

## TABLA DE CONTENIDO

<b>8.3. Caracterización básica de la Cuenca.....</b>	<b>5</b>
8.3.1. Caracterización político administrativa de la Cuenca _____	5
8.3.4. Plantilla para la presentación de mapas _____	22
8.3.5. Modelo digital de terreno _____	22
8.3.6. Bibliografía citada y consultada _____	39

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Municipios que hacen parte de la Cuenca .....	5
<b>Tabla 2.</b> Veredas del municipio de Marulanda en la cuenca del río Guarinó .....	7
<b>Tabla 3.</b> Veredas del municipio de Manzanares en la cuenca del río Guarinó. ....	8
<b>Tabla 4.</b> Veredas del municipio de Marquetalia en la cuenca del río Guarinó. ....	10
<b>Tabla 5.</b> Veredas del municipio de Victoria en la cuenca del río Guarinó .....	11
<b>Tabla 6.</b> Veredas del municipio de La Dorada en la cuenca del río Guarinó. ....	12
<b>Tabla 7.</b> Veredas del municipio de Honda, en la cuenca del río Guarinó .....	13
<b>Tabla 8.</b> Veredas del municipio de San Sebastián de Mariquita dentro de la Cuenca.....	14
<b>Tabla 9.</b> Veredas del municipio de Fresno que hacen parte de la Cuenca.....	16
<b>Tabla 10.</b> Veredas del municipio de Hervey que hacen parte de la Cuenca .....	17
<b>Tabla 11.</b> Planchas topográficas del área de estudio. ....	18
<b>Tabla 12.</b> Valores permisibles para evaluar un producto cartográfico .....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> División político – administrativa del de la cuenca del río Guarinó .....	6
<b>Figura 2.</b> Índice de hojas cartográficas escala 1:25.000.....	20
<b>Figura 3.</b> Plantilla de mapas para la cuenca del río Guarinó .....	23
<b>Figura 4.</b> Modelo digital de elevaciones y los componentes del gradiente. La figura superior derecha muestra la componente direccional en el sentido E-O y la inferior la correspondiente al sentido S-N. La zona es la cuenca del río Guarinó. ....	25
<b>Figura 5.</b> Simulación donde se aprecia el peso excesivo de las curvas de nivel en los métodos de construcción del MDE y que se refleja en la aparición de "terrazas" claramente visibles en las zonas de menor pendiente. ....	26
<b>Figura 6.</b> Modelo digital de orientaciones de un sector de la Cuenca del río Guarinó. La orientación es una variable de distribución circular que se ha codificado en tonos de gris desde el Norte (negro), aclarándose progresivamente en sentido horario. Las orientaciones al Sur están representadas en tonos gris-medio. ....	28
<b>Figura 7.</b> Modelo digital de curvatura de un sector de la Cuenca del río Guarinó. Las zonas cóncavas se representan en blanco y las convexas en tonos oscuros	31
<b>Figura 8.</b> Modelo digital de rugosidad de un sector de la Cuenca del río Guarinó, construido a partir de la desviación estándar de la pendiente. Las zonas rugosas se representan en tonos claros y las lisas en tonos oscuros.....	33
<b>Figura 9.</b> Arctoolbox > 3D Analyst tools > Raster Interpolation> Topo to Raster..	34
<b>Figura 10.</b> Customize > extensions .....	35
<b>Figura 11.</b> Capa raster modelo digital de elevación DEM.....	36
<b>Figura 12.</b> Modelo Digital de Elevación de la cuenca del río Guarinó.2016 .....	38

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1.</b> Casco urbano del municipio de Marulanda .....	7
<b>Fotografía 2.</b> Casco urbano del municipio de Manzanares .....	8
<b>Fotografía 3.</b> Casco urbano del municipio de Marquetalia .....	10
<b>Fotografía 4.</b> Casco urbano del municipio de Victoria .....	11
<b>Fotografía 5.</b> Casco urbano del municipio de La Dorada .....	12
<b>Fotografía 6.</b> Alcaldía del municipio de Honda.....	13
<b>Fotografía 7.</b> Parque Principal del Municipio de San Sebastián de Mariquita .....	14
<b>Fotografía 8.</b> Parque Principal del Municipio de Fresno.....	15
<b>Fotografía 9.</b> Parque Principal del Municipio de Herveo .....	17

### 8.3. Caracterización básica de la Cuenca

La cuenca hidrográfica del río Guarinó se encuentra enmarcada en la Gran Cuenca del Magdalena - Cauca, la cual tiene una superficie de 273.489 km<sup>2</sup> que equivale al 24% del territorio colombiano, donde se ha establecido el 77% de la población colombiana. La Gran Cuenca se divide en 9 zonas hidrográficas; Alto Magdalena, Bajo Magdalena, Bajo Magdalena-Cauca –San Jorge, Cauca, Cesar, Nechi, Saldaña, Sogamoso y Medio Magdalena (UT Macrocuencas Magdalena – Cauca y Caribe. 2016), es precisamente en esta última donde se encuentra la cuenca del río Guarinó.

En la zona hidrográfica Magdalena Medio se presenta un balance positivo de la oferta frente a la demanda, evidenciado en un Índice de Uso del Agua (IUA) con baja vulnerabilidad al des-abastecimiento. (UT Macrocuencas Magdalena – Cauca y Caribe. 2016).

#### 8.3.1. Caracterización político administrativa de la Cuenca

La Cuenca hidrográfica del río Guarinó, presenta un área total de 83.830 Ha y su distribución político administrativa comprende 5 municipios del departamento de Caldas y 4 municipios del departamento de Tolima. Tal como se muestra en la siguiente Tabla:

**Tabla 1. Municipios que hacen parte de la Cuenca**

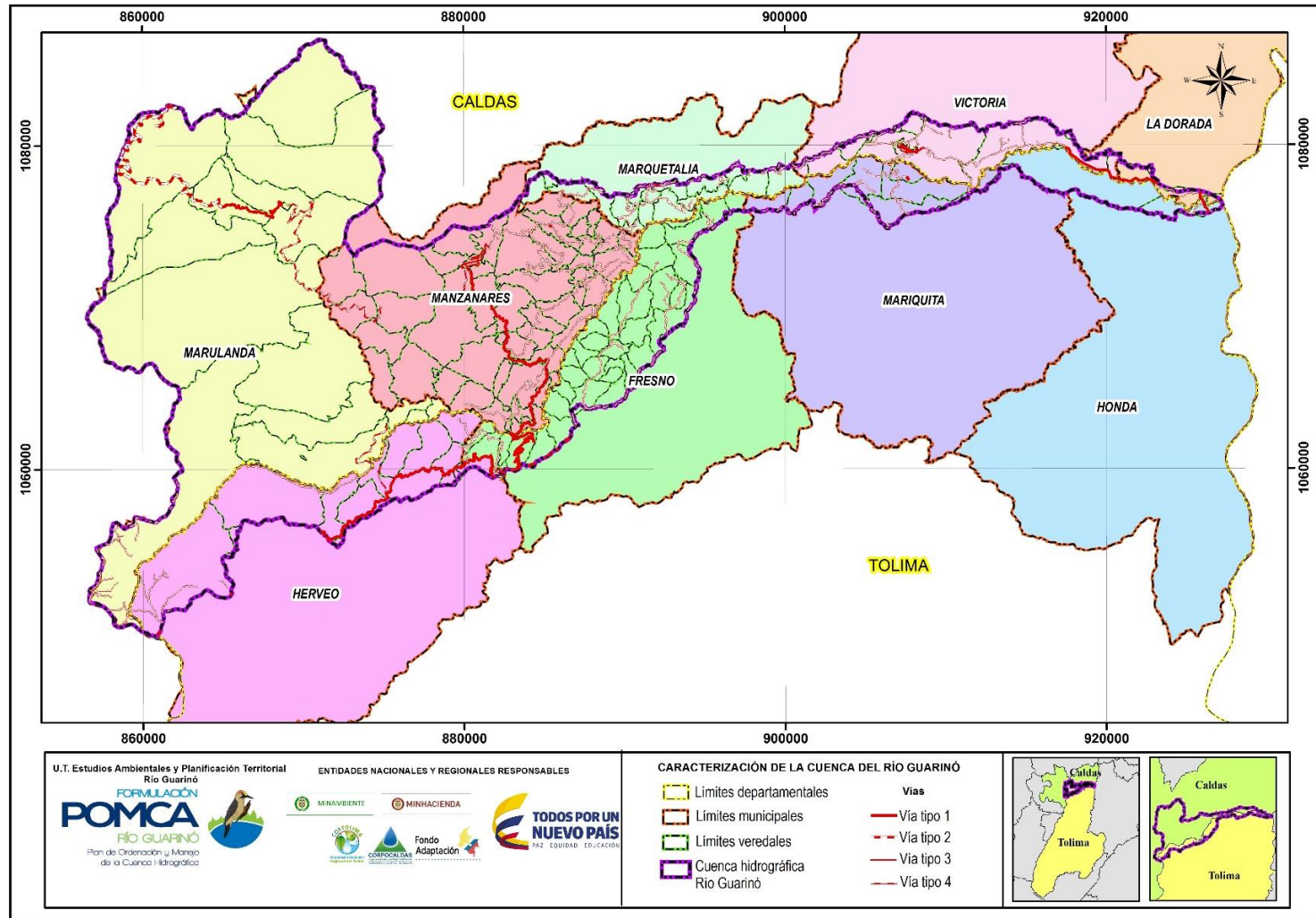
CALDAS			TOLIMA		
Municipio	Porcentaje	Área (Ha)	Municipio	Porcentaje	Área (Ha)
Manzanares	21,65	18152,82	Herveo	10,18	8533,53
Marquetalia	3,24	2718,93	Fresno	9,01	7550,54
Marulanda	44,89	37634,00	Mariquita	3,33	2789,82
Victoria	4,54	3808,62	Honda	2,46	2059,39
La Dorada	0,70	582,67			
<b>TOTAL</b>	<b>75,03</b>	<b>62897,04</b>	<b>TOTAL</b>	<b>24,97</b>	<b>20933,2856</b>

