R^2 de 0.97 para estos datos. Esto significa que se ha detectado una fluctuación o anomalía en uno de los órdenes de drenaje, el resto de los órdenes aumenta a un ritmo constante.

Sin embargo, no por ello puede decirse que presenta una dinámica perfecta de desarrollo, respecto a esta variable, ya que el modelo ideal para un análisis de esta variable debería ser el exponencial, de acuerdo a los fundamentos teóricos que Strahler y Horton han señalado y que pueden revisarse en los cuadros 1,2 y 3; en este modelo se mostraría un R^2 de 0.8, por lo tanto, aunque el valor no es extremadamente alarmante, si muestra una *ligera anomalía*, específicamente en el segundo orden de drenaje. Dicha anomalía tiene que ver con lo alejado que esta del modelo exponencial para un desarrollo perfecto.

A la derecha del Gráfico 3, se presenta la correlación de Relación de Longitud por órdenes de drenaje, también se le ha señalado con el título de Gráfico 4, esto es sí porque en este grupo de variables, la Relación de longitud es la más importante.

Como se menciona en el cuadro 18, se han calculado dos tipos de relaciones de longitud:

- Relación de longitud que la mayoría de los autores sugieren, que es la que considera la media, esta se calcula primero:

→ Long. media = longitud de un orden/ N° de cauces de ese orden, y así para todos los órdenes.

→ Long. media 2^{do} orden/ Long. media del 1^o-1, después Long. media 3^{er} orden/ long. media del 2^o-1, igual que la relación de bifurcación el 1^o orden no tiene valor (Heano, 2006:73, 74).

- Relación de longitud, que considera la longitud total, esta se ha calculado:

→ suma total de todos los segmentos de todos los órdenes en km / longitud total de un orden determinado.

En el gráfico se muestran los dos comportamientos que presentan los datos para la longitud en km.

La línea azul presenta una tendencia lineal, se trata de la línea recta que más se ajusta al modelo de datos para esta cuenca, muestra un incremento más o menos constante en la longitud de cada orden de drenaje. En este tipo de relación de longitud se presenta un tipo de alometría, específicamente del 3^o al 2^o orden, esto se debe a que en el segundo, la longitud de 57.40 km es prácticamente homogénea con los 57 tributarios que ha desarrollado. Por lo que es difícil definir un modelo exacto a este tipo de datos, de hecho el R^2 es de 0.6.

En el caso de la línea de color rojo oscuro, la tendencia correspondiente al modelo exponencial, con un buen R^2 de 0.94, lo que sugiere que la línea se ha ajustado al aumento o disminución de los valores, porque su tasa de aumento es constante, lo que se espera de una cuenca en desarrollo dinámico perfecto. Desde esta perspectiva pareciera que no hay alometría.

Al gráfico 4, al igual que al 1, de relación de bifurcación se les ha agregado la ecuación correspondiente, ya que en el análisis conjunto de los geosistemas será mencionada.

Pendiente:

La *pendiente media* por orden de drenaje permite a través del gráfico 6, la detección de la inclinación y orientación de la cuenca, las zonas de mayor erodabilidad y por consiguiente el tipo de proceso predominante. En el caso del gráfico 5, los órdenes de mayor pendiente se ubican entre el primero, segundo y tercer orden, mientras que en entre el cuarto y quinto orden, por el tipo de geformas, la pendiente cambia drásticamente.

Gráfico 5

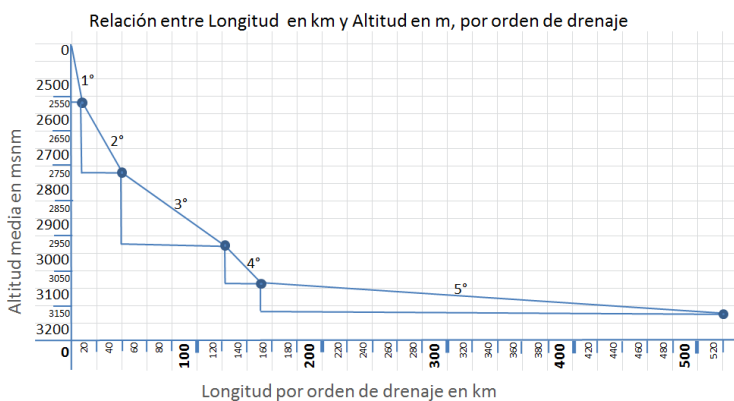


Gráfico 6: Relación entre longitud en km y altitud en m, por orden de drenaje. Elaboración propia con datos del cuadro 18, retomando procedimiento de Strahler (1982: 534).

Esto puede ser visto espacialmente en el Mapa de pendientes (página 110), donde los órdenes de 1^{er} y 2^{do} orden, en su mayoría, se encuentran en pendientes de entre 15-30°, son solo excepciones los cauces con pendientes de entre 30-45°. En el caso de los de tercer orden se ubican en pendientes de entre 3-6°, mientras que los de cuarto y quinto en pendientes de 0 a 3°, factor condicionado por el tipo de relieve.

Gráfico 7

Relación de altitud máxima por orden de drenaje

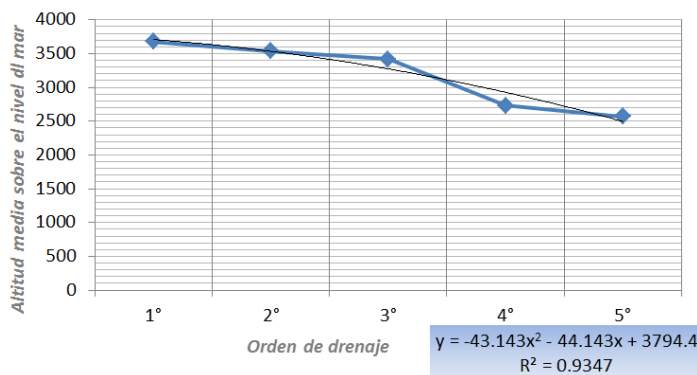


Gráfico 7: Elaboración propia con datos del cuadro 18. Retomando procedimiento de Strahler (1982: 534).

Visto de forma genérica se presenta un gráfico 8, que de forma gráfica representa las diferentes altitudes máximas de las microcuencas de recepción de los cauces por orden, al igual que el gráfico 7 se identifica un tipo de *alometría negativa* entre el cuarto orden de drenaje.

Al gráfico 7, se le ha agregado la línea de tendencia polinómica, por el reflejo de una fluctuación de datos entre el cuarto y quinto orden de drenaje, de hecho, los datos también se ajustan al modelo de tendencia línea, y un R^2 de 0.9089, muy próximo al R^2 del gráfico de 0.9347.

➤ Evaluación y diagnóstico de la cuenca

La superficie de una cuenca es importante, porque en función de esta, es que se clasifica como grande o pequeña, también se le denomina como cuenca hidrográfica, subcuenca o nanocuenca; para La Gavia la extensión superficial es de 285.15 km², a nivel nacional por esta superficie se clasifica como subcuenca.

El tamaño de la cuenca también indica que entre mayor se está, mayor tiempo requiere el pico de crecida en pasar por un punto determinado, y menores son las crecidas al aumentar la cuenca de tamaño (Heano, 2006:57).

Cálculos como el perímetro, longitud axial y ancho de la cuenca permiten el cálculo de otros parámetros, como el *Factor de forma*, que para La Gavia es de 0.57, de acuerdo con el Cuadro 2, este valor corresponde a una cuenca en equilibrio, respecto a susceptibilidad de crecidas; sin embargo este resultado está condicionado por el *Coefficiente de compacidad* de la subcuenca, que es de 1.84 por la forma espacial que presenta, ya que tiene tres cuencas de recepción en sur, oeste y norte, presentando características próximas a una cuenca de tipo endorreica.

Existen otros tipos de índices de Forma como el índice de alargamiento e índice de homogeneidad, sin embargo están estrechamente relacionados con el Factor de forma y los resultados orientan a una misma interpretación, razón por la que no se incluyen en la tabla de cálculos.

Con respecto al radio de circularidad presenta valor de 0.29, valor muy alejado del 1.0 por lo tanto, a pesar de que La Gavia muestra una tendencia circular, está muy alejada de esta forma geométrica, esto implica que más que circular, la cuenca tiende a ser alargada, por lo tanto mayor el tiempo de concentración de los escurrimientos superficiales de aguas y menor peligrosidad de crecidas.

La pendiente media de toda la superficie de este geosistema es de 11.85°, en este resultado influyen las pendientes de planicies de 0-30% y las de las zonas montañosas y de piedemonte de 30-60% (Ver mapa de pendientes, página 107), por lo tanto, para el análisis de una cuenca el valor no es tan representativo, ya que no refleja el comportamiento real del relieve, por secciones altimétricas.

Un último parámetro considerado en esta investigación es la densidad de drenaje, que presenta un valor de 2.93, lo que indica que por cada una disección de 1 km², hay casi 3 cauces modelando en términos fluviales el relieve, esta dinámica de acuerdo con el Cuadro 2, es baja, y está en función de factores litológicos y del relieve.

Visto esto de forma integral, y rescatando los gráficos básicos que correlacionan más de una variable, se obtiene que las variables que mayor información aportan, son la relación de bifurcación, la relación de longitud por orden de drenaje y la relación de longitud y altitud en m.s.n.m.

Tanto en la relación de bifurcación como en la de longitud se ha detectado una irregularidad en el valor de segmentos de segundo orden, mientras que en la relación existente entre longitud y altitud la irregularidad se presenta en el cuarto orden de drenaje, por lo tanto con el apoyo de la cartografía y caracterización de La Gavia en el capítulo 2, se identifican las causas de este comportamiento.

El resultado para el segundo orden es el tipo de basamento que permite la filtración de escurrimientos para este orden de drenaje, y por lo tanto hay fluctuaciones entre los datos de primer y tercer orden.

Para el cuarto orden de drenaje, la diferencia de valores obtenidos radica en el pendiente entre el tercer y quinto orden de drenaje.

b) SAN DIEGO

➤ Cálculo de parámetros:

En el desarrollo de la aplicación del método alométrico se han sugerido tres geosistemas, el segundo de estos corresponde a la subcuenca de San Diego, esta se ubica de forma continua entre Almoloya y la Gavia, en dirección Este. Los resultados de los parámetros calculados se presentan por red de drenaje y cuenca en los cuadros 21 y 22, tomando como referencia teórica los cuadros 1 y 2.

Cuadro 21: Parámetros calculados de la red de drenaje

Orden de corriente u	Segmentos de corriente N_u	Relación de bifurcación R_b	Longitud de segmentos en km (L_u)	Longitud media acumulativa en km \bar{L}_u	Relación de longitud R_l	Altitud			Pendiente S
						Mín.	Máx.	Media	
1°	384	-----	196.21	196.21	----- 2.05	2550	3680	3115 Dif.1130	0.15 8.6°
2°	57	6.74	57.40	253.61	2.05 5.85	2550	3540	3045	0.53 27.9°
3°	15	3.8	51.14	304.75	542.85 6.56	2570	3410	2990	0.58 30.11°
4°	4	3.75	25.64	330.40	2.28 13.08	2550	2730	2640	1.02 45.5°
5°	2	2.0	5.16	335.56	0.47 65.03	2550	2570	2560	4.96 78.6°
	462		$\Sigma=335.56$						

Resultados del cálculo de parámetros de la red de drenaje San Diego. En la columna de Relación de longitud, la segunda línea con tamaño de letra menor, refiere a otro tipo de relación de longitud, la que está en función de la longitud total (long. total de todos cauces/long total de un orden) Elaboración propia.

Cuadro 22: Parámetros calculados de la cuenca

Perímetro km	Superficie Km ²	Pendiente media	Coficiente de compacidad de Gravelius	Radio de circularidad
56.878203	112.880911 Ha=11288.09	21.30°	1.50	0.43
Longitud axial km	Ancho promedio km	Factor de forma	Longitud del río principal km	Densidad de drenaje
24.36	4.63	0.19	27.69	2.97

Resultados del cálculo de parámetros de la subcuenca San Diego. Elaboración propia.

Es importante definir que en IDRISI el módulo de Gestión Integrada del Agua permite el cálculo automático de los principales parámetros de las cuencas hidrográficas, sin embargo la calidad de los resultados es óptima para cálculos de Cuencas definidas como tales por su extensión superficial, el margen de error aumenta cuando se trata de áreas de menor extensión, como las subcuencas que en esta investigación se proponen, esto está en función del tipo de insumos requeridos y la resolución de estos.

➤ Correlación de variables y Análisis Alométrico

La correlación de variables permite relacionar de forma lineal dos variables dadas (Johnson, 1990: 394), en el caso de la cuenca permite contestar ¿qué relación existe entre el orden de drenaje y el

resto de las variables?, así como determinar cuál de estas variables indica de forma más completa el comportamiento de la cuenca.

Esta es la razón por la que en cada subcuenca se han señalado los gráficos de mayor importancia.

Relación de bifurcación y número de segmentos:

Gráfico 8
 Relación entre N° de segmentos y Orden de drenaje

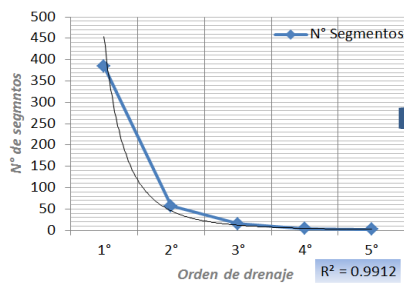


Gráfico 8: Elaboración propia
 Con datos del cuadro 21.

Gráfico 9
 Correlación entre Orden de drenaje y Relación de bifurcación

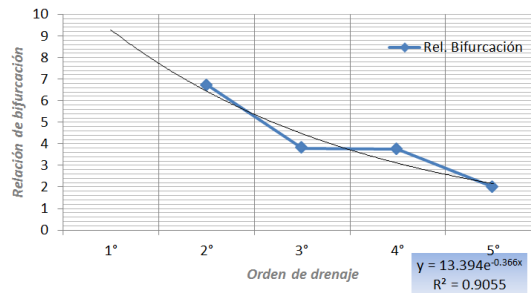


Gráfico 9: Elaboración propia con
 Datos del cuadro 21.

El gráfico 8 permite identificar 5 órdenes de drenaje desarrollados para la subcuenca de San Diego, con un total de 462 cauces, jerarquizados por orden, del primero al quinto: 384, 57, 15, 4 y 2 respectivamente, estos al correlacionarlos presentan una línea de tendencia potencial con un R^2 de 0.99, indicio de que el aumento de cauces de un orden a otro presenta un ritmo específico.

El primer orden es el que mayor alometría presenta, ya que de acuerdo con Strahler (1982), debe existir un comportamiento de progresión geométrica en los datos, es decir, si para el 5^{to} orden hay 2 cauces, entonces para el 4^{to} debe haber 4; condición que sí se cumple. Entonces para el de 3^{to} debe haber 8 o bien 16, desarrollo que también se cumple en el gráfico. En el caso del 2^{do} orden deberían haber 32 o 64, mientras que para el de primer orden 128 o 256 segmentos, pero no los hay, al igual que La Gavia hay muchos más cauces de este orden. Dicho comportamiento obedece al tipo de geología y geoforma que la subcuenca comprende.

Para el diagrama de relación de bifurcación se presenta una línea de tendencia exponencial con un R^2 de 0.90, como se aprecia en el gráfico 9 de la derecha. Se le ha colocado esta leyenda ya que este diagrama es suficiente para determinar la alometría existente entre el primer y segundo orden, sin que el gráfico de Número de segmentos sea indispensable. De forma tal, que el orden de drenaje y número de cauces pueden conjuntarse con Relación de bifurcación.

Relación de longitud en km:

Continuando con la correlación de variables, se presenta el diagrama correspondiente a la segunda variable calculada para San Diego:

Gráfico 10

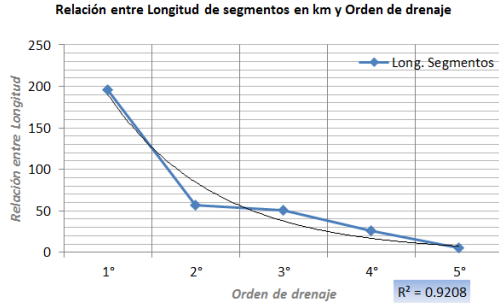


Gráfico 12

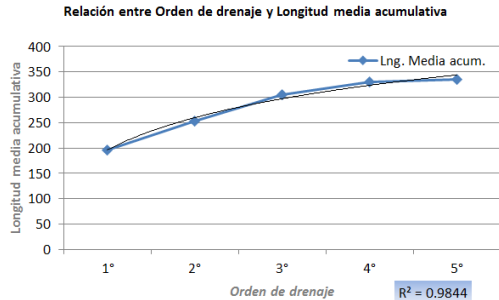


Gráfico 10: Relación entre longitud de segmentos en km y orden de drenaje.
 Gráfico 11: Relación entre orden de drenaje y longitud media acumulativa.
 Elaboración propia con datos del cuadro 21.

Gráfico 11

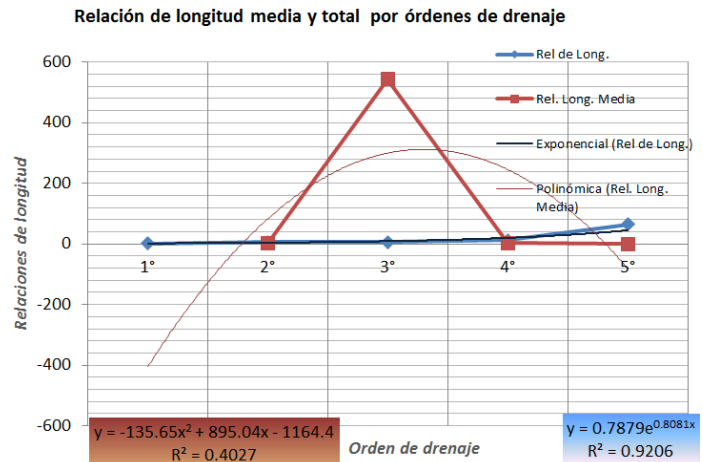


Gráfico 12: Relación de longitud media y total por órdenes de drenaje.
 Elaboración propia con datos del cuadro 21.

El gráfico 10 presenta la Longitud de segmentos en km por orden de drenaje, el modelo que los datos reflejan tiene que ver con una Línea de tendencia exponencial y un R^2 de 0.92, reflejo de la tendencia en los datos, de aumento y disminución en los km de longitud que cada orden presenta, pero en todos ellos resalta un aumento constante, como es de esperar: la mayor longitud de cauces corresponde al 1^{er} y 2^{do} orden, mientras que los de menor longitud corresponden a los últimos órdenes, 4^{to} y 5^{to}.

Como se ha explicado para el gráfico 4, se han graficado dos tipos de relación de longitud, la línea roja, representa la longitud media, sin embargo, por la relación que existe del tercer al segundo orden, el gráfico 11 se ha visto alterado, generando así un tipo de *alometría específico*, igual que en el caso de La Gavia, esto no se aprecia a simple vista con la línea azul de Relación de longitud total, de hecho por el valor de los datos se ajusta mejor a un modelo de línea tendencial logarítmica, lo que indica que se han detectado bruscos aumentos y disminuciones en los datos, pero luego en el orden inmediato superior se vuelven a nivelar los valores.

Comportamiento que se explica de forma directa con el número de segmentos por orden de drenaje, es decir, si hay mayor número de cauces entonces aumenta la longitud en kilómetros, para n orden dado, que es lo que ocurre en este caso.

Por lo tanto para este modelo se presenta un R^2 de 0.98, correspondiente a una función exponencial positiva, mientras que para el de Relación de longitud media el un R^2 que más se le aproxima es de 0.4 con una tendencia polinómica de 2do orden.

De acuerdo con los especialistas en morfometría fluvial cada que un orden de drenaje aumente, debería triplicarse la longitud, en un ideal de desarrollo, pero como se aprecia en los gráficos esto no sucede para San Diego. Primero, porque como se ha mencionado: en un sistema natural, los procesos de los elementos que la conforman, actúan de forma diferente sobre la subcuenca; lo que ocasiona un intervalo de variación en los valores. Por otra parte, los componentes geológico y geomorfológico modifican los valores de San Diego.

Pendiente:

Referente a la pendiente de San Diego, se presente en primer lugar el gráfico 14, indicando la relación existente entre la longitud en kilómetros y la altitud m.s.n.m, por orden de drenaje.

En el gráfico 14, se detectan cambios específicos de pendiente entre el segundo y cuarto orden, por el tipo de diferencias altitudinales, sobre todo en la cuenca de recepción.

También se ha generado una correlación para el tipo de altitud máxima por orden de drenaje, se ha anexado a este gráfico 13, la línea de tendencia correspondiente al comportamiento de los datos, que en este caso corresponde a una tendencia polinómica de segundo orden con un R² de 0.9517.

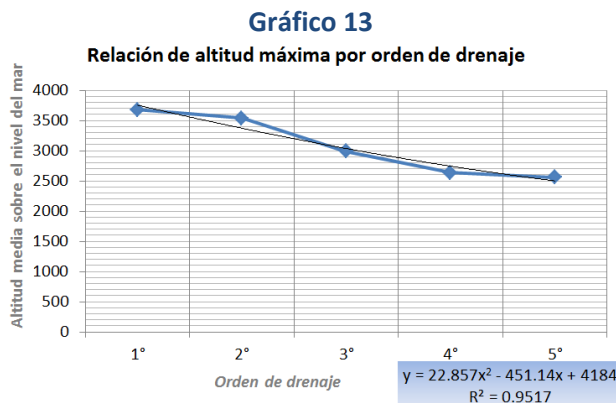


Gráfico 13: Relación de altitud máxima por orden de drenaje. Elaboración propia con datos del cuadro 21.



Gráfico 14: Relación entre longitud en km y altitud en m, por orden de drenaje. Elaboración propia con datos del cuadro 21.

Es notable destacar que también hay modelos con R² buenos, para el gráfico 13, por ejemplo la tendencia exponencial presenta un R² de 0.9498, mientras que el modelo lineal un R² de 0.9447. Para la variable de pendientes se presenta un desarrollo alométrico negativo.

El comportamiento espacial puede apreciarse con mayor detalle en el Mapa de pendientes (ver página 107), donde presenta diferentes comportamientos en el valor del gradiente por la configuración del relieve, donde nuevamente resaltan valores de 3-6° en laderas y asimétricos.

➤ **Evaluación y diagnóstico de la cuenca**

El cuadro 21 expresa los valores obtenidos del cálculo de parámetros de la cuenca, obteniendo así perímetro, longitud del río principal, longitud axial, ancho promedio, como principales insumos para la obtención de otros cálculos.

La superficie de San Diego es de 112.88 km², al igual que La Gavia, se trata de un geosistema de subcuenca, con un *factor de forma* de 0.19, valor muy bajo por la forma alargada de la cuenca, e indicio de la escasa susceptibilidad a las crecidas, de hecho son contados los días que estos geosistemas presentan crecidas durante el verano y con pocos minutos de duración.

El factor de forma presenta una vinculación con el *radio de circularidad* de 0.43, valor que confirma el alargamiento de la subcuenca San Diego; así como el *Coefficiente de capacidad* de 1.5, en relación al Cuadro 2, corresponde a una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga, por su valor alejado de 1, no representa peligrosidad por crecidas.

La *pendiente media* de la cuenca es de 21.30°, esto debido al promedio de las pendientes altas, medias y bajas del geosistema; aunque presenta un panorama general del comportamiento del relieve, de forma específica y por geoformas no presenta un parámetro representativo para el análisis de cuencas (Ver Mapa de pendientes en página 107).

El comportamiento de la pendiente media, es similar al de la subcuenca La Gavia, se dice que para San Diego no es representativa la pendiente media porque hace referencia al promedio general de todo el geosistema, y para la región estudiada, la mayor parte de la superficie corresponde a un relieve de acumulación por presentarse en zonas de pendiente baja. A este respecto y en relación a este parámetro, se sugiere el cálculo de pendientes por orden de drenaje, y por sección de la subcuenca: de recepción, de transporte y de descarga.

Con respecto a la dinámica de modelado fluvial y estabilidad de la red de la cuenca, la *densidad de drenaje* presenta un valor de 2.97, lo que permite analizar que los escurrimientos superficiales son aproximadamente de tres por Km², densidad baja.

En términos generales, San Diego presenta un comportamiento más homogéneo que La Gavia. En términos cuantitativos, al comparar los valores entre una y otra subcuenca, se obtienen valores más alométricos en La Gavia, es decir, de acuerdo con los modelos de correlación de las variables, presentan menor isometría, San Diego expresa un comportamiento lineal de cada variable más próximo al modelo de correlación.

c) ALMOLOYA

La subcuenca de Almoloya es el geosistema más pequeño de los tres casos de estudio, y presenta características físicas diferentes, ya que por su ubicación se encuentra en una zona de transición entre La Gavia, San Diego y el Valle de Toluca, esto se ve reflejado en los valores obtenidos en el cálculo de parámetros.

➤ Cálculo de parámetros:

Cuadro 23: Parámetros calculados de la red de drenaje

Orden de corriente u	Segmentos de corriente N_u	Relación de bifurcación R_b	Longitud de segmentos en km (L_u)	Longitud media acumulativa en km \bar{L}_u	Relación de longitud R_l	Altitud			Pendiente S
						Mín.	Máx.	Media	
1°	351	-----	165.40	165.40	----- 1.66	2550	3680	3115 Dif. 1130	0.18 10.20°
2°	63	5.57	59.88	225.28	1.79 4.60	2550	3290	2920	0.48 25.6°
3°	9	7.0	25.50	250.78	56.6 10.79	2550	3130	2840	0.01 0.57°
4°	2	4.5	24.45	275.23	6.69 11.26	2550	2670	2610	1.06 47.66°
			$\Sigma = 275.23$						

Resultados del cálculo de parámetros de la red de drenaje Almoloya. . En la columna de Relación de longitud, la segunda línea con tamaño de letra menor, refiere a otro tipo de relación de longitud, la que está en función de la longitud total (long. total de todos cauces/long total de un orden). Elaboración propia.

Cuadro 24: Parámetros calculados de la cuenca

Perímetro km	Superficie Km ²	Pendiente media	Coficiente de compacidad de Gravelius	Radio de circularidad
70.766988	95.035642 Ha=9503.58	17.74°	2.04	0.23
Longitud axial km	Ancho promedio km	Factor de forma	Longitud del río principal km	Densidad de drenaje
25.81	3.68	0.14	36.49	2.89

Resultados del cálculo de parámetros de la subcuenca Almoloya. Elaboración propia.

➤ Correlación de variables y Análisis Alométrico

Tal como en el caso de La Subcuenca de La Gavia y San Diego, la correlación de variables se ha realizado, tomando en cuenta aquellas que mejor explican el comportamiento de una cuenca hidrográfica, en este contexto es que se han agrupado las variables de la siguiente forma:

Relación de bifurcación y número de segmentos:

Gráfico 15

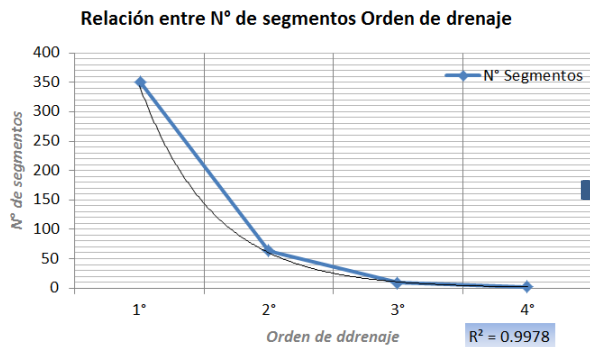


Gráfico 15: Relación entre N° de segmentos y orden de drenaje.

Elaboración propia con datos del cuadro 23.

Gráfico 16

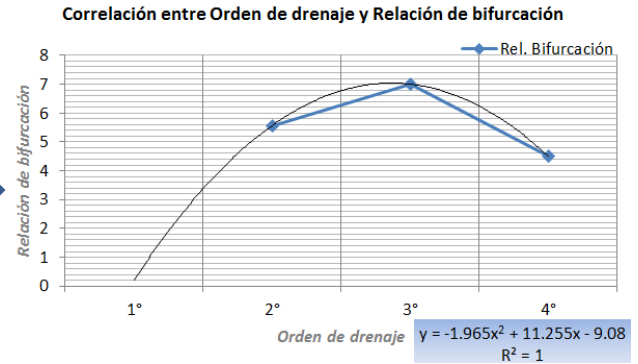


Gráfico 16: Correlación entre orden de drenaje y relación de bifurcación.

Elaboración propia con datos del cuadro 23.

El gráfico 15 expresa el comportamiento de cada valor correspondiente al: número de segmentos en el plano cartesiano, en donde se ha identificado una tendencia exponencial con un R^2 (coeficiente de correlación) perfecto de 0.99, indicio del aumento constante que muestran los tributarios en cada orden de drenaje, aunque en el mismo comportamiento de La Gavia y San Diego, el desarrollo exponencial en la red de drenaje no es perfecto; pues no se ajusta al modelo de la línea tendencial. La desviación presentada es ocasionada por el número de cauces en el primer orden de drenaje. Esto significa que la mayoría de los escurrimientos superficiales de 1° orden no son representativos en términos del volumen del caudal que transportan, por lo tanto, no hay continuidad en el 2° orden.

Para el gráfico 16, se presenta la correlación existente entre la relación de bifurcación y orden de drenaje, se clasifica como básico, porque aún sin presentar el de número de segmentos, puede identificarse en el segundo orden un tipo de alometría negativa, razón por la que como modelo de línea de tendencia se ha seleccionado una polinómica, y como solo se ha detectado en el segundo orden una fluctuación de datos, se clasifica como ecuación de segundo orden

Relación de Longitud km:

El gráfico 17 representa de forma gráfica el comportamiento de la longitud de segmentos contra el orden de drenaje, el resultado refleja una tendencia lineal de tipo polinómica de segundo orden, por el tipo de valores identificados en el primero orden de drenaje, en relación con los demás órdenes, el R^2 en esta tendencia es 0.99, ideal para hacer proyecciones a un futuro desarrollo de la cuenca.

Es importante mencionar, que el comportamiento de la longitud por orden de drenaje es constante, corresponde a datos que se pueden explicar a través de otros modelos de tendencia al que se ajustan, por ejemplo la logarítmica con un R^2 de 0.92 y la potencial con un R^2 de 0.92, hasta este punto el desarrollo de la cuenca no es alométrico.