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

En la **Figura 1** se presenta la división política administrativa de la cuenca del río Guarinó,

#### 8.3.1.1. Municipios del departamento de Caldas

El 75% de la cuenca (es decir 62.897,04 ha) se encuentran en el territorio departamento de Caldas, con presencia en dos de sus subregiones: Alto Oriente (Manzanares, Marquetalia y Marulanda) y Magdalena Caldense (La Dorada y Victoria), esta última región concentra el 13% de los habitantes del departamento, no obstante, en la Cuenca, estos dos municipios sólo ocupan el 5.1% del área total de la misma.



**Figura 1.** División político – administrativa del de la cuenca del río Guarinó  
**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

- Municipio de Marulanda

El municipio de Marulanda tiene una extensión total de 37.634 Ha, que se encuentra en su totalidad dentro de la cuenca del río Guarinó, el municipio se encuentra dividido en el casco urbano de Marulanda, el corregimiento de Montebonito, y 14 veredas.



**Fotografía 1.** Casco urbano del municipio de Marulanda

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

Montebonito, se encuentra al sur del municipio, entre los ríos Guarinó y Perrillo, a una altitud de 1800 m, región que comparte características similares con la cuenca media, alrededor de la caficultura como actividad económica predominante. Aunque es el único corregimiento del Municipio y presenta una alta incidencia en la región, no se cuenta aún con una carretera que lo comunique con el centro urbano de Marulanda<sup>1</sup>.

El municipio de Marulanda aporta el 44.8% del área total de la cuenca hidrográfica del río Guarinó, con las veredas que se presentan en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Veredas del municipio de Marulanda en la cuenca del río Guarinó

Jurisdicción	Vereda	Área
Cabecera Municipal	Casco Urbano	16,27
Cabecera Municipal	San Isidro	2752,31
	Alejandría	3904,28
	El Páramo	3923,23
	Mollejones	2508,43
	Las Peñas	923,33
	Rincón Santo	8002,04
	Centro	2351,16
Montebonito	Santa Rita	3533,27
	La Suecia	1621,02
	El Zancudo	5425,71
	La Laguna	2215,58
	Naranjal	95,57
	Santa Clara	117,03
	Centro Montebonito	244,77

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

<sup>1</sup> Alcaldía de Marulanda. Plan de Desarrollo 2012 -2015. "Marulanda hacia la Unión y el Progreso". Pág 20.

- Municipio de Manzanares

El municipio de Manzanares tiene una extensión de 24.400 hectáreas, de las cuales el 74.3% (18.152,82 Ha) se encuentra en la cuenca del río Guarinó, dividido en la zona centro, tres corregimientos (Aguabonita, Planes y Margaritas) y 53 veredas<sup>2</sup>.



**Fotografía 2.** Casco urbano del municipio de Manzanares

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

El municipio está dividido en una zona centro con 15 veredas, el corregimiento de los Planes con 12 veredas, el corregimiento de Aguabonita con 16 veredas y por último el corregimiento de las Margaritas con 10 veredas.

La participación del municipio dentro de la Cuenca, corresponde a 21,65% del área total de estudio, con las 46 veredas y el casco urbano que se presentan a continuación:

**Tabla 3.** Veredas del municipio de Manzanares en la cuenca del río Guarinó.

Jurisdicción	Vereda	Área
Casco urbano	Manzanares	71,76
Zona Centro	Buenavista	291,44
	Dosquebradas	508,17
	El Toro	768,73
	La Chalca	360,94
	La Esmeralda	497,86
	La Florida	488,94
	La Unión	1450,36
	Letras	711,43
	Quebraditas	1176,61
	Romeral	311,35
	San Luis	402,24
	Travesías	104,64

<sup>2</sup> Alcaldía de Manzanares. Plan de Desarrollo 2012 -2015. "Innovación y Compromiso por Manzanares".

Jurisdicción	Vereda	Área
Corregimiento los Planes	El Sueldo	961,90
	El Vergel	129,17
	La Rica	101,77
	Planes	345,95
	San Juan Carretera	464,70
	San Juan Guarinó	138,27
	San Juan La Siria	236,46
	San Isidro	102,52
	San José	218,90
	Santa Barbará	342,33
Corregimiento Aguabonita	Aguabonita	590,56
	Campoalegre	251,79
	El Crucero	95,75
	El Pastal	55,16
	Guarinó	79,75
	Guayaquil	167,79
	La Ceiba	316,96
	La Cristalina	232,91
	La Floresta	3,00
	La Gallera	830,69
	La Sonrisa	314,31
	Llanadas	734,66
	Palmichal	531,39
	Quimula	138,86
Corregimiento Las Margaritas	San Pedro	132,53
	San Vicente	385,17
	Buenos Aires	242,73
	Cantadelicia	247,10
	El Aliso	629,54
	El Callao	276,69
	La Arabia	321,67
	La Italia	120,60
Las Margaritas	583,51	
Naranjal	208,46	

Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

- Municipio de Marquetalia

Marquetalia presenta una extensión de 9.100 Ha, constituyéndose en uno de los municipios más pequeños del departamento de Caldas, el 29,8% (2.718,93 Ha) de su extensión se encuentra dentro de la cuenca del río Guarinó.

Administrativamente el municipio se encuentra conformado por la cabecera municipal y el corregimiento de Santa Elena<sup>3</sup>. La cabecera municipal se encuentra de forma compartida en las cuencas del río Guarinó y el río La Miel, y ejerce jurisdicción en 32 veredas y el corregimiento de Santa Elene comprende 16 veredas.

<sup>3</sup> CORPOCALDAS. Agenda para la Gestión Ambiental. Pág 12.



**Fotografía 3.** Casco urbano del municipio de Marquetalia

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

El total de la participación de este municipio dentro de la cuenca es de 3.24%, y las veredas que se encuentran en ella se presentan en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Veredas del municipio de Marquetalia en la cuenca del río Guarinó.

Jurisdicción	Vereda	Área
Cabecera Municipal	Casco urbano	10,45
	Alegrías	88,78
	Campo alegre	323,51
	Cúcuta	124,73
	La Estrella	79,0
	La Florida	235,90
	La Quiebra	201,58
	La Rosal	79,94
	San Gregorio	123,46
	San Juan	231,11
	Unión Esperanza	61,13
Corregimiento Santa Elena	Alto Bonito	299,88
	El Retiro	1,23
	Guacas	1,87
	Guarinó Guamo	295,89
	Guarinó San Roque	191,40
	San Pablo	70,41
	San Roque	208,16
	Santa Elena	90,50

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

- Municipio de Victoria

El municipio de Victoria se localiza entre el piedemonte oriental de la Cordillera Central y el Valle Interandino del río Magdalena, tiene una extensión de 58.403 hectáreas y

constituye el segundo municipio más extenso del departamento<sup>4</sup>, no obstante, sólo el 6,52% de su área que corresponde a 3.808,62 Ha se encuentran en la cuenca del río Guarinó.



**Fotografía 4.** Casco urbano del municipio de Victoria

Fuente: <http://www.emav-caldas.gov.co/es/acerca-de-la-entidad/donde-estamos>

El 4.54% del territorio de la Cuenca, corresponde al municipio de Victoria, de acuerdo a la división política del municipio, este se divide en la cabecera municipal, una inspección especial de Isaza y 27 veredas, de las cuales 7 se encuentran en la cuenca del río Guarinó, tal como se muestra en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Veredas del municipio de Victoria en la cuenca del río Guarinó

Vereda	Área
Casco Urbano	37,98
Bellavista	21,28
Cañaveral	173,23
Canaán	385,37
El Aguacate	1386,22
El Llano	1388,61
La Italia	277,32
Santa Isabel	138,61

Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

- Municipio de La Dorada

El municipio de la Dorada presenta una extensión de 57.400 ha, que corresponde al 6.67% del área total del departamento de Caldas, siendo su cabecera municipal la

<sup>4</sup> Municipio de Victoria. Plan de acción local para la atención integral de las víctimas del conflicto armado 2012-2015. Pág 5-

segunda ciudad en importancia en el departamento, después de su capital Manizales<sup>5</sup>. Con respecto al ámbito territorial de la cuenca del río Guarinó, sólo el 1.01% del municipio hace parte de la Cuenca.