Gráfico 17

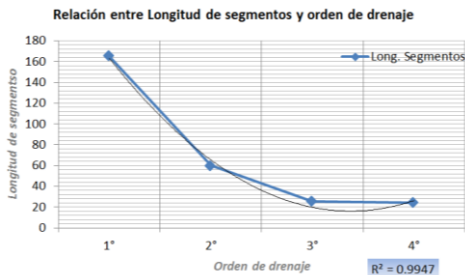


Gráfico 18

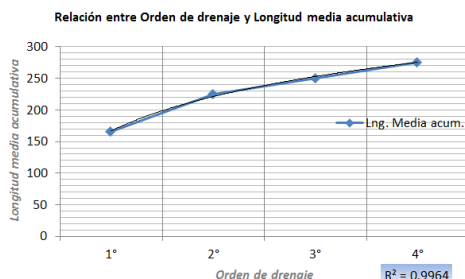


Gráfico 19

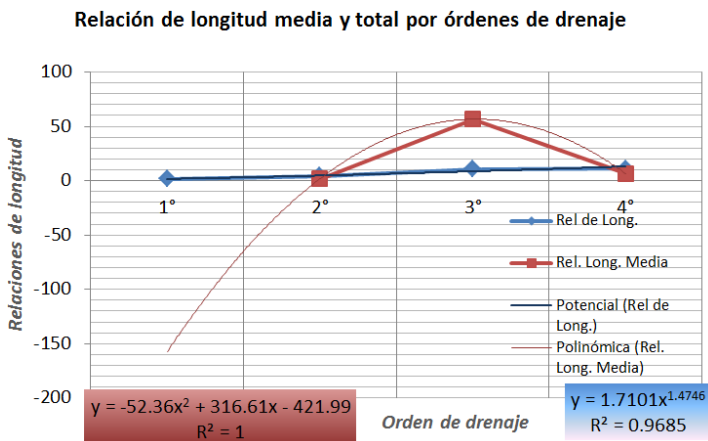


Gráfico 11: Relación entre longitud de segmentos y orden de drenaje.
 Gráfico 18: Relación entre orden de drenaje y longitud media acumulativa.
 Gráfico 19: Relación de longitud media y total por órdenes de drenaje.
 Elaboración propia con datos del cuadro 23.

Al analizar el gráfico 18, la longitud media acumulativa también refleja un comportamiento similar al gráfico 17, donde se refleja un buen desarrollo en la cuenca, el modelo tendencial seleccionado corresponde a una línea logarítmica con un R^2 de 0.99, con notables diferencias en el orden primero, mientras que en el segundo, tercero y cuarto la nivelación es homogénea.

En el gráfico 19 se han graficado tanto la relación de longitud, tomando como referencia la longitud media, como la relación de longitud que considera la longitud total de segmentos de todos los órdenes. Para el primer caso, se aprecia un buen comportamiento de los datos, de hecho en el modelo tendencial seleccionado, que es polinómico de segundo orden, se ha obtenido un R^2 perfecto de valor 1.

Mientras que para el segundo caso, la línea de tendencia corresponde al modelo potencial, con un R^2 de 0.96; en ambos casos no se ha detectado un comportamiento alométrico, más bien isométrico, la única *anomalía* en este grupo de variables corresponde al primer orden de drenaje. Así que de acuerdo con las leyes de los sistemas fluviales (ver cuadro 3), no se está presentando un desarrollo isométrico.

Pendiente:

Almoloya como geosistema presenta un comportamiento homogéneo respecto a pendiente si se generan agrupaciones de los órdenes de drenaje, el primero con el tercero y el segundo con el cuarto, esta dinámica se aprecia en el gráfico 18, donde se ha insertado la línea de tendencia polinómica de segundo orden, por el R^2 de 0.9732.

Gráfico 17

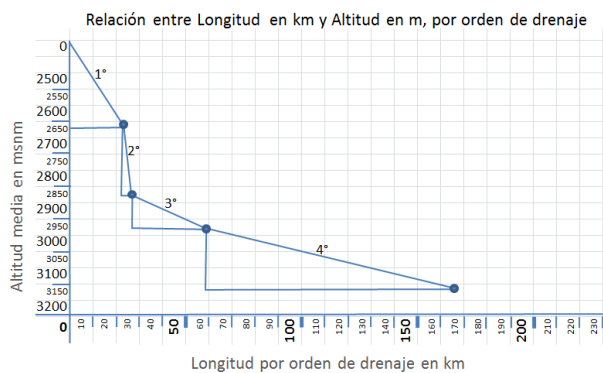


Gráfico 17: Relación entre longitud en km y altitud en m, por orden de drenaje.

Elaboración propia con datos del cuadro 23.

Gráfico 18

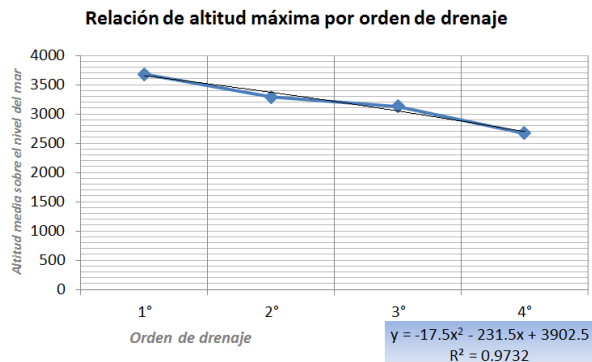
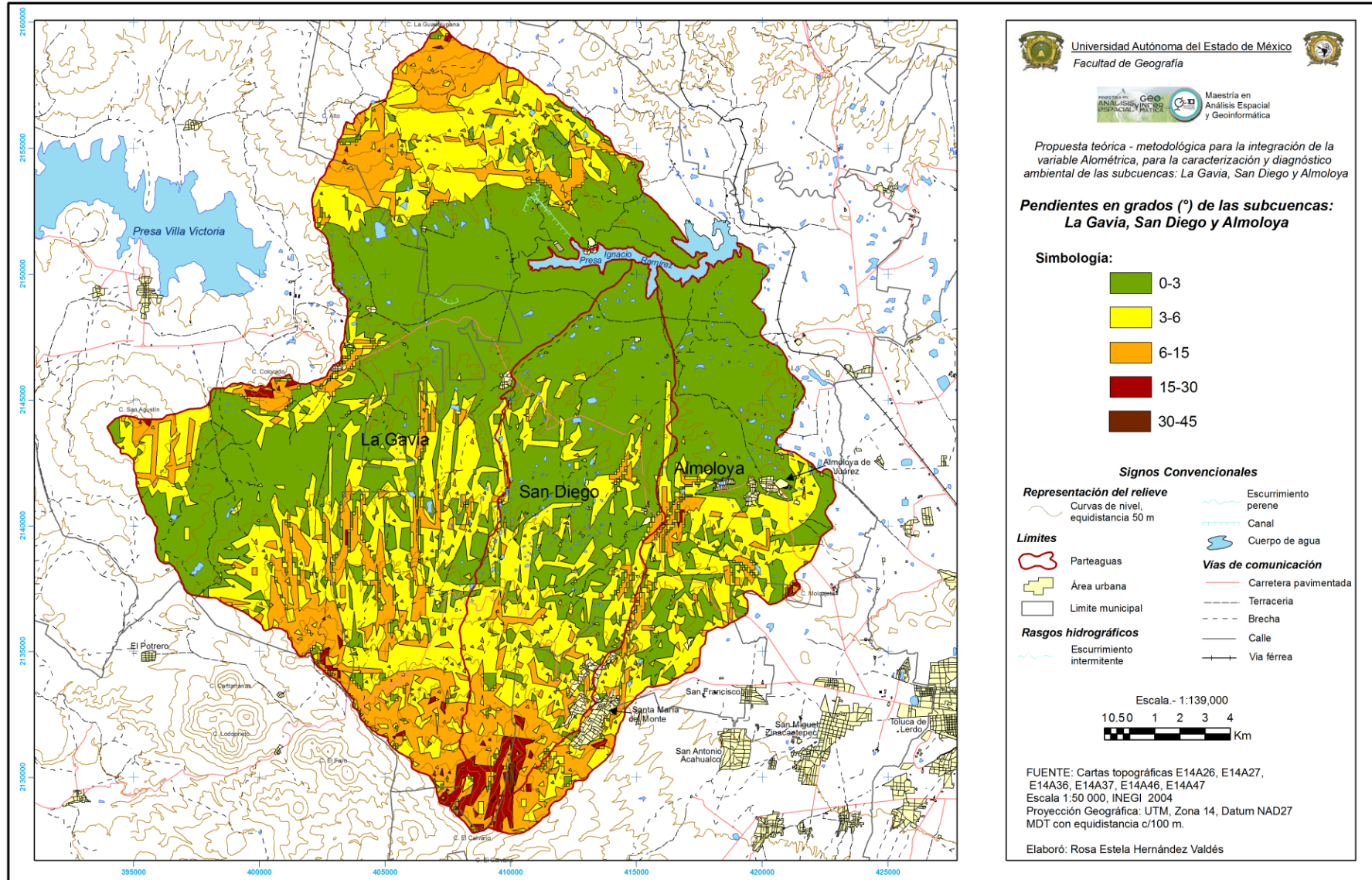


Gráfico 18: Relación de altitud máxima por orden de drenaje. Elaboración propia con datos del cuadro 23.

Solo que el comportamiento mencionado influye en que existan modelos que también se ajustan perfecto al comportamiento de los datos, por ejemplo la tendencia logarítmica presenta un R^2 de 0.9261, la exponencial un R^2 de 0.96.21 y la lineal un R^2 de 0.9709, indicador de un desarrollo más o menos estable y próximo a la *isometría* respecto a esta variable.

El comportamiento de esta variable puede visualizarse con mayor detalle en el Mapa de pendientes (ver página 107).



Mapa de pendientes

➤ Evaluación y diagnóstico de la cuenca

Además del análisis por orden de drenaje, que refleja la dinámica al interior de la subcuenca; de forma general el Cuadro 23 muestra valores correspondientes al comportamiento de la subcuenca como unidad, en este contexto se ha calculado el perímetro, longitud axial, longitud del río principal y ancho promedio, como principales insumos del resto de los valores.

Almoloya como geosistema de hidrología superficial se ubica con 95.03km^2 , en comparación con La Gavia y San Diego, esta es la de menor superficie, menor anchura, pero mayor longitud axial. El comportamiento del *Factor de forma* es más similar a San Digo, para Almoloya este factor es de 0.14, con escasa susceptibilidad a las crecidas, las excepciones solo se dan en verano y con duración de pocos minutos.

La subcuenca de Almoloya presenta un valor de 0.23 para el *radio de circularidad*, aún menor que el de San diego, por la forma más alargada que presenta este geosistema, y por la forma heterogénea que presentan las direcciones del cauce principal específicamente en las cuenca de recepción y transporte.

El coeficiente de compacidad expresa un valor de 2.04, valor muy alejado de ideal para cuencas circulares que es 1, y 1.128 para cuencas cuadradas, por lo tanto como se ha mencionado, se trata de una subcuenca irregular con respecto a la configuración de la forma que presenta.

La pendiente media es de 17.74° , esta se ve condicionada por el relieve de la cuenca de recepción y por las unidades montañosas que presenta en el centro de la cuenca de transporte.

La densidad de drenaje es de 2.89, valor muy bajo que refleja la dinámica estable en el relieve, los procesos de erosión fluvial en este sentido de baja densidad, en comparación con otras cuencas, de acuerdo al Cuadro 2.

En conjunto, todas las variables representadas en el sistema cartesiano expresan el estado de desarrollo de Almoloya, estos diagramas han reflejado un crecimiento relativo estable, con excepción de segundo orden, por el tipo de comportamiento de las líneas de tendencia en este orden. Sin embargo, para esta cuenca es importante señalar que: el modelo de correlación lineal para los datos poder verse alterada por que para Almoloya solo se presentan 4 órdenes de drenaje, esto reduce el número de datos al graficar los valores de las variables, y como consecuencia más difícil el análisis.

d) Análisis conjunto de los tres geosistemas

Los tres geosistemas seleccionados como caso de estudio, incluye una región hidrográfica, que a su vez conforma parte de la la Región hidrológica N°12 Lerma-Santiago y de la Cuenca Lerma-Toluca, así como a la Subcuenca Río Tejalpa que, conforman una zona importante para la recarga de acuíferos en el Estado de México, y que resalta por su importancia a nivel nacional.

Una vez presentados, el análisis por geosistemas y, enfocados a la red de drenaje y la cuenca en general, ahora se presenta un análisis conjunto de La Gavia, San Diego y Almoloya. Primero al interior de la cuenca y después de la cuenca como sistema.

En el caso del número de segmentos por orden y tomando en cuenta la Ley de Número de Cauces de Horton (Ver Cuadro 3), en La Gavia, San Diego y Almoloya si se presenta una progresión de un orden de drenaje, a un orden inmediato superior, como se aprecia en la correlación de variables, sin embargo, esta progresión no es geométrica. Por otra parte el potencial erosivo es mínimo, 'por procesos de modelado fluvial'.

Al realizar la comparación entre los valores del número de segmentos de cada geosistema, se aprecia que la única subcuenca que cumple con la Ley del número de cauces es la de San Diego;

Correlación conjunta del N° de Segmentos por orden de drenaje

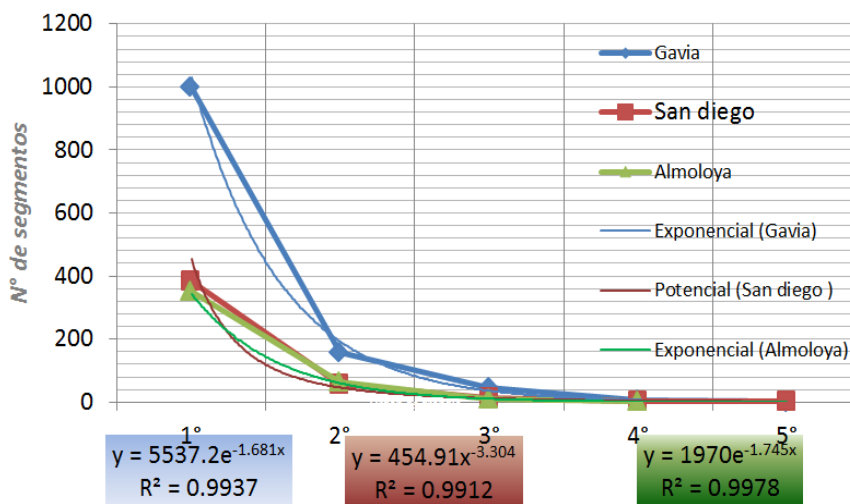


Gráfico 19: Correlación del N° segmentos de La Gavia, San Diego y Almoloya.
 Elaboración propia con datos de cuadro 19. 21 y 23.

obviamente influyen factores como la forma de la cueca que presenta, su radio de circularidad, y los factores físicos de litología y relieve que la condicionan.

De acuerdo al gráfico y con base en el soporte teórico de esta investigación, el comportamiento espacial de las líneas de tendencia tanto de La Gavia, como de Almoloya expresan un tipo de alometría negativa. Por el

tipo potencial y exponencial de los datos, la forma de la ecuación que para el N° de segmentos se adapta es la de: $y = b x^a$.

Este tipo de alometría negativa, refiere a un desarrollo por debajo de los valores en la recta de regresión lineal correspondiente a valores isométricos, si se compara este comportamiento en grados de ángulos; un comportamiento isométrico reflejaría un ángulo de 45°, en este contexto alometría positiva, tendería a un ángulo entre 46 y 90°; mientras que alometría negativa mostraría un ángulo de 1 a 44°.