**Fotografía 5.** Casco urbano del municipio de La Dorada

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

Administrativamente el municipio está compuesto por la zona rural que la constituye 10 centros poblados, 21 veredas y un área urbana, el 0,70% del área total de la cuenca del río Guarinó pertenece al municipio de La Dorada (582,67 ha), con tan solo 1 de sus veredas y su centro poblado, tal como se presenta en la **Tabla 5**.

**Tabla 6.** Veredas del municipio de La Dorada en la cuenca del río Guarinó.

Vereda	Área
Horizonte	582,67 ha

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

### 8.3.1.2. Municipios del departamento de Tolima

El 24,97% de la cuenca (es decir 20.933,28 Ha) se encuentra en el territorio departamento del Tolima, distribuidos en los municipios de Hervey, Fresno, San Sebastián de Mariquita y Honda.

<sup>5</sup> Alcaldía de la Dorada. Plan de Desarrollo Municipio de la Dorada 2008 – 2011 “Construyendo en Paz La Dorada que todos queremos”. Pág. 7.

En la propuesta de eco-regiones estratégicas para el Tolima (Cortolima, 2001), el departamento se divide en siete (7) zonas: Provincia Ibagué, Provincia del Sur del Tolima, Provincia del Oriente de Tolima, Provincia del Sureste del Tolima, Provincia del Norte del Tolima, Provincia de los Nevados y Centros Ordenadores.

Los municipios del departamento del Tolima que hacen parte de la Cuenca, se encuentran localizados en tres (3) de estas zonas: Provincia del Norte del Tolima (Fresno y San Sebastián de Mariquita), Provincia de los Nevados (Herveo) y el centro ordenador de Honda<sup>6</sup>.

- Municipio de Honda

El municipio de Honda cuenta con un área de 30.316 ha, de los cuales sólo el 2,39%, pertenece al área urbana y el 97.61% al sector rural, distribuidas en 9 veredas: Bremen Santa Helena, Mesuno, Perico, Llano de Villegas, Guacimal, El Triunfo, Kilómetro 42, Caimital y Calunga.



**Fotografía 6.** Alcaldía del municipio de Honda

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

De los municipios del departamento del Tolima, es Honda el que ocupa el menor porcentaje de participación dentro de la Cuenca, con tan solo el 2,45%, que corresponde a 2.059,39 Ha, con las veredas que se presentan en la **Tabla 7**.

**Tabla 7.** Veredas del municipio de Honda, en la cuenca del río Guarinó

Veredas	Área (ha)
Perico	360,81
Llano de Villegas	1698,58

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

<sup>6</sup> Universidad del Tolima. 2010. Proyecto de Investigación Aproximación a la Configuración Regional de la Provincia Norte del Departamento del Tolima.

- Municipio de San Sebastián de Mariquita

El Municipio de San Sebastián de Mariquita se encuentra en la región Andina, sobre las estribaciones finales de la Cordillera de los Andes (flanco oriental de la Cordillera central).

El área total del Municipio es de 29.092,33 Ha, de las cuales 532,51 ha corresponden a la zona urbana y 28.559,82 Ha al sector rural, y el 9.58% del Municipio está dentro de la cuenca del río Guarinó, es decir 2.789,83 Ha.

De acuerdo a la división política administrativa del Municipio, este se agrupa en nueve (9) zonas funcionales rurales que comprende 40 veredas y siete centros poblados, integrados por las veredas del mismo nombre: Albania, El Hatillo, la Cabaña, Las Camelias, Las Marías, Parroquia y Pitalito<sup>7</sup>.



**Fotografía 7.** Parque Principal del Municipio de San Sebastián de Mariquita  
**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

De acuerdo al análisis espacial de la Cuenca, el municipio de San Sebastián de Mariquita participa con el 3,32% del total del área de estudio (83.830 Ha), teniendo presencia en las 8 veredas que se mencionan a continuación, y en el centro poblado de Albania:

**Tabla 8.** Veredas del municipio de San Sebastián de Mariquita dentro de la Cuenca

Zona Funcional	Vereda	Área
V	El Rano	151,9
VI	Carrizales	252,47
VI	El Pomo	197,19
VI	Piedras Negras	353,86

<sup>7</sup> CORTOLIMA. Agenda ambiental del municipio de San Sebastián de Mariquita – 2011. Pág. 27

Zona Funcional	Vereda	Área
VII	Cerro Gordo	444,12
IX	Albania	190,85
IX	Malabar Alto	667,10
IX	Malabar Bajo	532,34

Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

- Municipio de Fresno

El municipio de Fresno se encuentra situado al norte del departamento del Tolima, tiene un área total de 20.800 Ha, de las cuales sólo el 2% pertenece al área urbana y el 98% al sector rural, el 36% (7.550,5 Ha) de su extensión total se encuentra dentro de la Cuenca.

El área rural del municipio de Fresno está conformada por 6 corregimientos, 83 veredas y 6 centros poblados: La Aguadita, Betania, Paramillo, El Tablazo, San Bernardo y Mireya<sup>8</sup>.



**Fotografía 8.** Parque Principal del Municipio de Fresno

Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

El 9% del área de la cuenca del río Guarinó pertenece al Municipio de Fresno, es decir que 7.550,54 Ha de la Cuenca están sobre las 40 veredas que se encuentran dentro del área de estudio, las cuales se agrupan en 4 corregimientos, tal como se muestra en la siguiente tabla:

<sup>8</sup> Universidad del Tolima. Proyecto de investigación Aproximación a la Configuración Regional de la Provincia Norte del Departamento del Tolima. 2010

**Tabla 9.** Veredas del municipio de Fresno que hacen parte de la Cuenca

Corregimiento	Vereda	Área (Ha)
Betania	Betania	138,23
	Caja Rica	1,04
	California	196,33
	El Guayabo	460,62
	El Placer	111,76
	La Floresta	299,64
	Mira Flores	138,11
	Paramillo	323,23
	Pena Liza	348,28
Campeón	Alegrías	6,19
El Tablazo	Barretico	149,74
	Barreto	135,09
	Brisas del Guarinó	154,00
	Cachipay	177,55
	Cascabel	130,32
	El Tablazo	176,23
	España	229,60
	Fátima	441,12
	Jiménez	68,85
	La Colonia	88,96
	La Cristalina	279,41
	La Linda	215,77
	Pavas	297,55
	Portugal	178,15
	Puente Tierra	278,29
	San Bernardo	335,12
	San Isidro	89,33
	Santa Clara	148,97
	Travesías	115,99
Trincheras	222,10	
Ucrania	225,29	
La Aguadita	La Caucasia	2,31
	Guayacanal	114,48
	La Divisa	317,87
	La Hondura	241,66
	Partidas	18,17
	Petaqueros	306,34
	Providencia	235,06
	Raizal I	153,74
San Antonio	2,37	

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

- Municipio de Herveo

El municipio de Herveo cuenta con un área total de 32.199 Ha, de los cuales el 0,10% pertenece al área urbana, el 99,9% al área rural y el 26,5% (8.533,53 ha) de su extensión total se encuentra dentro de la Cuenca.

El área rural del municipio de Herveo está conformada 32 veredas y 3 centros poblados: Letras, Padua y Brasil<sup>9</sup>.



**Fotografía 9.** Parque Principal del Municipio de Herveo

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

El 10,1% del área de la cuenca del río Guarinó pertenece al Municipio de Herveo, es decir que 8.533,53 Ha están sobre las 13 veredas y los tres centros poblados que hacen parte del área de estudio, las cuales se presentan en la **Tabla 10**:

**Tabla 10.** Veredas del municipio de Herveo que hacen parte de la Cuenca

Vereda	Área (ha)
Brasil	1963,21
Delgaditas	599,20
El Arenillo Dos	522,85
El Topacio	62,30
Filo Bonito	268,09
Inspección Policía Padua	179,66
La Estrella	374,12
La Granja	498,95
La Leonera	19,04
Letras	2787,61

<sup>9</sup> Gobernación del Tolima. Estadísticas 2011 – 2014. Herveo. 2015. Pág. 20.

Vereda	Área (ha)
Mesones	1039,75
Monte Redondo	211,90
Torre Veinte	6,84

Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

### 8.3.2. Territorios colectivos y resguardos indígenas

El 17 de junio de 2015, se elevó consulta ante el Ministerio del Interior y de Justicia sobre la presencia o no de comunidades étnicas para los municipios que hacen parte de la cuenca del río Guarinó, el 25 de junio del 2015 se dio respuesta a la comunicación por parte del Ministerio, en la cual se informaba:

*“Sobre el particular esta dirección se permite que la solicitud por Usted presentada, para efectos la certificación del proyecto “PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ” fue atendida previamente mediante Certificación No. 1675 del 20 de octubre de 2014, acto administrativo que se encuentra vigente y gozan de presunción de legalidad, de conformidad a lo previsto en el Artículo 91 de la ley 1437 de 2011, y que citamos a continuación: “los actos administrativos en firme serán obligatorios mientras no hayan sido anulados por la jurisdicción de lo contencioso administrativo”.*

La Certificación No. 1675/2014, no registra la presencia de Comunidades Indígenas, Rom y Minorías, en el área del proyecto: "PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ", localizado en jurisdicción de los municipios de Marulanda, Manzanares, Marquetalia, Victoria y La Dorada, departamento de Caldas.

Esta certificación solamente fue expedida para la jurisdicción de Corpocaldas, y no es posible expedir otra certificación de un área ya certificada, por tal razón y como está fue solicitada por Corpocaldas, es la única Entidad que puede volver a solicitar el trámite. (Anexo 1. Certificación No. 1675 del 2014)

### 8.3.3. Cartografía Oficial

La cartografía base del área de estudio a escala 1:100.000 y 1.25.000, fue suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el marco de convenio para el ajuste y/o elaboración de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en el mes de diciembre de 2015. Tal como se muestra en la **Figura 2 y Tabla 11**:

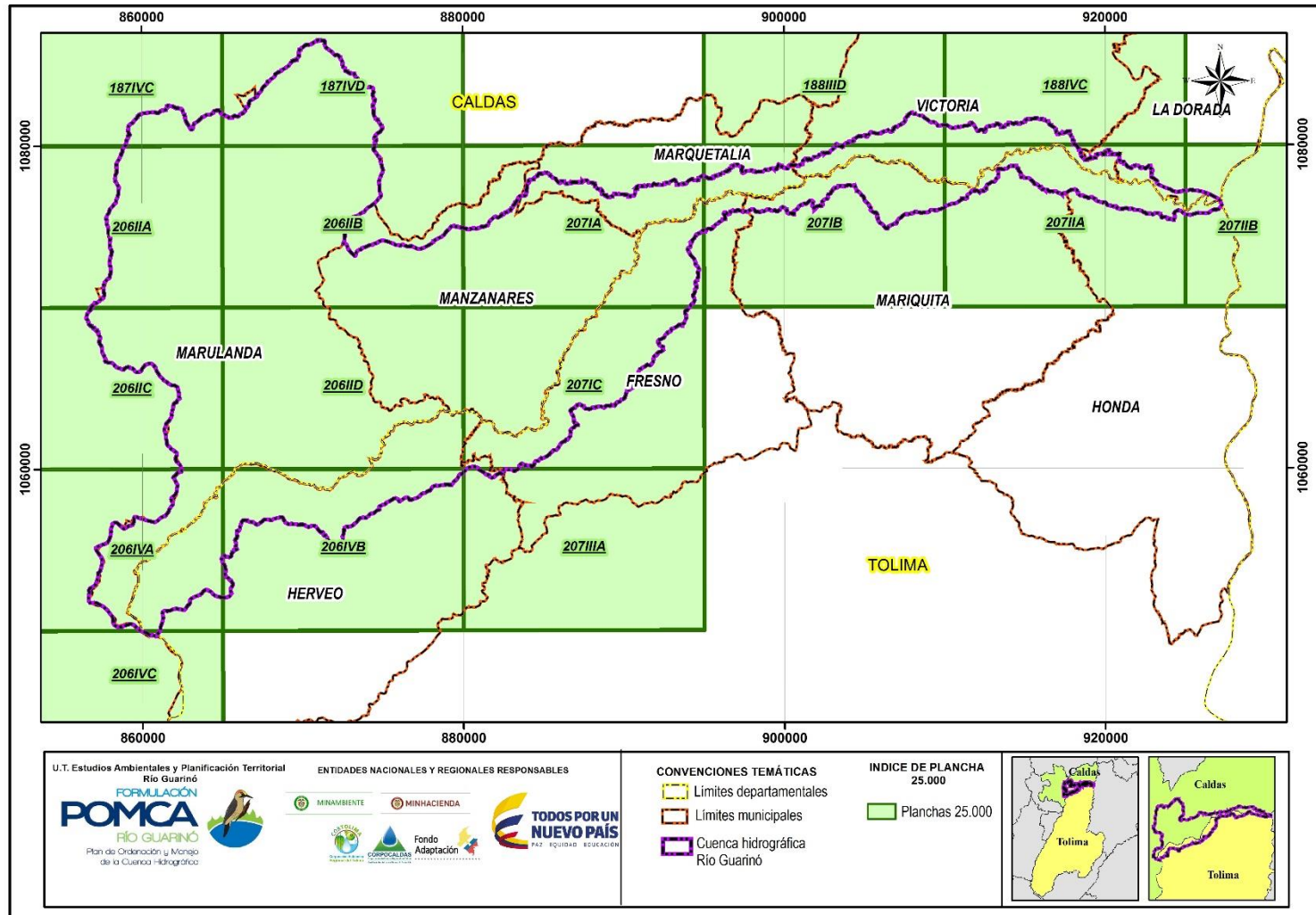
**Tabla 11.** Planchas topográficas del área de estudio.

Planchas 1:100.000	187	188	206	207
Planchas 1:25.000	187-IV-C	206-II-A	206-IV-A	207-I-B
	187-IV-D	206-II-B	206-IV-B	207-I-C
	188-III-D	206-II-C	206-IV-C	207-II-A
	188-IV-C	206-II-D	207-I-A	207-II-B
			207-III-A	

Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016



Estas planchas conforman el mapa cartográfico base de toda el área de estudio entregado por la Entidad oficial, el cuál fue evaluado en cuanto a la calidad de datos geográficos con los elementos para totalidad, consistencia lógica, coherencia temática, consistencia temática de atributos, exactitud temporal y exactitud posicional.



**Figura 2.** Índice de hojas cartográficas escala 1:25.000

Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

En la **Tabla 12** se presenta la descripción de los valores permisibles de acuerdo a la Resolución 64 del 1994 del IGAC para evaluar un producto, dentro de estos valores se toman los errores cuadráticos y los grados de exactitud requerida las cuales hacen parte de las medidas de calidad de los datos.

Se deben evaluar los elementos de calidad de datos geográficos establecidos y contenidos en la NTC 5043 de calidad de datos geográficos.

**Tabla 12.** Valores permisibles para evaluar un producto cartográfico

Elemento	Subelemento/Error cuadrático - Exactitud
1. Grado de totalidad	1.1 Omisión: mayor al 98%
	1.2 Comisión: mayor al 98%
2. Consistencia lógica	2.1 Consistencia de dominio: mayor al 98%
	2.2 Consistencia topológica: mayor al 98%
	2.3 Consistencia de formato: Igual al 100%
3. Exactitud de posición	3.1 Exactitud absoluta o externa: Menor a 0.3mm X EM.
	3.2 Exactitud relativa o interna: Menor a 0.3mm X EM
4. Exactitud temporal	4.1 Exactitud en la medición del tiempo: mayor al 98%
	4.2 Consistencia temporal: mayor al 98%.
5. Exactitud temática	5.1 Exactitud de clasificación: mayor al 98%
	5.2 Exactitud de un atributo cualitativo: mayor al 98%
	5.3 Exactitud del valor dado a un atributo cuantitativo: mayor al 98%.

Fuente: IGAC. 1994

Se realizó la evaluación a cada plancha cartográfica y a la base de datos geográfica consolidada con las 17 planchas, en los aspectos anteriormente mencionados. Los resultados se encuentran en el Anexo 2 "Diagnóstico Evaluación de Calidad de datos geográficos a entrega IGAC Diciembre 2015".

En el consolidado del diagnóstico de evaluación, se encontrará la información en la primera columna, la plancha a la que pertenece el elemento geográfico, la segunda columna indica el grupo temático (Feature datasets) en la tercera el elemento geográfico al que se le realizó la evaluación. De la columna cuatro en adelante, se encontrará el diagnóstico de calidad realizado para cada elemento geográfico.

Una vez terminada la evaluación, se concluyó que los productos cumplen con los estándares para ser usados en la elaboración de los productos en el marco de la formulación del Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Guarinó.

#### 8.3.4. Plantilla para la presentación de mapas

La plantilla para la presentación de los mapas, tiene como objetivo facilitar la reutilización y normalización del diseño de los mapas temáticos del proyecto.

Esta plantilla fue concertada en el mes de septiembre del 2015 con la Corporación Autónoma Regional de Caldas – Corpocaldas-, que ejerce la Supervisión del contrato.

La plantilla de mapas se encuentra a una escala de presentación o salida 1:50.000, no obstante es necesario aclarar que la escala de producción cartográfica temática es de 1:25.000. El mapa tiene un tamaño de 1,7 \* 0.9 m, con el fin que el área total de la Cuenca se visualice en un solo plano y se tenga el contexto general para el análisis regional de la temática en que se utilice. La plantilla de los mapas se presenta en la Figura 3. Plantilla general para la presentación de mapas.