En la correlación de la *relación de bifurcación* por subcuenca, los gráficos mostraron valores heterogéneos entre órdenes de drenaje, incluso para una misma cuenca, la relación de bifurcación más baja corresponde a San Diego, mientras que el más alto a La Gavia. La media para la Gavia es de 5.8 puede tomarse como la R_b representativa de la cuenca, para San Diego de 4.07, y 5.6 para Almoloya.

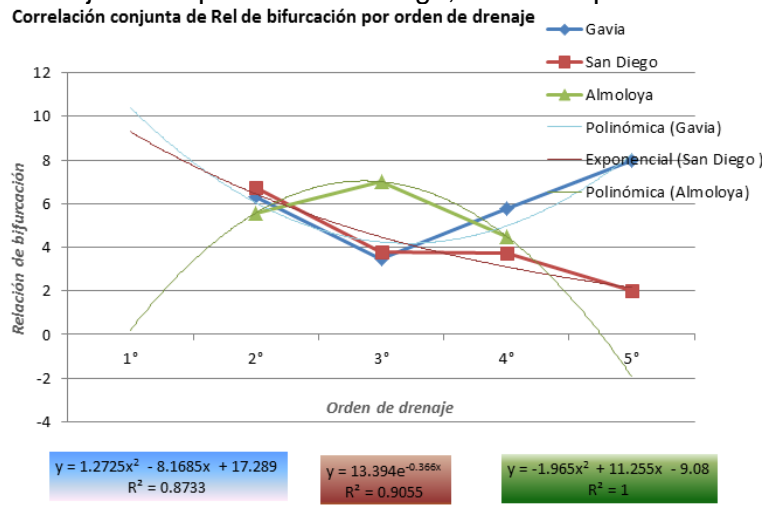


Gráfico 20: Correlación de la relación de bifurcación, de La Gavia, San Diego y Almoloya.
 Elaboración propia con datos de cuadro 19. 21 y 23.

y exutoria. En estos casos valores de R_b de 3-5 representan torrencialidad, mientras que valores cercanos a 7, indican cuencas alargadas y de zonas montañosas, condiciones que se aprecian para la región estudiada.

La *longitud de segmentos* constituye el principal insumo para los cálculos de relación de longitud, al correlacionar esta variable con el orden de drenaje, se obtienen líneas de tendencia que según

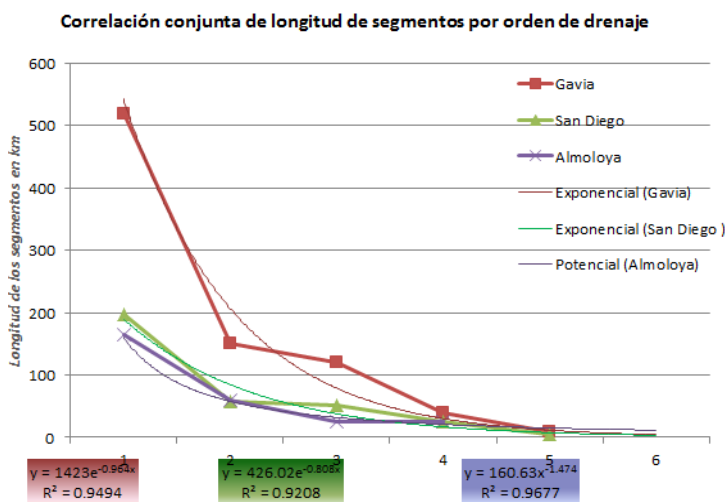


Gráfico 21: Correlación de longitud de segmentos de La Gavia, San Diego y Almoloya.
 Elaboración propia con datos de cuadro 19. 21 y 23

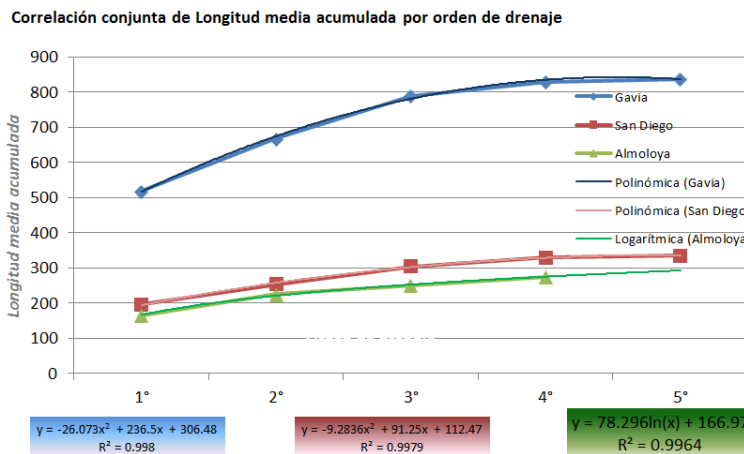
La correlación de orden de drenaje con la *relación de longitud media acumulada* expresa que para La Gavia entre el primer y tercer orden se encuentra el problema de la variación de los valores, específicamente el 2^{do} orden muestra un aumento de segmentos, que no se ven reflejados en el siguiente orden inmediato, de hecho, esto se aprecia detalladamente en el gráfico 3.

En el análisis morfométrico que Strahler (1982), Schumm (1956) y Horton (1932) proponen, el valor para la R_b , debe mantenerse constante de un orden a otro de drenaje, pero existen excepciones, cuando las cuencas no son uniformes, es decir que presentan diferentes pisos altitudinales, presentan diferentes geofomas en las cuencas de recepción, transporte

Strahler (1982), corresponden a funciones exponenciales negativas, expresadas en líneas de regresión, con la forma de la siguiente ecuación:
 $y = b x^a$.

La Gavia es la que mayor alometría negativa presenta, respecto a esta variable de longitud, el siguiente gráfico de ordenadas cartesianas indica qué orden de drenaje esta causando esta anomalía en el geosistema.

La razón de este comportamiento se debe a las características físicas de la cuenca, que facilitan



procesos de filtración de cauces, sobre todo en la parte oeste de la cuenca, de forma que la geometría de la red de drenaje superficial se ve afectada (ver mapa de drenaje); así cauces de primer orden que se bifurcan con segmentos de segundo, no forman continuos como tributarios al tercer orden. Así forman un tipo de alometría negativa.

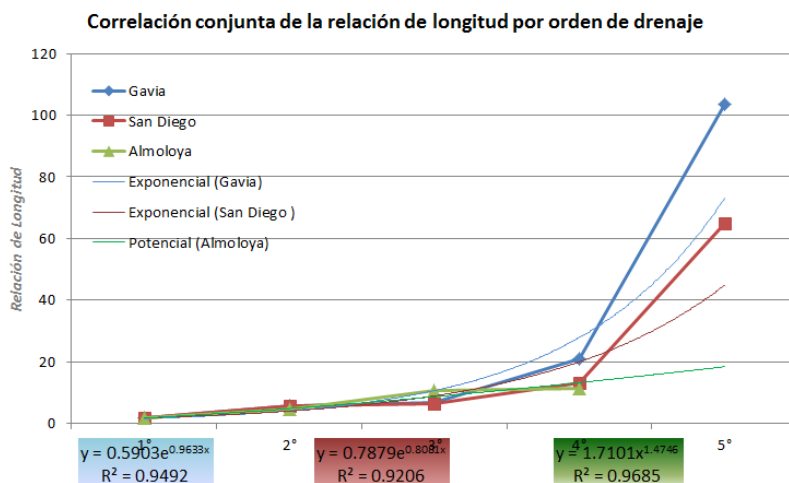
Gráfico 22: Correlación de longitud de segmentos de La Gavia, San Diego y Almoloya.
 Elaboración propia con datos de cuadro 19. 21 y 23.

En el caso de San Diego y Almoloya la progresión geométrica que presentan en la longitud de cauces cumple la Ley de Longitud de Cauces enunciada por Horton (ver cuadro 3), que señala una

progresión geométrica, con líneas que corresponden a funciones exponenciales positivas, con ecuaciones de tipo: $y=a.X+b$.

En la comparación de ambos geosistemas Almoloya presenta mayor alometría, sin embargo está influenciada por la geofomas de una gran meseta volcánica, conformada por domos y cimas, justo en la cuenca de transporte.

La relación de longitud es un parámetro vinculado a la longitud de segmentos por orden de drenaje, pero esta correlación espacial el sistema cartesiano, facilita la ubicación del orden de drenaje que existe cierta alometría, aspecto que es difícil de identificar en el gráfico de longitud media acumulada, porque en este la naturaleza de los datos siempre genera un aumento; mientras que en la relación de longitud se aprecia el comportamiento real de la longitud de segmentos por cauce.



Los sistemas de ecuaciones para esta correlación son de tipo potencial y exponencial con la forma: $y = b x^a$, correspondientes a rectas de funciones exponenciales positivas.

Gráfico 23: Correlación conjunta de la relación de longitud por orden de drenaje.
 Elaboración propia con datos de cuadro 19. 21 y 23.

En el caso del tipo de pendientes por geosistema, se presenta un comportamiento menos isométrico

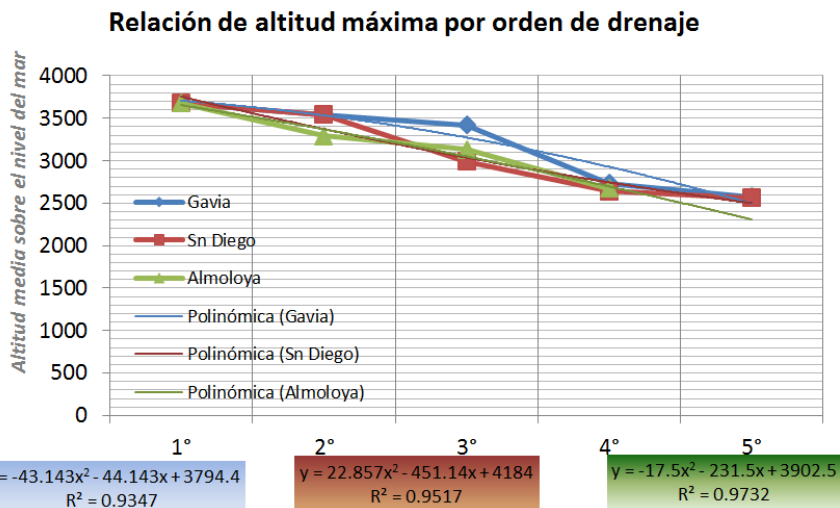


Gráfico 24: Correlación de la Relación de longitud de La Gavia, San Diego y Almoloya.
 Elaboración propia con datos de cuadro 18. 20 y 22.

para la subcuenca de La Gavia, acorde a todas las características físicas que la conforman, San Diego presenta una alometría negativa, sin embargo esto se debe principalmente el tipo de relieve que incluye, mientras que para el caso de Almoloya el comportamiento es más estable, aun cuando el componente geomorfológico es mixto.

Por proceso metodológicos, no se han agregado los diagramas de pendientes, pero si el de las diferentes altitudes máximas, de donde parten los escurrimientos, en relación a la jerarquía de drenaje.

En la sección de correlación de variables para los tres geosistemas, se identifican de acuerdo con los autores clásicos (Strahler y Horton), diagramas matriciales de dos entradas, 'x,y' donde 'x' siempre representa una constante de orden de drenaje, mientras que 'y' una variable de los parámetros calculados para cada subcuenca.

Asimismo se resalta la diferencia entre gráficos opcionales y básicos, estos últimos, en esta investigación se sugiere: son los que mayor información presentan y engloban a otros parámetros, que de forma implícita ya están incluidos en estos. Solo que por el tipo de investigación, se han mostrado todos los gráficos de cada uno de los parámetros obtenidos, para efectos de mostrar el comportamiento de los datos, aun cuando de cierta forma repetitivos.

Entre la correlación de parámetros básicos se encuentra la relación de bifurcación (ya que contempla los números de tributarios para cada orden), relación de longitud media y total; y superficie por órdenes de drenaje.

Considerando a cada una de las subcuencas como geosistemas, se aprecia que en términos generales hay comportamientos similares por el tipo de forma de la cuenca entre San Diego y Almoloya, ambas subcuencas son alargadas, solo que San Diego es más homogéneo respecto al relieve que presenta, resalta también por ser el geosistema que en la cuenca de recepción que mayor pendiente presenta.

San Diego es como la transición entre un geosistema más antropizado que otro, tal como se aprecia en el Mapa base, el mayor número de localidades se ubica en la subcuenca de Almoloya, mientras que La Gavia presenta un paisaje más rural.

También el intermedio entre un relieve más variado que otro, por ejemplo en La Gavia hay cuatro conos volcánicos con geología evidente de los procesos volcánicos que configuran la geomorfología de la zona, presenta al menos cuatro tipos de rocas volcánicas y 1 sedimentaria y 2 tipos de suelo y dos fallas, así como fracturas. En dirección de E-W, continua San Diego con solo 2 tipos de rocas ígneas, 1 sedimentaria y un tipo de suelo; finalmente Almoloya presenta un relieve de menor pendiente con también 2 tipos de roca ígnea (de menor extensión), 1 sedimentaria y 1 tipo de suelo, de acuerdo con el mapa geológico.

La transición antes mencionada también se aprecia en el tipo de vegetación, por ejemplo La Gavia presenta mayor masa forestal, por el tipo de altitud y geformas montañosas, San Diego muestra también un uso forestal, pero menor, y en el caso de Almoloya solo presenta una superficie de estrato arbóreo en los límites con la cuenca de recepción de San Diego.

Como consecuencia el tipo de uso agrícola, se aprecia más en las cuencas de transporte y de exutorias o cono de eyección, de mayor a menor La Gavia, San Diego y Almoloya, por el tipo de suelos que contiene, en su mayoría de tipo Vertisol, apto para la agricultura.

La densidad de drenaje, respecto a los especialistas en morfometría fluvial es baja para las tres subcuencas, pero al visualizar el mapa de drenaje superficial, se aprecia ya un buen trabajo de disección fluvial, finalmente la cuenca de menor Alometría es San Diego, La Gavia presenta alometría en el segundo orden de drenaje, y Almoloya debe la alometría obtenida a la forma irregular de su configuración, condicionada por el relieve.

Por el tipo de geología y relieve, la mayor parte de los procesos de esta región, corresponden a erosión → transporte y en mayor proporción a acumulación, correspondientes a procesos exógenos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

I. De la caracterización de los geosistemas, ecuación alométrica y, propuestas de políticas de Ordenamiento Territorial

a) De la caracterización de los geosistemas

Al realizar el análisis de las subcuencas, como es lógico se aprecia que los factores físicos en primer lugar generan la configuración y dinámica de cada geosistema, tanto la geología, geomorfología y edafología influyen en los resultados de los parámetros de la red de drenaje y el tipo de configuración que presenta.

El uso de suelo y vegetación son el resultado del aprovechamiento que se le confiere a cada geosistema, en conjunto con el tipo de vegetación inducida y el tipo de sucesiones naturales, claro, está bajo la influencia de los asentamientos rurales y urbanos de las subcuencas; que para San Diego y La Gavia se extienden en dirección SE-SW, siguiendo la tendencia de urbanización de la Zona Metropolitana de Toluca, sin importar el tipo de relieve y pendiente. En el caso de Almoloya la urbanización se extiende en dirección SE-SW.