#### 8.3.5. Modelo digital de terreno

Los modelos digitales del terreno contienen información de dos tipos diferentes:

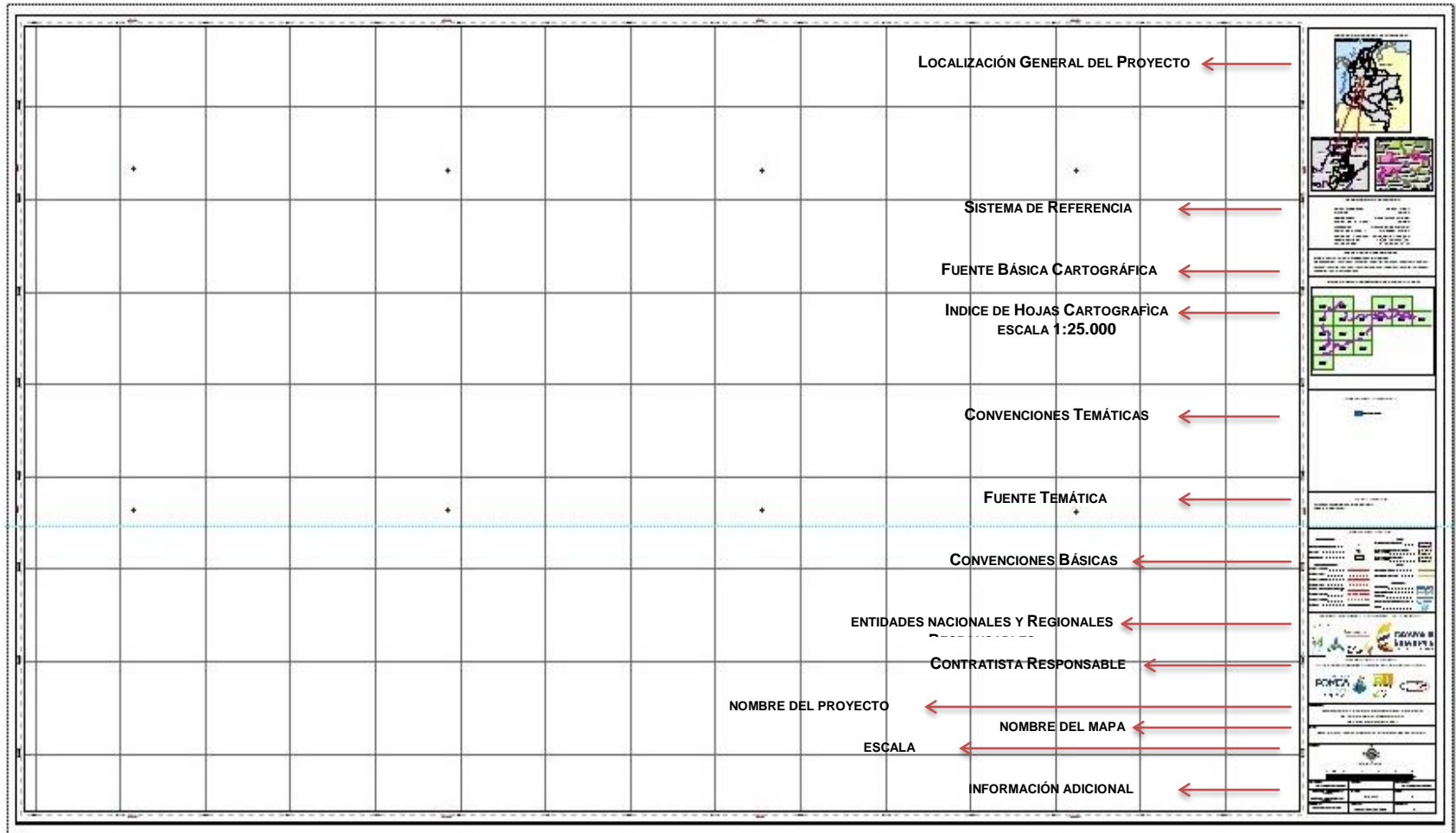
- **Información explícita**, recogida en los datos concretos del atributo del modelo, como la altitud en el caso del MDE.
- **Información implícita**, relativa a las relaciones espaciales entre los datos, como la distancia o la vecindad.

Ambos tipos de información son complementarios y permiten obtener información sobre la morfología del relieve de forma objetiva y exhaustiva. La objetividad se deriva del carácter digital de los datos y de los procesos de análisis, configurados por algoritmos. La exhaustividad se refiere a que estos procesos son aplicables a la totalidad del área analizada y no sólo a una muestra de la misma.

La medida y caracterización de las formas de terreno ha merecido atención desde hace más de 100 años (Cayley, 1859). Como podía esperarse, el desarrollo de las técnicas de medida se ha beneficiado de las técnicas de almacenamiento y representación de la información. La referencia a esta disciplina fue acuñada por Chorley et al. (1957) bajo el término geomorfometría. Posteriormente, Evans (1972) introdujo la distinción entre la geomorfometría específica — specific geomorphometry— de la geomorfometría general —general geomorphometry—. La primera trata de la distinción entre elementos geomorfológicos específicos y la segunda a la medida y análisis de las características morfológicas aplicables a cualquier superficie.

Bajo esta concepción la caracterización de las formas del relieve puede realizarse de dos formas:

- Mediante **descriptores globales**, que generan información estadística sintética no representable espacialmente como, por ejemplo, medidas de dispersión, histogramas, correlogramas, etc. lo que correspondería con la geomorfometría general..



**Figura 3.** Plantilla de mapas para la cuenca del río Guarinó  
Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

- Mediante **descriptores locales**, que generan información de naturaleza espacial y son representables, a su vez, como modelos digitales del terreno, lo que correspondería con la geomorfometría específica

Ambos tipos de descriptores pueden utilizarse conjuntamente para analizar y caracterizar el relieve y sus componentes. Dado que los procesos geológicos externos dejan una huella morfológica sobre las áreas afectadas, el MDE y sus modelos derivados pueden ser un instrumento de análisis objetivo de potencial utilidad.

#### 8.3.5.1. *Las variables topográficas*

La descripción del relieve a partir del MDE se realiza mediante un conjunto de medidas que definen características geométricas del terreno a diferentes escalas. Este proceso se conoce como parametrización del relieve: generación un conjunto de medidas que describen las formas topográficas permitiendo distinguir diferentes tipos de relieve o, en resumen, la descripción numérica de formas topográficas. Los parámetros pueden ser descriptores globales o locales pero los primeros informan únicamente sobre el conjunto del MDE por lo que son más útiles para la comparación de modelos de diferentes zonas. Los descriptores locales aportan un conjunto de datos que puede ser analizado con el mismo nivel de resolución que el MDE original.

La parametrización del relieve debe cumplir algunas condiciones para ser útil:

- Los parámetros deben tener relación con los procesos geomorfológicos que modelan el relieve.
- El conjunto de parámetros no debe proporcionar información redundante, es decir, deben medir características distintas
- La parametrización debe incluir información sobre la influencia de la escala ya que existen parámetros cuya magnitud depende de la resolución del muestreo y, por tanto, de la escala de trabajo.

Existen varias propuestas sobre las variables que deben incluirse en la parametrización del relieve. Entre ellas, la menos discutida es la pendiente, aunque también son usadas con frecuencia en geomorfología, la orientación y la curvatura (Weibel y Heller, 1991:283). Franklin y Peddle (1987:294) mencionan cinco parámetros básicos en este contexto: elevación, pendiente, orientación, convexidad y relieve. El relieve, definido en este caso como la variabilidad de la superficie, es lo que otros autores denominan rugosidad. En Mark (1975) puede encontrarse una revisión del estado del tema en los momentos previos al tratamiento informático, donde se analizan las relaciones entre diversos parámetros mediante análisis de correlación.

Todas estas variables pueden ser representadas como modelos digitales derivados con la misma resolución que el MDE original. Tal como se puede observar, esta circunstancia permitirá posteriormente el análisis multivariable del relieve, teniendo en cuenta simultáneamente la totalidad de los descriptores topográficos.