La orientación Sur-Norte de los geosistemas San Diego y Almoloya, también es importante: se refleja en el tipo estructural de laderas asimétricas, que presentan un relieve de mayor pendiente en la ladera este, por ser zonas de umbría y por lo tanto de conservación de humedad contienen vegetación arbórea, mientras que las laderas oeste, el relieve muestra una tendencia a planicies (ver imagen 26).

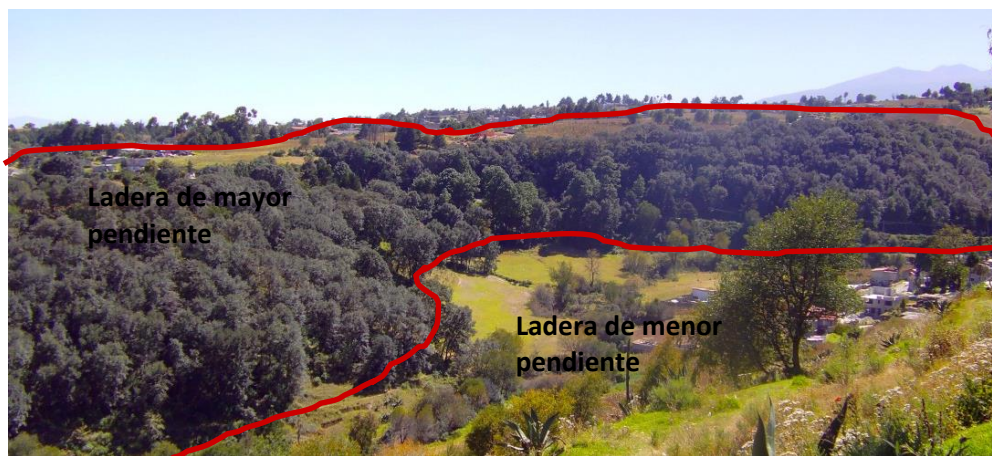


Imagen 26: Ladera asimétrica de la subcuenca Almoloya.
Fuente propia en trabajo de campo 2012.

En el caso de La Gavia, presenta una combinación, respecto a su orientación, el cauce principal presenta una dirección Sur-Norte, lo que indica que la cantidad de sol que recibe durante el día y el ángulo de los rayos solares no es homogénea en las diferentes laderas. Esto se debe a la forma de la Subcuenca, y por contar con tres zonas de cuencas de recepción en el norte, oeste y sur. Esto también impacta en el número de cauces.

Por la forma de la cuenca también presenta cauces de tercer orden con dirección Norte-Sur, y otros en dirección Oeste – Este, en este último caso, la radiación si es homogénea sobre las laderas izquierda y derecha, de forma que tanto la evaporación como evapotranspiración presentan un equilibrio.

Con respecto a la alometría obtenida, se estima que en las cuencas no se ha logrado de forma completa un equilibrio en su desarrollo, de acuerdo con La Ley de Crecimiento Alométrico, en la que se ha expresado que un sistema de erosión fluvial tiene un crecimiento relativo que se asemeja a una planta o animal poiquilothermo (Strahler, 1982: 529, y Strahler, 1977 citado por Docampo, 1989: 7).

Para determinar este tipo de crecimiento en geomorfología se retoma la ecuación alométrica de Huxley (Gayón, 2000), como modelo biológico de crecimiento relativo, en este contexto es que en el análisis individual de las subcuencas y de forma conjunta se han presentado correlaciones, con el apoyo estadístico de líneas de tendencia y sus correspondientes ecuaciones.

El tipo de ecuaciones es en su mayoría de tipo: $y = b x^a$, correspondientes a modelos estadísticos de exponencial, potencial y polinómica de 2^{do} grado, por el tipo de valores que expresan en algunos casos variaciones notables en un orden de drenaje, pero que después se regulan en el siguiente orden de drenaje.

En términos generales se trata de una región de cuencas volcánicas en proceso aún de desarrollo, con mayor alometría de tipo negativa, especialmente Almoloya y La Gavia. Según Gutiérrez (2008: 11), existen 8 tipos de equilibrio en el modelado del relieve, como se muestran en la imagen 27, de acuerdo con esta clasificación las subcuencas de estudio se ubican en un equilibrio de tipo (b) estable, pues aunque hay algunas variaciones de tendencia en los datos, estos vuelven a recuperar los valores y estabilizarse dentro de los gráficos de correlaciones.

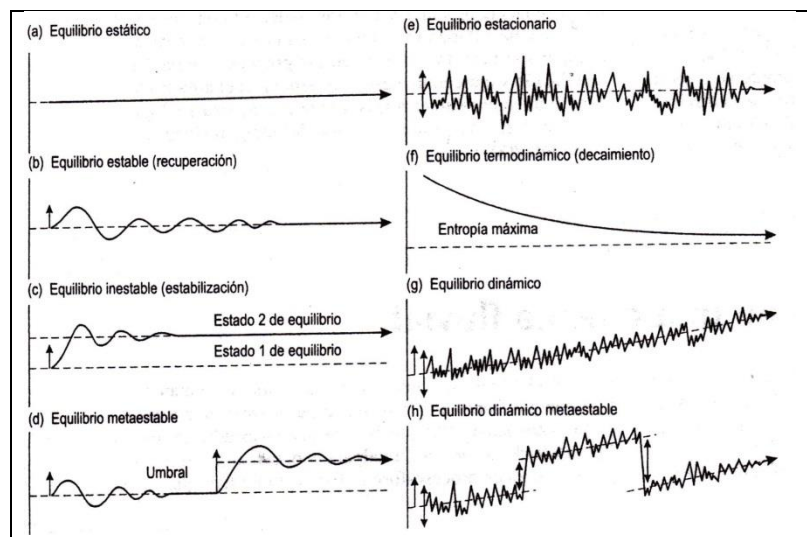


Imagen 27: Tipos de equilibrio en Geomorfología de Chorley y Kennedy (1971)
 Retomado de Gutiérrez, 2008:11.

b) De la ecuación alométrica

La Ley de crecimiento alométrico puede aplicarse a las diferentes variables de la red de drenaje, así como a la pendiente o superficie de los órdenes de drenaje, ya que permite la correlación entre variables y constantes de un mismo geosistema o cuenca hidrográfica; a este respecto Strahler, (1982: 538), muestra que el crecimiento alométrico de un sistema puede ser positivo cuando las magnitudes se incrementan con el tiempo), y negativo, donde las magnitudes disminuyen con el tiempo.

Aplicado al sistema fluvial, y de acuerdo con el ciclo de evolución del paisaje, propuesto por Davis (1889), comienza a crecer y desarrollarse (fase juventud), entonces es aplicable el modelo matemático del crecimiento alométrico positivo, mientras que una vez que ha ocupado toda la extensión posible (madurez), continua el modelo alométrico negativo.

De forma que, lo ideal en el desarrollo de un sistema fluvial, como en cualquier otro; es la isometría, es decir, la ausencia de alometría expresada en un desarrollo dinámico perfecto.

Por lo que autores diversos (entre ellos Antigüedad, s/d; Bachmann, 1978; Ballesteros, 2004; Bertalanffy 1968; Calderón, 2008; Docampo, 1989 y Gayon, J. 2000), han propuesto las ecuaciones alométricas y el análisis de regresión lineal, a fin de determinar a corto y largo plazo el comportamiento isométrico o alométrico de un sistema, por medio de pronósticos.

Los pronósticos permiten determinar el futuro comportamiento potencial de los datos, lo cual va implícito en el desarrollo de una cuenca hidrográfica, el objetivo es la planeación y ordenamiento del territorio que la cuenca comprende; permite la reducción de incertidumbre de ese comportamiento con información lo más cercana posible a la realidad, para lo cual son óptimos los modelos matemáticos estadísticos o cuantitativos. Así por medio del coeficiente de correlación (R^2), puede obtenerse el valor de todas las variables en el siguiente orden de drenaje, el cuadro 25, presenta el procedimiento para la relación de bifurcación.

Cuadro 25: Aplicación del R^2 para cálculos de proyección en la variable de relación de bifurcación

LA GAVIA	SAN DIEGO	ALMOLOYA
$y = 1.545x + 0.067$ $R^2 = 0.6252$	$y = 13.394e^{-0.366x}$ $R^2 = 0.9055$	$y = -1.965x^2 + 11.255x - 9.08$ $R^2 = 1$
para el 6° orden: $x=6^\circ$ orden $y=$ relación de bifurcación en 6° $y = 1.545(6) + 0.067$	para el 6° orden: $x=6^\circ$ orden $y=$ relación de bifurcación en 6° $y = 13.394e^{-0.366(6)}$	para el 5° orden: $x=5^\circ$ orden $y=$ relación de bifurcación en 5° $y=-1.965(5)^2+11.255(5) - 9.08$

Elaboración propia con datos del gráfico B.

El análisis de líneas de tendencia permite determinar comportamientos futuros, por medio de líneas de regresión lineal, en la que se utiliza el método de mínimos cuadrados. Esto debido a que el análisis de regresión 'busca encontrar modelos que a partir de las relaciones causales entre una variable dependiente y una o más variables independientes permitan predecir un resultado conociendo el valor estimado de una variable independiente (Vélez, 2003: 2).

Otra forma de pronosticar el comportamiento de cierta variable de una cuenca hidrográfica consiste en la aplicación de ecuaciones, en este caso de ecuaciones alométricas, que también están relacionadas a las líneas de tendencia.

En el cuadro 26, se presenta la Ley de potencia, como la ecuación esencial de la alometría, sin embargo por funcionalidad y disposición de los datos, se han despejado en la ecuación logarítmica o bien, la lineal.

Cuadro 26: Ecuaciones alométricas aplicadas al estudio de cuencas hidrográficas

Ley de potencia	Ecuación logarítmica	Ecuación de línea recta Ecuación más sencilla de crecimiento
$y = b x^a$	$\log Y = a - b \log X$ ó $\log.Nu=(Um-u)\log.Rb$	$y=a.X+b$ Bertalanffy: tasa de crecimiento relativo ó $y=a+bx$
Por la complejidad de la función como potencia, la ecuación alométrica se simplifica en una función logarítmica y lineal (LeVarge, 2005).	U = Orden de cauce. Nu =Número de cauces de orden u Um = Orden máximo de la cuenca considerada. Rb = Relación de bifurcación.	y =el valor de la variable a pronosticar a = valor de la variable en el 1°orden de drenaje b = promedio del valor de la variable x = N° a pronosticar, en este caso el siguiente orden de drenaje

Elaboración propia con base en los fundamentos teóricos del capítulo 1, de esta investigación.

En esta investigación se han adecuado las ecuaciones alométricas al sistema cuenca hidrográfica, como un aporte de la propuesta teórico – metodológica en alometría de cuencas, pues en la mayoría de los casos, estas ecuaciones muestran su aplicación a sistemas de especies animales o vegetales, pero no para otro tipo de sistemas, como son las cuencas hidrográficas. Por otra parte, según Bertalanffy (1968), con la ecuación de potencia, se puede evaluar de forma general todo el sistema: cuenca, aunque claro está, tampoco hay estándares definidos para cualificar los valores obtenidos de la aplicación de esta ecuación.

Estas ecuaciones permiten identificar futuros valores de variables que deseamos conocer, por ejemplo si se desea predecir el comportamiento para la *relación de bifurcación* en los tres geosistemas de estudio, el comportamiento del siguiente orden de drenaje sería el siguiente:

Cuadro 27: Aplicación de ecuaciones alométricas aplicadas a la zona de estudio para el caso de la relación de bifurcación

ECUACIÓN	LA GAVIA	SAN DIEGO	ALMOLOYA
Logarítmica $\log Nu=(Um-u)\log Rb$	para el 6° orden: $\log 2= (6-5)\log 2$ $\log 2= (1)(0.3010)$ $0.3010=0.3010$	para el 6° orden: $\log 2= (6-5)\log 2$ $\log 2= (1)(0.3010)$ $0.3010=0.3010$	para el 5° orden: $\log 2= (5-4)\log 4.5$ $\log 2=(1)0.6532$ $0.3010 = 0.6532$
Lineal $y=a.X+b$	para el 6° orden: $y= 0.0(6)+5.8$ $y= 0+5.8$ y= 5.8	para el 6° orden: $y= 0.0(6)+4.07$ $y= 0+4.7$ y= 4.7	para el 5° orden: $y= 0.0(5)+5.6$ $y= 0+5.6$ y= 5.6

Elaboración propia estudio con datos de los cuadros 19, 21 y 23.

En la aplicación de la ecuación logarítmica, se aprecia un equilibrio en las subcuencas de La Gavia y San Diego, mientras que en Almoloya el comportamiento es más heterogéneo y por lo tanto respecto a la relación de bifurcación, con mayor alometría; dinámica visible a detalle en los gráficos de sistemas ordenadas, en la correlación de variables.

El cuadro 27 es tan solo un ejemplo de la aplicación de las ecuaciones alométricas a los geosistemas de subcuencas hidrográficas estudiadas, en este caso para la variable de relación de bifurcación, pero la ecuación puede aplicarse a las variables deseadas, de acuerdo con el objeto de estudio, el tipo de ecuación seleccionada también responde a los objetivos de la investigación y disposición de los datos.

c) De las propuestas de políticas de Ordenamiento Territorial

A lo largo de la historia el ser humano ha requerido de recursos naturales para la satisfacción de sus necesidades, sin embargo en los últimos siglos la explotación de estos, se ha intensificado, convirtiéndose así en indispensable la evaluación de potencialidades y limitaciones que estos espacios naturales proporcionan. Además de las técnicas que como instrumentos de análisis, permiten la Ordenación de territorio y establecimiento de prioridades para el manejo controlado, racional y óptimo de los recursos naturales.

Es en esta tendencia, de forma genérica se ha consolidado el Ordenamiento Territorial, como un proceso y estrategia de planificación, a través del cual se pretende configurar y organizar tanto el uso como ocupación del territorio, acorde a las potencialidades, limitaciones, expectativas y aspiraciones de la población así como los objetivos sectoriales (Palacios, 2004: 12).

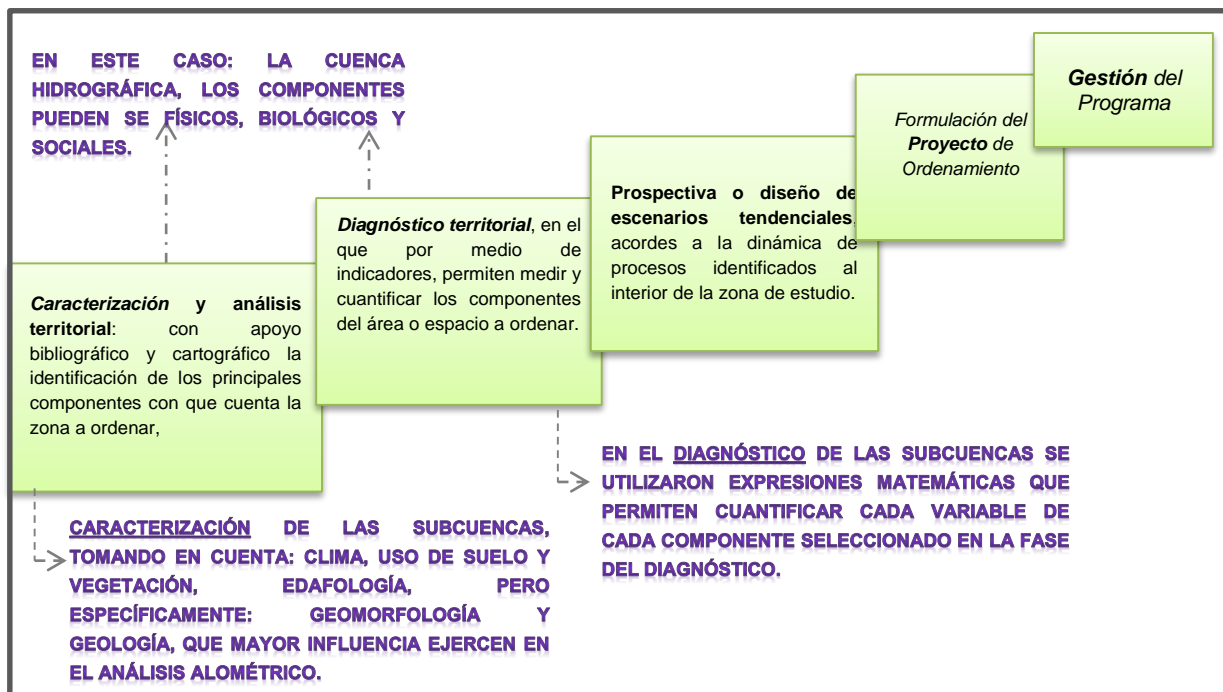


Figura 7: Fases del Ordenamiento territorial y ecológico, resaltando las fases en las que la presente investigación, realiza su aporte
 Elaboración propia, con base en Palacios (4004: 12).

Palacios (2004: 12), explica que el ordenamiento territorial, se conforma por cinco etapas, que van de la caracterización a la gestión en el figura 7.

Al realizar un análisis de cada una de las fases del ordenamiento territorial, se comprende que la de mayor importancia es la gestión y ejecución del ordenamiento, de hecho también es la más difícil de ejecutar; pero para dicho ordenamiento tenga los soportes necesarios para justificar su ejecución es imprescindible que la etapa de planeación sean confiables.

De esta forma la propuesta del análisis alométrico, contribuye en primer lugar en la etapa previa al ordenamiento, como muestra la figura 7, permite **caracterizar** a las cuencas hidrográficas, mostrando en términos cualitativos el tipo de elementos que la componen, y por medio de la aplicación del análisis alométrico una valoración cuantitativa, así aporta al **diagnóstico** del territorio, muestra si el espacio: cuenca, está logrando un desarrollo en equilibrio o no. Y en caso de que no esté en equilibrio muestra bajo qué tipo de alometría se está comportando.

Sin caer en un idealismo del método alométrico, con respecto al aporte que puede mostrar a un ordenamiento del territorio, planeación o diagnóstico, se presenta la propuesta de integrar la alometría al análisis espacial como una metodología, que no pretende sustituir algunas ya establecidas, sino que sugiere la complementación para un análisis completo que logre una integración con otros elementos para organizar el territorio.

En el caso del área de estudio seleccionada, se presenta como complemento del análisis alométrico un reporte ambiental breve, tomando en cuenta planteamientos que Díaz-Delgado (et.al, 2009: 68), sugiere al análisis de cuencas:

Cuadro 28: REPORTE DEL ESTADO DE LAS SUBCUENCAS

SUBCUENCAS: LA GAVIA, SAN DIEGO Y ALMOLOYA:	
<p>¿Qué está pasando?</p> <p>¿Cuáles son las condiciones y las tendencias ambientales (estado)?</p>	<p>* Tras un análisis alométrico de las subcuencas se ha detectado un desarrollo alométrico respecto a algunos parámetros y variables de la red de drenaje, y cuenca en general por órdenes de drenaje. Entre los parámetros con mayor alometría se encuentra el número de segmentos, relación de bifurcación y relación de longitud.</p> <p>* El estado de la cuenca, se muestra una tendencia de desarrollo continuo, sin embargo hay procesos de erosión por cambios de usos de suelo o usos inadecuados a este.</p> <p>*Se aprecia en recorrido de campo una transición entre los activos ambientales, que por la contaminación están convirtiéndose en pasivos ambientales, especialmente en el recurso agua.</p>
<p>¿Por qué está pasando?</p>	<p>* En términos alométricos: por la ubicación espacial y por lo tanto por las condicionantes físicas de la región, principalmente la geología y geomorfología.</p> <p>* La erosión contaminación por actividades y acciones antrópicas del uso de suelo.</p> <p>* La distribución heterogénea sobre el recurso agua.</p>
<p>¿Cuáles son las causas humanas y naturales de estos cambios (presión y estado)?</p>	<p>* La expansión de la mancha urbana, específicamente en la parte de la cuenca de recepción y exutorias o conos de eyección, en dirección Este→Oeste.</p> <p>* El uso de suelo predominantemente agrícola con aplicación de fertilizantes y plaguicidas, en uso excesivo que daña al medio ambiente.</p>

<p>¿Los cambios son significativos?</p>	<p>Sí, aunque las afectaciones no se distribuyen de forma homogénea en el territorio.</p>
<p>¿Cuáles son sus implicaciones en términos de salud, economía, sociedad y ecología (impactos)?</p>	<p>* El principal impacto es sobre los activos ambientales, específicamente sobre el agua, los cauces de las cuencas presentan no solo basura, sino residuos químicos (Martínez, 1999), en la Subcuenca Almoloya, de tipo industrial, y en los tres hidrosistemas o geosistemas residuos químicos provenientes de actividad agrícola y doméstica.</p> <p>* Como consecuencia en los años 2009-2010, el principal cuerpo de agua que reúne los caudales de los tres geosistemas, mostró en dos de sus ocho metros eutrofización (Magallán, 2010), evidenciado por la presencia de lirio acuático, y con afectaciones al transporte de lanchas para las comunidades cercanas (ver imagen 28, y detalles el apartado de justificación).</p> <p>* El impacto sobre la economía también fue evidente, en el Plan de Desarrollo Urbano (H. Ayuntamiento municipal, s/d: 125) la inversión para acciones de saneamiento costó \$2 250 00, así como \$1,496, 840 por la Secretaría del Medio Ambiente (Fuentes, 2009:2).</p>
<p>¿Cuál es y Cuál debería ser su respuesta? ¿Qué pasa si no se actuara ahora?</p>	<p>* En términos de erosión, deben capacitarse a los agricultores para utilizar técnicas agroecológicas de producción, recuperación y mitigación de suelo, ya que a mayor pendiente mayor pérdida de suelo.</p> <p>* Con referencia a la distribución del agua, especialmente en la zona de parteaguas de la subcuenca de San Diego, existe una problemática social de marginación, por lo que deben tomarse medidas para proponer un desarrollo sustentable se simbiosis entre el medio ambiente, la comunidad y el municipio.</p> <p>* En relación a la Presa Ignacio Ramírez y la contaminación de sus cauces, no vale la pena la inversión económica, si no se toman medidas de prevención, en la imagen 27, se expone una eutrofización total para este cuerpo de agua, mientras que en la imagen 31, se parecía que el lirio acuático no fue erradicado por completo, ya que esta especie, surge por dos razones, una de ellas como evidencia natural de la contaminación acuática por altos niveles nutrientes, que es lo que sucedió en la Ignacio Ramírez (la segunda razón del lirio acuático, es que es inducida y controlada como parte de programas de recuperación de cuerpos de agua).</p> <p>El lirio acuático continúa actualmente un proceso de desarrollo, en la imagen 32, se aprecia que por la exutoria de La Gavia, está extendiéndose con dirección a la de San Diego y continuará hacia la de Almoloya y hasta la compuerta al Este de la presa, si no se controla desde su origen, ya que en realidad lo que se está afectando de este ecosistema es la capacidad de resiliencia.</p>
<p>¿Qué se puede hacer al respecto?</p>	<p>De acuerdo con Hernández, et. Al (2006:429), deben tomarse medidas en tres niveles: preventivas, correctivas y compensativas. Sin embargo, el qué hacer, va en dos direcciones: 1) a nivel personal como comunidades y 2) a nivel gubernamental, esto significa gestión y seguimiento.</p>
<p>¿Cuáles son las implicaciones ambientales de las respuestas sociales?</p>	<p>Más que implicaciones ambientales, es importante mencionar que para los municipios que comprenden la zona de estudio, ya existen propuestas de ordenamiento, aprobadas por SEMARNAT.</p> <p>Por ejemplo para el municipio de Almoloya de Juárez, desde el 17 de noviembre de 2009, ha sido aprobado el Ordenamiento Ecológico y Territorial. Lo mismo sucede con los municipios de Villa Victoria y Zinacantepec, que están comprendidos en el Ordenamiento Ecológico regional de la subcuenca Valle de Bravo – Amanalco. Solo que como sucede nacionalmente se quedan en propuestas sin ejecución.</p>

Elaboración propia, tomando como referente a Díaz-Delgado (et .Al, 2009: 68)

Continuando con el cuadro de reporte de la cuenca, el problema radica en realidad, no en la falta de propuestas, sino en la ya conocida: falta de seguimiento y gestión a las políticas de Ordenamiento. Así como la ambigüedad e incertidumbre de su naturaleza jurídica, aunado a una serie de propuestas y políticas, unas tras otras convirtiéndose así en una especie de alebrije (Pérez, 2007:11); que no funciona, porque el problema no radica en sumar más y más propuestas, sino en

su aplicación. Y es que en estos casos la preocupación ambiental surge no de la reflexión científica o académica, sino del realismo, de la insatisfacción de técnicos, proyectistas y gestores que le den continuidad a las propuestas existentes para la zona de estudio.



Imagen 28: Presa Ignacio Ramírez, con presencia de lirio acuático, vista desde diferentes ángulos
 Fuente propia en trabajo de campo 2007.

Lo anterior, está vinculado con el hecho de que en la etapa actual de la historia humana y de México, existen buenos instrumentos humanos, tecnológicos, de política y legislación ambiental; que pueden aprovecharse positivamente para realizar una planeación ambiental; que logre conjuntar con la participación ciudadana, con la instrumentación legal e intereses políticos y económicos, pero principalmente con el conocimiento del medio ambiente en que habita una comunidad.

Así bajo este enfoque –que es realmente un reto- lograr la verdadera aplicación de las políticas de uso, protección, conservación y restauración de las unidades ambientales que ya se han aprobado en los ordenamientos territoriales de la región estudiada, debido a que el Ordenamiento **tiene fundamento jurídico pero no es legal.**

Sin embargo al lograr un porcentaje de concientización gubernamental, el reto puede traducirse de una simple utopía a una verdadera ejecución de las propuestas, en muchos casos las comunidades cuando se concientizan de los beneficios, hacen visible la participación ciudadana, esto se aprecia en las medidas estructurales que como comunidad adoptan para el cuidado de sus recursos, por ejemplo en la cuenca de recepción de San Diego, aún sin gestión ni vigilancia gubernamental, se organizan para colocar medidas estructurales que el sentido común les dicta para el cuidado de los escurrimientos superficiales (ver imagen 29).



Imagen 29: Medidas estructurales en la cuenca de recepción de San Diego.
 Fuente propia en trabajo de campo 2012.



Imagen 30: Exutoria de Almoloya, integrándose a la Presa Ignacio Ramírez
 Fuente propia en trabajo de campo 2012.

En la imagen 30, se aprecia acumulación de sedimentos, aprovechados en la agricultura, en los márgenes de la Presa hay asentamientos humanos dispersos; pero aún no se aprecia lirio acuático. De los tres geosistemas, Almoloya es el de menor caudal y de mayor contaminación industrial y doméstico.



Imagen 31: Exutoria de San Diego, integrándose a la Presa Ignacio Ramírez.
 Fuente propia en trabajo de campo 2012.

En la imagen 31, en la izquierda se aprecia, que antes de la llegada del Rio San Diego a la Presa Ignacio Ramírez, el cauce se represa con fines a la agricultura de riego, en la fotografía de la derecha se aprecia el cono de eyección la presa, de los tres geosistemas, San Diego es el de mayor anchura en esta sección, formando el delta más amplio de la zona de estudio.

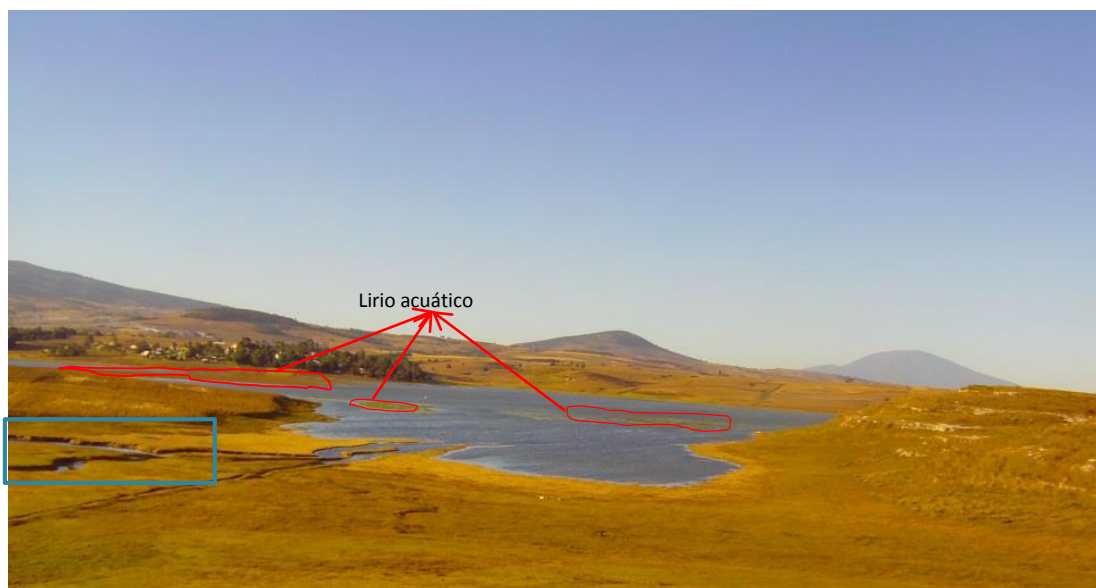


Imagen 32: Exutoria de La Gavia, integrándose a la Presa Ignacio Ramírez.
 Fuente propia en trabajo de campo 2012.

La Gavia presenta tres parteaguas, por lo tanto hay tres exutorias o conos de eyección a la Presa Ignacio Ramírez, la imagen 32, corresponde al cauce principal, que va en dirección SW→NE. En el cuadrante resaltado en color azul se aprecian los cauces bien definidos.







Imagen 33: Exutoria oeste de La Gavia, en la que se aprecia la dirección del lirio acuático.
Vista desde Las Tinajas, Tabernillas. Fuente propia en trabajo de campo 2012.