- El gradiente topográfico

En un modelo digital de elevaciones, la altitud en el entorno inmediato de un punto puede describirse de forma aproximada mediante un plano de ajuste, cuya expresión es:

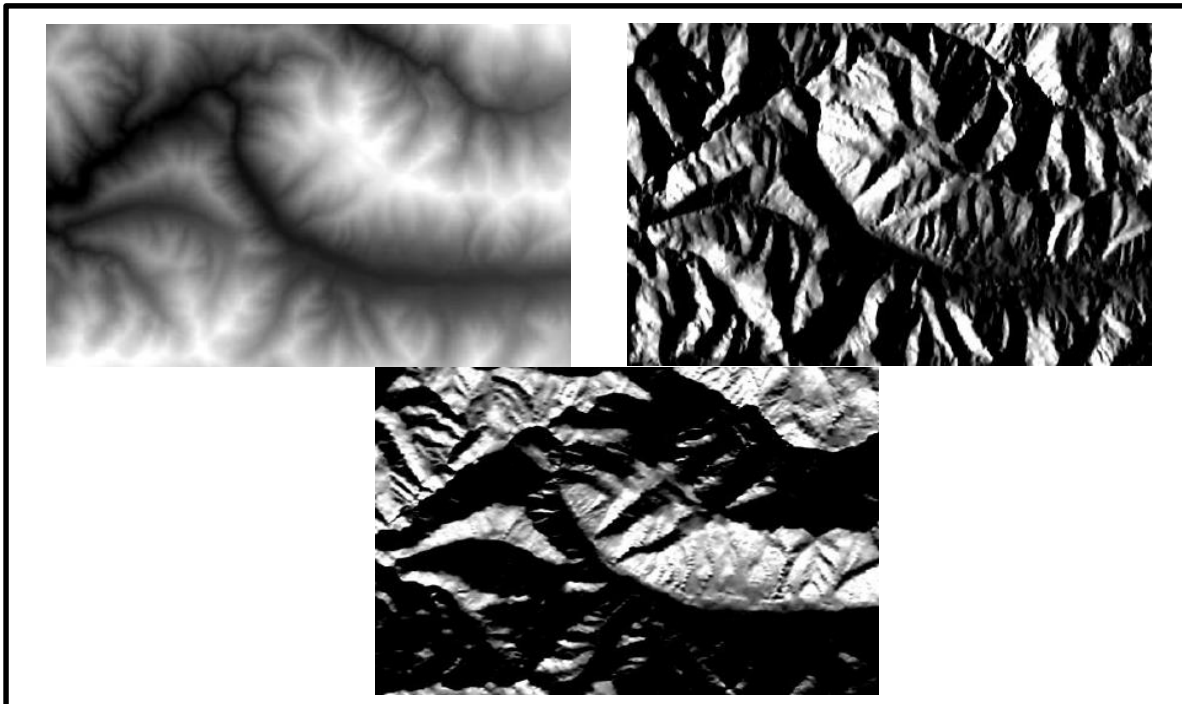
$$z = a_{00} + a_{10} \cdot x + a_{01} \cdot y$$

Se deduce directamente que los coeficientes  $a_{10}$  y  $a_{01}$  representan las derivadas primeras de la altitud con respecto a los ejes X e Y:

$$a_{10} = \frac{\partial z}{\partial x}; \quad a_{01} = \frac{\partial z}{\partial y}$$

Los coeficientes  $a_{10}$  y  $a_{01}$  representan la tasa de cambio de la altitud respecto a los ejes X —filas— e Y —columnas— respectivamente, es decir, los componentes de la pendiente sobre los ejes X, Y.

El par de valores  $(a_{10}, a_{01})$  se denomina gradiente de z en el punto (x, y) y ha sido mencionado porque va a mostrarse útil en el cálculo de los modelos digitales derivados. (ver **Figura 4**).



**Figura 4.** Modelo digital de elevaciones y los componentes del gradiente. La figura superior derecha muestra la componente direccional en el sentido E-O y la inferior la correspondiente al sentido S-N. La zona es la cuenca del río Guarinó.

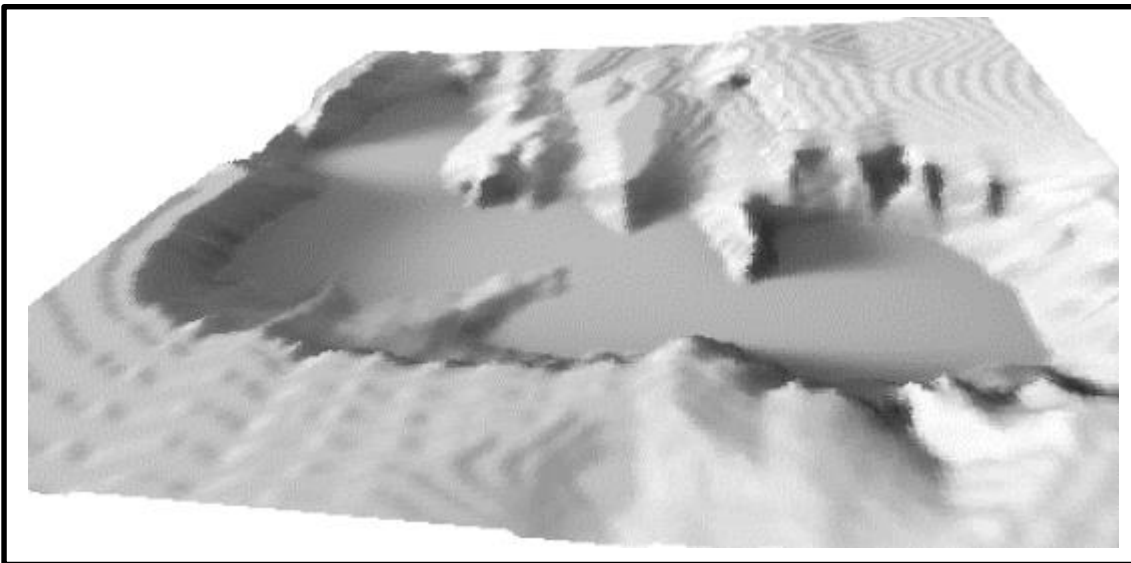
**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

En las aplicaciones sobre MDE matriciales, las estimaciones de los coeficientes del gradiente se realizan mediante operadores que se aplican sobre un entorno definido del punto problema. Para un punto situado en la fila  $i$ , columna  $j$ , donde  $d$  es la distancia entre filas y columnas, los valores del gradiente se calculan a partir de los cambios de altitud entre puntos vecinos. La opción más simple utiliza los 4 vecinos más próximos:

$$a_{10} = \frac{z_{i,j+1} - z_{i,j-1}}{2 \cdot d}; a_{01} = \frac{z_{i-1,j} - z_{i+1,j}}{2 \cdot d}$$

Sobre el cálculo empírico del gradiente en los MDE, Jones et al. (1988:674) destacan la relación existente entre los valores del gradiente y la precisión de los datos de altitud. El análisis de los componentes del gradiente revela frecuentemente la discontinuidad de sus distribuciones. Este error se manifiesta posteriormente en el "aterrazamiento" de algunos modelos derivados: las pendientes en las laderas se muestran en escalones, con cinturones planos separados por otros de pendiente más elevada (Ver Figura 5). Esta circunstancia puede deberse a dos causas:

- Si el aterrazamiento se muestra solamente en las zonas de baja pendiente, puede deberse a un agrupamiento en clases de los valores del MDE—por ejemplo, de 10 m—, con lo que se pierde el carácter continuo de la variable. En zonas críticas debe cuidarse incluso el truncamiento de las altitudes a números enteros.
- Si el aterrazamiento en un fenómeno global, se ha construido el MDE a partir de contornos sin generalizar y el método de interpolación ha tratado como datos independientes los puntos de los contornos



**Figura 5:** Simulación donde se aprecia el peso excesivo de las curvas de nivel en los métodos de construcción del MDE y que se refleja en la aparición de "terrazas" claramente visibles en las zonas de menor pendiente.

**Fuente:** International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Cap. 4, pag 237 Imstambul 2004 traducido por Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

Para reducir el error derivado de la posible discretización de las distribuciones del gradiente, Jones et al. (1988:674) recomiendan el uso de los 8 datos más próximos al punto problema. El cálculo se realiza en este caso mediante operadores de dimensión [3x3], denominados operadores de Prewit y de Sobel (James, 1988:45). El operador de Prewit coincide con el método propuesto por Sharpnack y Akin (1988:248) y utilizado en el sistema de información geográfica Erdas™ (Erdas, 1991:15) y responde a las expresiones siguientes:

$$a_{10} = \frac{(z_{i-1,j+1} + z_{i,j+1} + z_{i+1,j+1}) - (z_{i-1,j-1} + z_{i,j-1} + z_{i+1,j-1})}{6 \cdot d}$$

$$a_{01} = \frac{(z_{i-1,j-1} + z_{i-1,j} + z_{i-1,j+1}) - (z_{i+1,j-1} + z_{i+1,j} + z_{i+1,j+1})}{6 \cdot d}$$

El operador de Sobel es el utilizado en ArcGIS ArcMap™ y refuerza el peso de los datos más próximos al punto problema:

$$a_{10} = \frac{(z_{i-1,j+1} + z_{i,j+1} + z_{i+1,j+1}) - (z_{i-1,j-1} + z_{i,j-1} + z_{i+1,j-1})}{6 \cdot d}$$

$$a_{01} = \frac{(z_{i-1,j-1} + 2 \cdot z_{i-1,j} + z_{i-1,j+1}) - (z_{i+1,j-1} + 2 \cdot z_{i+1,j} + z_{i+1,j+1})}{8 \cdot d}$$

Lógicamente, en los bordes del modelo se necesitan tratamientos especiales. Si se trata de la primera fila o columna de un MDE se utilizan las siguientes expresiones (Dozier y Strahler, 1983:963):

$$a_{10|j-1} = \frac{-3 \cdot z_{i1} + 4 \cdot z_{i2} - z_{i3}}{2 \cdot d}$$

$$a_{01|i-1} = \frac{-3 \cdot z_{1j} + 4 \cdot z_{2j} - z_{3j}}{2 \cdot d}$$

Si se trata de la última fila o columna de un total de  $n$ :

$$a_{10|j-n} = \frac{z_{i,n-2} - 4 \cdot z_{i,n-1} + 3 \cdot z_{i,n}}{2 \cdot d}$$

$$a_{01|i-n} = \frac{z_{n-2,j} - 4 \cdot z_{n-1,j} + 3 \cdot z_{n,j}}{2 \cdot d}$$

Algunos programas no usan estos algoritmos para los valores extremos sino que optan por unas vías más simples. Una de ellas es copiar el resultado del gradiente de la fila o columna vecina; la segunda es añadir una fila o columna temporales y duplicar los valores de altitud de las vecinas para calcular posteriormente el gradiente.