II. Evaluación de propuesta teórica – metodológica

Finalmente como parte de culminación de esta investigación se presenta la evaluación en términos científicos de la propuesta teórica – metodológica, de forma breve y en el siguiente formato:

Cuadro 29: Evaluación de la propuesta teórico-metodológica

TÍTULO DE LA PROPUESTA A EVALUAR:		
Propuesta Teórico – Metodológica para la integración de la variable Alométrica en la caracterización y diagnóstico ambiental de las subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya		
REQUISITOS	EVALUACIÓN	VALIDACIÓN
<p>Debe tratarse de una investigación de carácter científico, con todos los pasos y elementos que este conlleva.</p>	<p>La propuesta se basa en todos los pasos del método científico de investigación.</p> <ul style="list-style-type: none"> * Cuenta desde la observación con todos los sentidos a un objeto de estudio; en este caso las cuencas hidrográficas. * Seguido de la inducción y deducción de los diferentes enfoques desde donde se puede abordar en análisis de cuencas, para así integrar el método alométrico. En este apartado se han mostrado los antecedentes de estudio. * Se planteó al inicio de la investigación una hipótesis, en conjunto con un planteamiento del problema; y con el desarrollo de la investigación se ha probado. * Se ha realizado la experimentación o demostración de la hipótesis a través de la ejecución de la aplicación en tres subcuencas del Estado de México. Se sugiere en algunos casos la antítesis (¿qué sucedió?) como paso en donde se afirma o niega la hipótesis, en este caso fue positiva, con algunas observaciones mostradas en el apartado de conclusiones y recomendaciones. * Se expone la tesis, como resultado textual informativo de lo que ha sucedido en la experimentación. 	 Ha demostrado ser válido.
<p>De acuerdo con Bunge (1997: 34), una propuesta innovadora de una metodología, debe consistir en un procedimiento con un fin, que tenga un fundamento filosófico, y que sea <i>repetible</i>.</p>	<p>Todas estas características se cumplen en la propuesta del Método Alométrico, ya que se han expuesto:</p> <ul style="list-style-type: none"> * los <i>fundamentos teóricos</i>: desde la perspectiva filosófica se retoma el neopositivismo como corriente de pensamiento, la epistemología y filosofía de la ciencia, así como la Teoría del conocimiento. Desde la perspectiva disciplinaria se sustenta en la Geografía cuantitativa, dentro de la Geomorfología, con la Teoría general de sistemas como soporte. * <i>la metodología</i>: basada en los métodos hipotético deductivo y estructural funcionalista, así como el método alométrico. * <i>el procedimiento</i>: de diagramas matriciales y correlación de variables, para aplicarse en otros geosistemas de cuencas hidrográficas. 	 Ha demostrado ser válido.

	<p>* como ya se ha demostrado paso a paso el procedimiento para realizar un análisis alométrico, puede ser repetible en otros esquemas de cuencas hidrográficas, o bien trasladarlo a otro tipo de sistemas, abiertos.</p>	
<p>En la generación de nuevos conocimientos, una metodología nueva debe ser científicamente confiable.</p>	<p>La propuesta teórica-metodológica alométrica para el análisis de cuencas, si es Confiable, porque:</p> <ul style="list-style-type: none"> * se basa en todos los términos científicos, * ha sido apoyado y desarrollado en correlación de los enfoques filosófico y disciplinario, con fundamento en teorías y métodos ya definidos. 	<p style="text-align: center;"></p> <p>Ha demostrado ser válido.</p>
<p>En términos científicos, ha de ser objetivo</p>	<p>El análisis alométrico de cuencas hidrográficas, ha resultado objetivo, pues:</p> <ul style="list-style-type: none"> * que cuenta con su propio objeto de estudio, que es la cuenca hidrográfica, cumpliendo así con un requisito más de evaluación científica, aunado al método científico aplicado al descubrimiento de nuevas verdades; en este caso, todo bajo un enfoque de naturaleza geográfica. 	<p style="text-align: center;"></p> <p>Ha demostrado ser válido.</p>

Elaboración propia, con base en el marco teórico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente investigación se ha desarrollado la Propuesta Teórico – Metodológica para la integración de la variable Alométrica en la caracterización y diagnóstico ambiental de las subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya.

La hipótesis planteada al inicio de la investigación sugería que a partir de los cálculos numéricos obtenidos de cuencas hidrográficas, se puede generar una apropiada administración de recursos naturales, perspectiva bajo la cual se pueden vincular los resultados a diagnósticos y políticas de ordenamiento territorial, acordes a las comunidades establecidas en el área de la cuenca. Esta hipótesis ha sido verificada, pues a través de los parámetros calculados se ha diagnosticado a tres subcuencas del Estado de México, a saber: La Gavia, San Diego y Almoloya (de Juárez).

El objetivo general de la Propuesta sugerida, consistió en integrar el método alométrico como variable a la caracterización y diagnóstico de las cuencas: La Gavia, San Diego y Almoloya, esta integración es innovadora en el área de la Geografía física, ya que el método alométrico, propiamente ha emanado de la ciencia biológica; por lo tanto sugerirlo en una ciencia diferente requiere de un sólido fundamento.

Dicho fundamento se ha desarrollado satisfactoriamente en el primer objetivo específico, donde se ha mostrado la cimentación del método alométrico al análisis de cuencas hidrográficas, desde la perspectiva filosófica y disciplinaria, resaltando antecedentes del análisis morfométrico de la red de drenaje y cuenca en general, bajo los esquemas de Horton y Strahler.

De este apartado, en el capítulo 1 se señalan los cuadros 1, 2 y 3; en los que destaca como uno de los aportes de esta tesis, la última columna titulada *Funcionalidad (factores que contribuyen al análisis alométrico)*, después de una seria investigación se han señalado los valores estándar que deben mostrar las cuencas hidrográficas bajo un análisis d tipo cuantitativo.

Todo nuevo método debe ser aplicable a una zona de estudio, para esta tesis el objetivo específico dos, expuso una caracterización ambiental de las tres subcuencas seleccionada, para la implementación de la propuesta. Para esta caracterización se utilizó cartografía 1: 50 000 original y de salida 1:39 000; topográfica y temática, la cual permitió jerarquizar la región, acorde al tipo de procesos y dinámicas que en ella se ejecutan.

El resultado permitió comprobar, que los principales factores que están condicionando estas subcuencas, tienen que ver con el tipo de actividad de tipo geológica y geomorfológica, propias del sistema volcánico en que se encuentran.

El tercer objetivo específico, deja claro el procedimiento que ha de seguirse en un análisis bajo el esquema del método alométrico, tal como se había señalado al inicio de la tesis, se utilizaron gráficas del sistema cartesiano para correlacionar el orden de drenaje con las diferentes variables calculadas, a las que se les agrego una línea de tendencia con el correspondiente factor de correlación (R^2), en conjunto con la ecuación correspondiente al modelo obtenido de los datos.

Al comparar el comportamiento de las tres subcuencas, se comprende que son sistemas naturales, es decir abiertos, de manera que el desarrollo obtenido no es perfecto de acuerdo a los modelos estándar que se han señalado en los cuadros 1, 2 y 3, si se entiende que lo ideal debería ser un comportamiento lineal isométrico en el plano cartesiano, entonces lo que está fuera de ese comportamiento es alométrico.

A este respecto la figura 3 (página 30), y las tablas 4 y 5 (página 25), muestran los tipos de alometría, con base en esto, para las tres subcuencas se ha obtenido un tipo de alometría negativa.

El principal parámetro que está condicionando esta alometría es el número de cauces, ya que esta variable controla en gran medida el modelado del relieve, y para la región de estudio hay una notable variación entre el primer y segundo orden. Esta variación se debe el tipo de geología de la zona, ya que hay muchos escurrimientos superficiales que desaparecen por procesos de filtración y recarga de acuíferos. Asimismo destaca San Diego como la subcuenca que menor alometría presenta, es decir, su comportamiento es más próximo a los estándares establecidos, pero es que mayor superficie presenta en el lecho o cono de eyección.

En esta sección se ha agregado también un breve reporte ambiental del estado de las cuencas, en el que se destaca la vulnerabilidad de la Presa Ignacio Ramírez, por procesos de eutrofización evidenciada con la presencia de lirio acuático.

El último objetivo específico, ha sido un breve desarrollo de la validación de la propuesta que enmarca la esencia de la presente investigación.

Finalmente, como se ha señalado desde el planteamiento del problema, la integración es fundamental en esta investigación, por lo que se ha sugerido la aplicación de esta propuesta teórico – metodológica, en la planeación de un ordenamiento territorial, específicamente en las fases de caracterización y diagnóstico territorial de las subcuencas hidrográficas. Cabe mencionar que no se han señalado para esta investigación unidades ambientales con su respectiva clasificación de políticas de uso de suelo (recuperación, restauración, conservación), pues no es el objetivo principal, por otra parte como se ha señalado, esta políticas y existen para la zona de estudio, no así su ejecución y seguimiento.

Bajo este esquema de conclusiones, y al retomar el planteamiento de problema se concluye que:

- Al integrar la variable alométrica como método al análisis espacial de cuencas hidrográficas se logra contribuir al análisis espacial de estas.
- Es posible y funcional caracterizar y diagnosticar las cuencas hidrográficas con este método para contribuir al ordenamiento territorial.
- En efecto, si es posible caracterizar y diagnosticar el estado de desarrollo de las subcuencas La Gavia, San Diego y Almoloya
- Con respecto al tipo propuestas que recomiendan para optimizar el uso racional de recursos, derivado del análisis alométrico, en el área de estudio, o cualquier otra; se

requiere un análisis más profundo con el apoyo de índices que permitan cualificar los valores cuantitativos obtenidos, pero esto es posible con una mayor investigación.

La implementación de nuevas propuestas que faciliten el estudio o apoyen a otras metodologías para el análisis del espacio que nos rodea es válido, en esta investigación se propuso una metodología, se llevó a cabo en aplicación a una zona de estudio, y se definió la utilidad de los resultados: en la fase de caracterización y diagnóstico del Ordenamiento territorial y ecológico.

El desarrollo de la metodología incluyó mostrar la aplicación de las ecuaciones alométricas al desarrollo de las cuencas hidrográficas, quedan como propuestas para completar esta temática:

- Analizar a profundidad la ecuación de potencia, y aplicarla con la variable de superficie general y por órdenes de drenaje, ya que de acuerdo con la investigación realizada, la aplicación de esta ecuación para evaluar una cuenca, permite señalar, cómo está la cuenca en su totalidad respecto a su crecimiento o desarrollo relativo.
- Una vez aplicada la ecuación, realizar pruebas de ejecución de la ecuación bajo diferentes esquemas litológicos y geomorfológicos, y en función de estos definir estándares, ya que actualmente se sugiere la ecuación para otros sistemas, sin embargo no hay índices que muestren la correlación de ciertos valores con ciertos estado de las cuencas.
- El uso de SIG's especializados de primer mundo para el análisis del relieve, así como softwares estadísticos, para la identificación de alometría en el relieve, pero aún más, se sugiere la programación de un módulo que permita la obtención del análisis alométrico conjunto, ya que aunque ahora se puede hacer con la combinación de diferente paquetería, hay cálculos, que estos aún no pueden hacer con precisión, caso específico el cálculo de superficies y pendientes por orden de drenaje, y la misma red con todos los tributarios desde las cuencas de recepción.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Antigüedad. I. (s/d). Estudios Geomorfológicos en el país Vasco. En: 1 Encuentro de Geografía. EuskalHerria – Catalunya. Instituto Geográfico Vasco “Andrés de Urdaneta” (INGEBA), Euskal Geografi Elkargoa. [Consultado el 24 de julio de 2011, disponible en: <http://www.ingeba.euskalnet.net/liburua/topake1/antigued/antique.htm>].

Arnoletto, E.J.: (2007) Curso de Teoría Política, Edición electrónica gratuita. [Consultado el 10 de septiembre de 2009, disponible en: www.eumed.net/libros/2007b/300/]

Bachmann, K. (1978). Biología para médicos. Conceptos básicos para las facultades de Medicina, Farmacia y Biología. Serie de Biología Fundamental. Edición en español. Reverté S. A. Barcelona, España. Pp. 374.

Ballesteros C. (2004). Memoria para optar al grado de doctor: Farmacoterapia comparada de la fenilbutazona en diferentes especies animales: estudio alométrico. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria. Departamento de Toxicología y Farmacología. Madrid, España. Pp. 227.

Baxendale, C. (2010). El estudio del paisaje desde la Geografía. Aportes para reflexiones multidisciplinares en las prácticas de ordenamiento territorial. Fronteras. 9:25-31. [Consultado el 18 de octubre de 2012, disponible en: <http://www.gesiq-proeg.com.ar/documentos/articulos/2010-BAXENDALE.pdf>]

Bertalanffy L. (1968). Teoría General de los Sistemas. (Undécima reimpresión). Fondo de cultura Económica. México, D. F.

Briones. G. (1996). Epistemología de las Ciencias Sociales. En: Programa de Especialización en Teoría, Métodos y Técnicas de Investigación Social. Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación superior (ICFES). Módulos de Investigación Social. Bogotá, Colombia. Págs. 233. [Composición electrónica: ARFO, 2002. Consultado el 23 de julio de 2011, disponible en [http://unorte.edu.uy/ccss/mtubio/Metodologia%20Cuantitativa%20para%20Ciencias%20Sociales%20\(G.Briones\).pdf](http://unorte.edu.uy/ccss/mtubio/Metodologia%20Cuantitativa%20para%20Ciencias%20Sociales%20(G.Briones).pdf)].

Bunge M. (2da Ed.1997). Epistemología. 1era Ed. 1980. Editorial Ariel, Barcelona. 2da edición 1997 editorial Siglo XXI, México D. F. Págs. 252.

Buzai, G. (2005). Geografía automatizada, Ciencias de la Información Geográfica y Ciencias Sociales Integradas Espacialmente. Avances cuantitativos para los estudios territoriales del siglo XXI. Fronteras. Año 4, N°4, pp. 31-36. [Consultado el 1 de Agosto de 2011, disponible en: <http://www.gesiq-proeg.com.ar/documentos/articulos/2005-Buzai-Fronteras4.pdf>].

Calderón. M., Arancibia. M., Méndez. E., y Soto. R. (2008). Relaciones alométricas en erosión de Cárcavas. En Revista Geointeracciones. Volumen 1, N°1. Universidad Bolivariana. [Consultado el 23 de noviembre de 2010 disponible en: <http://www.geointeracciones.cl/calde.htm>]

Christofolletti. A. (1981). La noción de equilibrio en la geomorfología fluvial. En Revista e Geografía Norte Grande, N° 8. Pontificia Universidad Católica. Pp. 69-86. [Disponible en http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N8/Nocion_equilibrio_geomorfologia_fluvial.pdf [consultado el 2 de julio de 2009].

Delgadillo. J. (1990). El concepto de región y planeación en México. En Revista de Geografía, Vol. III. N°4. México. Págs. 87-97.

Delgado, O. (2003). Debates sobre el espacio en la Geografía contemporánea. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía. Red de Estudios de Espacio y Territorio (RET). Bogotá, Colombia. Pp. 254.

Díaz-Delgado. C., Esteller. M.V., Valsco-Hilpa. A., Martínez-Vilchis. J., Arriaga-Jordán. J., Vilchis-Francés. A.Y., Manzano-Solís. L.R., Colín-Mercado. M., Miranda-Juárez. S., Uribe-Caballero. M.L.W. & Peña-Hinojosa. A. (2009). Guía de Planeación estratégica participativa para la gestión integrada de los Recursos hídricos de la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Capítulo estado de México. Centro Interamericano de Recursos del Agua. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México, y Red Institucional e Interdisciplinaria de Investigación y Consulta y Coordinación Científica para la Recuperación de la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago (RED LERMA). Toluca, Estado de México. pp.177.

Derruau, M. (1996). Geomorfología. 1995 Edición original. París. 1996 Edición castellana. Ed. Ariel, S. A. Barcelona, España. Pp. 442.

Dirección de Ecología. (2009). Datos para la Subcuenca del Río Lerma. H. Ayuntamiento Constitucional 2009-2012. Págs. 25. [Consultado el 10 de julio de 2011, disponible en: http://www.almoloyadejuarez.gob.mx/html/Transparencia/Documentos_transparencia/Capitulo_15/Fraccion_I/ECOLOGIA_RIOLERMA.pdf].

Docampo. L.; Bikuña. B.; Rico. E.; Rallo. A. (1989). *Morfometría de las cuencas de la red Hidrográfica de Bizcaya (País Vasco, España)*. Asociación Española de Limnología. En Publicación electrónica: Limnética (Asociación Ibérica de Limnología) 5. Madrid, España. <http://limnetica.com/Limnetica/Limne5/Limnetica-vol5-pag51-67.pdf>.

Dolado. J. (1999). Validez de las predicciones en la estimación de costes. s/d. [Consultado el 7 de noviembre de 2012, disponible en: <http://www.sc.ehu.es/jiwdocoj/remis/docs/validez/validez.htm>]

Espinosa. L. (2003). Tesis de maestría: Geomorfología del Noreste del Nevado de Toluca (versión electrónica). *Ciencia Ergo sum*. Vol. 10-2, julio – octubre. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

Facultad de Geografía. (2007). Plan de Estudios de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. México. Págs. 129.

Franco, R. (2008). Tesis de doctorado: Concepción e implementación de un módulo hidrogeomático para la evaluación de disponibilidad de recursos hídricos. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ingeniería. Centro Interamericano de Recurso del Agua (CIRA). Toluca, México. 169 pp.

Fuentes. J. (2009). Acta de fallo de la invitación restringida Número IR-010-2009 la contratación del servicio de trabajos de limpieza de malezas acuáticas en la Presa "Ignacio Ramírez". Coordinación Administrativa de la Secretaría del Medio Ambiente, Conjunto SEDAGRO. Gobierno del Estado de México. 17 de diciembre a las 11:00 horas. [Consultado el 6 de mayo de 2011, disponible en: <http://transparencia.edomex.gob.mx/sma/informacion/actas%20comite/actas%20ADQ/43.%2017-12-2009.pdf>]

Gayon, J. (2000). History of the Concept of Allometry. En Revista: American Zoologist. 40. Págs. 748-758. From the Symposium Evolutionary Developmental Biology: Paradigms, Problems and Prospects presented at the Annual Meeting of the Society for Integrative and Comparative Biology, 4-8 January, at Atlanta, Georgia. [Consultado el 5 de agosto de 2011, disponible en <http://icb.oxfordjournals.org/content/40/5/748.abstract>].

Guerra. F. (1980). Fotogeología. Facultad de Ingeniería. UNAM. México, D. F.

Gutiérrez, M. (2008). Geomorfología. Pearson, Educación. Prentice-Hall. Madrid, España. Pp. 920.

H. Ayuntamiento municipal. (s/d). Plan Municipal de Desarrollo Urbano 2009-2012 [consultado el 10 de mayo de 2011, disponible en http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/almoloya_juarez/pdualmoloya.pdf].

Heano. J. (2006). Introducción al manejo de las cuencas hidrográficas. Colombia, D. C. Universidad de Santo Tomás.

Hernández, A., Hernández. P. & Gordillo. (2006). Manual para la evaluación de impactos ambientales. Ed. Inncive (Innovación Civil Española). Madrid, España. Pp.770.

Hernández, R.; Espinosa, L. (2007). Análisis Alométrico de cuencas. VII Reunión Nacional de Geomorfología: La dimensión geomorfológica en el manejo del territorio (versión electrónica), 26-29 de noviembre. Sociedad Mexicana de Geomorfología. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Instituto de Geografía, UNAM. Morelia, Michoacán. México. Págs. 95.

Hernández, R. (2009). Tesis de licenciatura: Análisis alométrico de cuencas en la porción Centro-Oeste de la Sierra de las Cruces. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía. Toluca. México. Págs. 119.

Hessen J. (3ra Ed.2007). Teoría del Conocimiento. 1ra edición 1998. 2da edición 2003. Ed. Tomo. México D. F. págs. 226.

Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical application of quantitative morphology. *bull. Geol. Soc. América*. 56, EE.UU.

Hurtado, I., & Toro, J. (2007). Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambio. Modelos de conocimiento que rigen los procesos de investigación y los métodos científicos expuestos desde la perspectiva de las ciencias sociales. SEC.SA. Los libros de El Nacional. Caracas, Venezuela. [Consultado en línea el 15 de noviembre de 2012; disponible en: <http://books.google.com.mx/books?id=pTHLXXMa90sC&pg=PA75&dq=metodo+hipotetico+deductivo&hl=es&sa=X&ei=iUW5UPa6JoyJgQHT44HwCw&sqj=2&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=metodo%20hipotetico%20deductivo&f=false>]

I.E.S. (s/d). La aldea de San Nicolás. Departamento de ciencias Sociales. [Consultado el 26 de octubre de 2012; disponible en: <http://www.ieslaaldea.com/documentos/terminosvolcanicos.pdf>] pp7.

INE. (s/d). Vegetación y uso del suelo. [Consultado el 31 de octubre de 2012, disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/411/cap2.pdf>] pp.53.

IUSS, ISRIC & FAO. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Primera actualización. Segunda edición 2006. En Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos. N° 103. FAO. Roma. Italia. Pp.130.[Consultado el 30 de octubre de 2012, disponible en: http://www.secs.com.es/docus/Fao_espanol.pdf]

INEGI. (1981). Guía para la interpretación de Cartografía Uso de Suelo y Vegetación. Primera edición. Publicación única. Aguascalientes, México. pp.96. [Consultado el 31 de octubre de 2012, disponible en: http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/sueloyveg/USOSUEVEGI.pdf]

INEGI (1990). Provincias fisiográficas de la República Mexicana. En Rumbo a la Sierra Madre Oriental (organización civil dedicada a la investigación y conservación de esta región montañosa de México). Mapa basado en Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olgín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E. y Pineda-Velázquez, A. [Consultado el 10 de noviembre de 2012, disponible en: http://www.google.com.mx/imgres?q=provincias+fisiograficas+de+mexico&hl=es&sa=X&tbo=d&rlz=1R2NDKB_esMX509&biw=1197&bih=678&tbm=isch&tbnid=s8gtzQvTjDkY7M:&imgrefurl=http://sierra-madre-oriental.blogspot.com/2011/10/subprovincias-fisiograficas-de-mexico.html&docid=2yZkOsvYiAX4M&imgurl=http://1.bp.blogspot.com/-Pn4piJ8qWIY/To0WMuK5ShI/AAAAAAAAABcc/CEfhkpgYGao/s1600/provincias%252Bfisiogr%252525C3%252525A1ficas.jpg&w=1536&h=1192&ei=uEK5UOHXJ9G42gXklYCIbQ&zoom=1&iact=hc&vpx=542&vpy=363&dur=266&hovh=198&hovw=255&tx=150&ty=164&sig=113082900478858129752&page=1&tbnh=155&tbnw=197&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:15,s:0,i:130]

INEGI. (2004). Guía para la interpretación de Cartografía Edafología. Aguascalientes, México. [Consultado el 30 de octubre de 2012, disponible en: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/edafo/EdafI.pdf]

INEGI. (2005). Guía para la interpretación de cartografía geológica. Aguascalientes, México. [Consultado el 19 de octubre de 2012; disponible en: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/geolo/GeolV.pdf].

INEGI. (2009). Censo Económico 2009. [Consultado el 12 de junio de 2011, disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/saic/default.asp?s=est&c=17166>].

INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda. Tabulados del Cuestionario Ampliado. Población ocupada y su distribución porcentual según sector de actividad económica para cada municipio. Fecha de elaboración: 21/09/2011. [Consultado el 27 de octubre de 2012, disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=27303&s=est>]

INEGI. (2012^a). Provincia Fisiográfica. [Consultado en línea el 18 de octubre de 2012, disponible en: <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/definiciones/definic.cfm?c=444&e=15>].

INEGI. (2012^b). Fisiografía. Consultado en línea el 18 de octubre de 2012, disponible en: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/edomex/fisio.cfm?c=444&e=15>

Jiménez, O.; Vargas, J.; Serrano, T.; Gálvez, M. (s/a). Introducción a la Epistemología. Instituto Hidalguense de Educación. Universidad Pedagógica Nacional-Hidalgo. Licenciatura en Intervención Educativa. [Consultado el 27 de julio de 2011, disponible en: <http://upn303.com/files/lie/semestre1/epistemologia.pdf>].

Kent, M. (2003). Diccionario Oxford de Medicina y Ciencias del Deporte (Cartoné). Colección: Medicina Deportiva. Paidotribo, S. L. Pp. 832.

Llamas, J. (1993). Hidrología general: Principios y aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 635 pp.

LeVarge, S. (2005). Las solicitudes de funciones logarítmicas y exponenciales. El Proyecto Biológico [en línea]. Departamento de Bioquímica y Biofísica Molecular. Universidad de Arizona (Consultado el 10 de noviembre de 2012, disponible en: <http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.biology.arizona.edu/biomath/tutorials/applications/Allometry.html&ei=srmrUlelOM7JqQG0w4H4BA>).

Lugo, J. (1989). Diccionario geomorfológico. Con equivalentes de los términos de uso más común en alemán, francés, inglés y ruso. UNAM. México. D. F. 337pp.

Madrid, A. & Ortiz, L. (s/d). Análisis Espacial. En Repositorio Institucional de Biblioteca Digital, de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Pp.24. [Consultado el 2 de noviembre de 2012, disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1239/3/02CAPI01.pdf>]

Magallán. D. (2010). La Presa Ignacio Ramírez se ha visto inundada con lirio acuático, lo que ha motivado la alerta de científicos y grupos ecologistas .Periódico: El Universal. 21 de abril de 2010, México. [Consultado el 6 de abril de 2011, disponible en:

http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=11426:presa-de-almoloya-en-riesgo-de-desastre-ecologico&catid=61&Itemid=100010

Mateo. J. (2002). Geografía de los Paisajes. Primera Parte: Paisajes naturales. Editorial Universitaria.

Martínez, L.; Romero. M.; López. E.; et. al. (1999). Efecto tóxico del DDT, clordano y agua de la Presa Ignacio Ramírez (México), sobre *Daphia magna* (Crustace: Daphnidae). Revista Biología Tropical. Diciembre Vol. 47, N°4. P681-690. ISSN 0034-7744. [Consultado 13 mayo de 2011, disponible en:
http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003477441999000400004&lng=es&nrm=iso].

Microsoft Office (2010). Agregar o cambiar una línea de tendencia en un gráfico Excel en Soporte. [Consultado el 7 de noviembre de 2012, disponible en: <http://office.microsoft.com/es-mx/excel-help/agregar-cambiar-o-quitara-una-linea-de-tendencia-en-un-grafico-HP010342158.aspx>].

Murcia, E. (1978). Análisis de sistemas en Geografía Urbana: el sistema urbano asturiano. El Basilisco, N°5. Noviembre-diciembre. [Consultado el 11 de agosto de 2011, disponible en:].

Ortega, J. (2000). Los horizontes de la Geografía. Ariel. S.A Barcelona, España. Págs. 604.

Palacios, J.; Sánchez, M.; Casado, J.; Propin, E.; Delgado, J.; Velázquez, A.; Chis, L.; Ortiz, M.; González, J.; Negrete, G.; Gabriel, J.; Márquez, R. (2004). Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. Secretaría de Desarrollo Social, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. Pp. 12-.

Parent. M.; Farrand. J.; Esquivel. N.; Soriano. R.; Pérez. E. (1994). ¿Qué es la Universidad?. Centro de estudios de la Universidad. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. México.

PEMEX Exploración y Producción. (2010). Provincias Geológicas de México. Versión 1.0. (cita de Ortega-Gutiérrez, Fernando, Mitre-Salazar, Luis M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, José J., Morán-Zenteno, Dante, Alaníz-Alvarez Susana, A., Nieto-Samaniego, Ángel F. 1992. Texto Explicativo de la 5TA Ed. de la Carta geológica de la República Mexicana, 1:2'000,000. IG- UNAM y el Coremi, de la SEMIP) [Consultado el 18 de octubre de 2012, disponible en: <http://www.cnh.gob.mx/rig/PDF/PROVINCIAS%20GEOLOGICAS.pdf>].

Pérez. S. (2007). La naturaleza jurídica de un alebrije: el programa de manejo. Hacia una mejor protección de las áreas naturales. Tesis de Licenciatura en Derecho. Instituto Tecnológico Autónomo de México. México. D. F.

Pézard, A. (1918). Le conditionnement physiologique des caracteres sexuels secondaires chez les oiseaux. Bull. biol. Fr. Belg. 52:1-176.

Pillet F. (2004). La Geografía y las diferentes acepciones del Espacio Geográfico. En: Investigaciones Geográficas, N°34. Págs. 141-154. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante, España. [Consultado el 19 de julio de 2011, Disponible en REDALYC: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=17603407>.

Popper. R. K, (1934). La lógica de la Investigación Científica. Tecnos, Madrid, España 1973. [Consultado el 26 de julio de 2011, disponible en: <http://es.scribd.com/doc/19878785/Popper-Karl-La-logica-de-la-investigacion-cientifica-1934>].

Rzendowski. J. (1986). Vegetación de México. 1era edición en 1978. 3ra reimpresión. México. D. F. Editorial Limusa. Pp.432.

Sánchez, A. (1987). Conceptos elementales de Hidrología Forestal, agua cuenca y vegetación. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). División de ciencias Forestales. México. Pp. 149.

Sánchez, M. (s/d). Sistemas intensivos de producción. Crecimiento y desarrollo de órganos y tejidos.-Composición del crecimiento: variación según genotipo, sexo y nivel de alimentación. Determinación del desarrollo. Alometría. Producción animal e Higiene Veterinaria (Grupo A). [Consultado el 8 de agosto de 2011, disponible en: http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/01_12_12_tema_15a.pdf]

SEMARNAT. (s/d). Página en línea. [Consultado el 10 de octubre de 2012, disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Paginas/ODEcretados.aspx>]

Strahler A. (1952^a). Dynamic basis of Geomorphology. Bulletin of the Geological Society of America. Vol. 63. Págs.923-938. September.

Strahler A. (1952^b). Hypsometric (área-altitude) analysis of erosional topography. Buletin of the Geological Society of América. Vol 63, pp. 1117-1142, 23Figs. 1 Pl. Noviembre. Págs. 26.

Strahler A. (1982). *Geografía Física* (6^oed.). Barcelona, España. Editorial Omega.

Tarbuck E. & Lutgens F. & Tasa D. (2010). Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. Vol. 1. 8^{va} Ed. Pearson Educación S.A., Madrid, España. Págs. 400.

Velázquez, J.; Tenorio, G.; Soto, S.; Martínez, J.; Carrillo B. (2010). Geografía Ambiente y Sociedad. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). 1^{era} Ed.2006, 1^{era} reimpresión 2008. 2^{da} reimpresión 2009. 3^{ra} reimpresión 2010. Toluca, México. Págs. 249.

Vélez, I. (2003). Apuntes de Probabilidad y Estadística para ingeniería y administración. Facultad de Ingeniería Industrial. Politécnico Gran Colombiano. [Consultado el 7 de noviembre de 2012, disponible en: <http://www.gacetafinanciera.com/TEORIARIESGO/regresion.pdf>]