- La pendiente

La definición de la pendiente y la estimación de sus valores se explican en el capítulo 8.4.6.

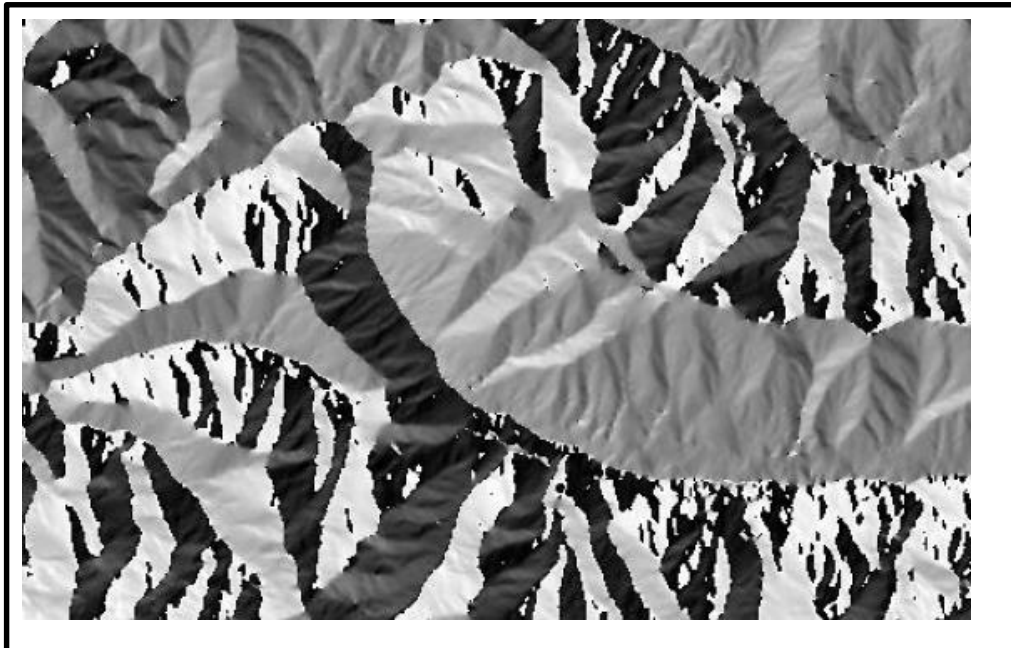
- La orientación

La orientación en un punto puede definirse como el ángulo existente entre el vector que señala el Norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto.

Como en el caso de la pendiente, el valor de orientación se estima directamente a partir de los valores del gradiente:

$$\phi = \tan^{-1}(a_{10} / a_{01})$$

Las discusiones sobre las formas de valorar la orientación son similares a las planteadas con la pendiente.



**Figura 6.** Modelo digital de orientaciones de un sector de la Cuenca del río Guarinó. La orientación es una variable de distribución circular que se ha codificado en tonos de gris desde el Norte (negro), aclarándose progresivamente en sentido horario. Las orientaciones al Sur están representadas en tonos gris-medio.

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales Y Planificación Territorial Río Guarinó, 2016.

- La curvatura

La curvatura en un punto,  $\eta$ , puede definirse como la tasa de cambio en la pendiente y depende, por tanto, de las derivadas de segundo grado de la altitud —es decir, de los cambios de pendiente en el entorno del punto—.

Para el cálculo de las derivadas de segundo grado no es posible utilizar la aproximación simple empleada en la estimación de la pendiente y orientación, basada en un plano de ajuste. En este caso se utiliza una superficie de ajuste de segundo grado de acuerdo con la expresión general:

$$z = a_{00} + a_{10} \cdot x + a_{01} \cdot y + a_{11} \cdot x \cdot y + a_{20} \cdot x^2 + a_{02} \cdot y^2$$

Para simplificar, representaremos el punto problema y sus vecinos con la notación siguiente:

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

En el caso concreto de la ventana de 3% 3 centrada en el punto problema, los coeficientes de la ecuación cuadrática se calculan mediante las expresiones siguientes (Evans, 1979:29):

$$a_{00} = (2(z_2 + z_4 + z_6 + z_8) - (z_1 + z_3 + z_7 + z_9) + 5z_5) / 9$$

$$a_{10} = (z_3 + z_6 + z_9 - z_1 - z_4 - z_7) / 6d$$

$$a_{01} = (z_1 + z_2 + z_3 - z_7 - z_8 - z_9) / 6d$$

$$a_{11} = (z_3 + z_7 - z_1 - z_9) / 4d^2$$

$$a_{20} = ((z_1 + z_3 + z_4 + z_6 + z_7 + z_9) / 6d^2) - ((z_2 + z_5 + z_8) / 3d^2)$$

$$a_{02} = ((z_1 + z_2 + z_3 + z_7 + z_8 + z_9) / 6d^2) - ((z_4 + z_5 + z_6) / 3d^2)$$

Se ha planteado la medida de la curvatura de tres formas distintas. La primera es la curvatura media,  $\eta$ , donde se mide la concavidad/convexidad general de la forma definida por el punto problema y sus 8 vecinos. Una expresión simple para el cálculo ha sido propuesta por Papo (1984:697), mediante la suma de las derivadas parciales de segundo orden con respecto a los ejes X e Y, de la forma siguiente:

$$\eta = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$$

Según el mismo autor, este método de estimación no es completamente exacto, ya que la curvatura depende de expresiones más complejas, pero presenta errores de pequeña magnitud para pendientes bajas y medias.

Las derivadas primeras de la expresión general son,

$$\frac{\partial z}{\partial x} = a_{10} + 2 \cdot a_{20} \cdot x + a_{11} \cdot y; \quad \frac{\partial z}{\partial y} = a_{01} + 2 \cdot a_{02} \cdot y + a_{11} \cdot x$$

por tanto, las segundas:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 2 \cdot a_{20}; \quad \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 2 \cdot a_{02}$$

y, sustituyendo obtenemos que

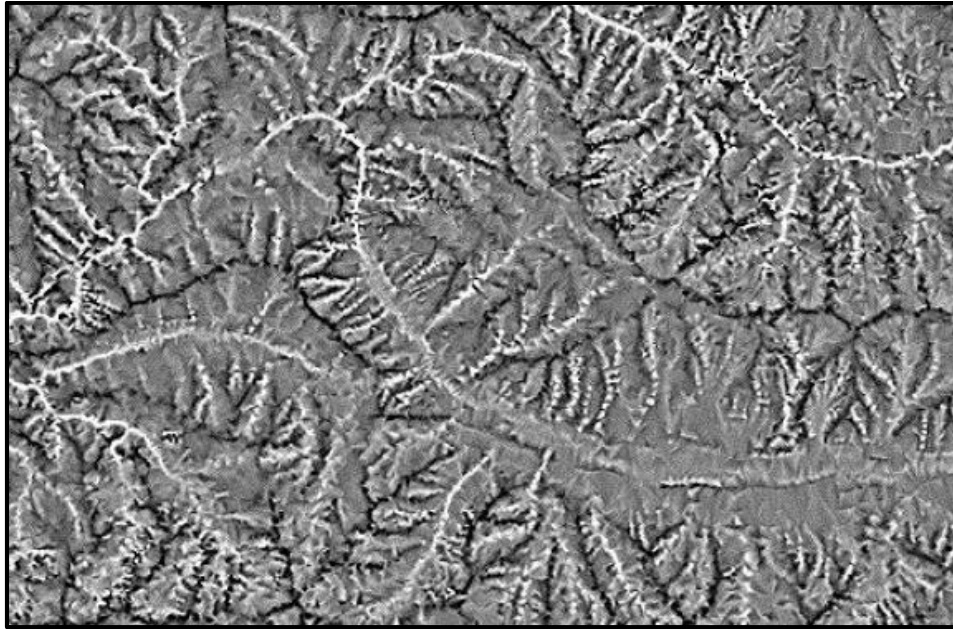
$$\eta = 2 \cdot (a_{20} + a_{02})$$

La curvatura media puede ser descompuesta en dos componentes ortogonales: la curvatura longitudinal  $\eta_L$  —*longitudinal convexity*— que mide la concavidad/convexidad en el sentido de la máxima pendiente, y la curvatura transversal  $\eta_T$  —*cross-sectional convexity*—, normal a la anterior. Wood (1996, Ap. 4.2.2) plantea las siguientes expresiones para su cálculo:

$$\eta_L = -2 \cdot \left( \frac{a_{20} \cdot a_{10}^2 + a_{02} \cdot a_{01}^2 + a_{11} \cdot a_{10} \cdot a_{01}}{a_{10}^2 + a_{01}^2} \right)$$

$$\eta_T = -2 \cdot \left( \frac{a_{02} \cdot a_{10}^2 + a_{20} \cdot a_{01}^2 - a_{11} \cdot a_{10} \cdot a_{01}}{a_{10}^2 + a_{01}^2} \right)$$

Puede observarse que sumando  $\eta_L$  y  $\eta_T$  se obtiene la misma expresión que para la curvatura general,  $\eta = -2 \cdot (a_{20} + a_{02})$ . El signo negativo se debe a una convención que asume curvatura negativa cuando existe una concavidad y curvatura positiva en caso de formas convexas.



**Figura 7.** Modelo digital de curvatura de un sector de la Cuenca del río Guarínó. Las zonas cóncavas se representan en blanco y las convexas en tonos oscuros

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarínó, 2016.

El problema de las expresiones de curvatura basadas en las líneas de pendiente es que pueden aparecer casos donde los coeficientes  $a_{10}$  y  $a_{01}$  son nulos aunque los otros no lo sean. Para prevenir esta circunstancia, Young (1978) propuso unas expresiones basadas en los otros coeficientes y que permiten conocer los valores de curvatura máxima y mínima independientemente de su dirección:

$$\eta_{\max} = -a_{20} - a_{02} + \sqrt{(a_{20} - a_{02})^2 + a_{11}^2}$$

$$\eta_{\min} = -a_{20} - a_{02} - \sqrt{(a_{20} - a_{02})^2 + a_{11}^2}$$

Las expresiones anteriores serán las más utilizadas para el reconocimiento de elementos morfológicos.

- La rugosidad

Al contrario de lo que ocurre con la pendiente, la orientación y la curvatura, no existen criterios uniformes para llevar a cabo la medida de la rugosidad. Diversos autores han aplicado métodos significativamente distintos para su evaluación; por ejemplo, Balce (1987:324) utiliza la pendiente media como estimador de un factor de rugosidad. Evans (1972:27-33) realiza una revisión de métodos, entre los cuales menciona desde rangos de altitud hasta la desviación estándar de la elevación en entornos limitados. Hobson (1967, 1972) propone que, dado un punto del terreno, se calculen los vectores unitarios perpendiculares a la superficie en él y en los puntos de su entorno. Si el terreno es uniforme la suma vectorial será elevada y la dispersión baja; en el caso de terrenos

rugosos, con cambios en orientaciones y pendientes, la suma vectorial será pequeña y la dispersión elevada.

De acuerdo con Franklin (1987a:605), las estimaciones de la rugosidad deben ser independientes de otros parámetros del relieve para reducir la información redundante. Parece deseable, además, cierta independencia de la escala del análisis, lo cual elimina algunas aproximaciones excesivamente simples como las que usan el rango de altitud.

Una variante del método de Hobson es la siguiente:

- Se calculan los vectores normales a los segmentos que conectan al punto problema y sus vecinos más próximos. Para ello se calcula la pendiente local  $Y_i$  y se le asigna la orientación que le corresponda  $\phi_i$ , predeterminada por la posición del punto. De acuerdo con la notación utilizada anteriormente:

Para la pendiente:

$(z_1 - z_5)/1.414d$	$(z_2 - z_5)/d$	$(z_3 - z_5)/1.414d$
$(z_4 - z_5)/d$	...	$(z_6 - z_5)/d$
$(z_7 - z_5)/1.414d$	$(z_8 - z_5)/d$	$(z_9 - z_5)/1.414d$

Y para la orientación:

315°	0°	45°
270°	...	90°
225°	180°	135°

- A partir de los vectores resultantes, definidos por sus valores  $(\gamma, \phi)$ , se calculan las coordenadas rectangulares del vector unitario normal a cada uno de ellos. Las expresiones son (Upton y Fingleton, 1989:312):

$$x_i = \text{sen } \gamma_i \cdot \cos \phi_i \quad y_i = \text{sen } \gamma_i \cdot \text{sen } \phi_i \quad z_i = \cos \gamma_i$$

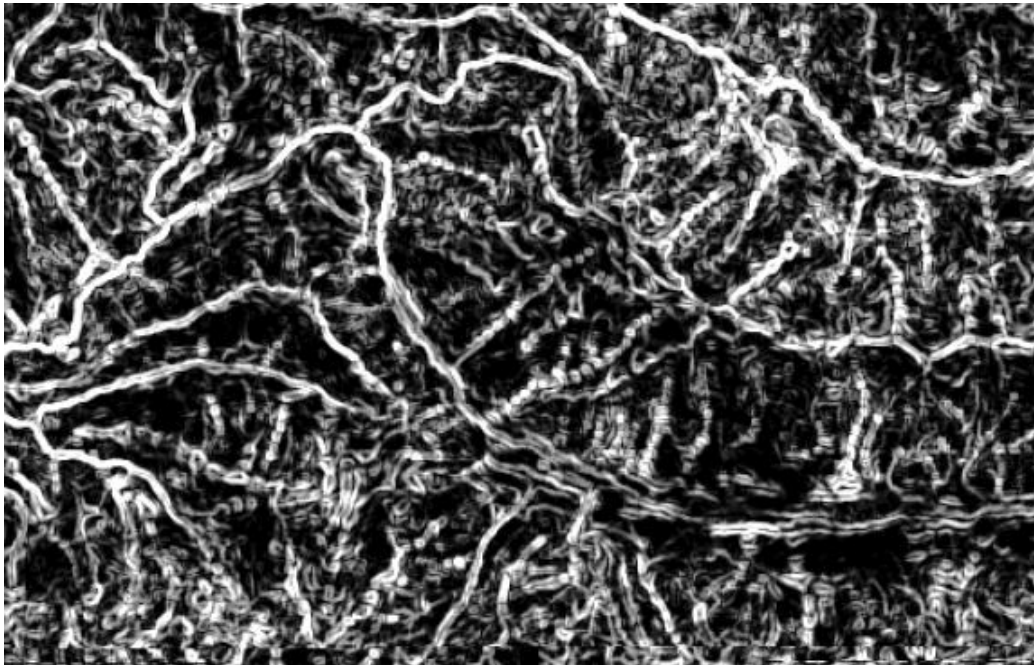
- Se calcula el módulo del vector suma de los vectores unitarios, R:

$$R = \sqrt{(\sum x_i)^2 + (\sum y_i)^2 + (\sum z_i)^2}$$

- Se calcula la varianza esférica,  $\vartheta$ , como el complementario del módulo medio  $\bar{R}$ , que es el módulo del vector suma normalizado al dividirlo por el número de vectores unitarios (Band, 1989:286):

$$\vartheta = 1 - \bar{R} = 1 - \frac{R}{n}$$

La varianza esférica tendrá el valor cero para una rugosidad nula —alineamiento completo de los vectores unitarios—y tenderá a la unidad según se incrementa la rugosidad y, consecuentemente, la dispersión de los vectores unitarios.



**Figura 8.** Modelo digital de rugosidad de un sector de la Cuenca del río Guarinó, construido a partir de la desviación estándar de la pendiente. Las zonas rugosas se representan en tonos claros y las lisas en tonos oscuros

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales Y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

Este método de cálculo sobre las pendientes locales basado en la varianza esférica de los vectores unitarios normales tiene la ventaja de ofrecer estimaciones de la rugosidad independientes de la escala. Al basarse en el módulo normalizado, los resultados son comparables para cualquier tamaño de ventana que se use: 8 vecinos en una de 3x3, 24 en una de 5x5, etc. Esta normalización de la escala de medida permite analizar adecuadamente las relaciones entre la rugosidad y la resolución del modelo.

#### 8.3.5.2. Procedimiento técnico

A continuación se ilustrará como se obtuvo el producto de MDT en el software ArcGIS:

Antes de nada conviene aclarar que es un **MDT**. Una buena definición la proporcionan **Miller y Laflamme en 1958**, que la definen como una "*representación estadística del terreno, en forma de números digitales, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas x,y,z respecto a un sistema de georreferenciación conocido*".

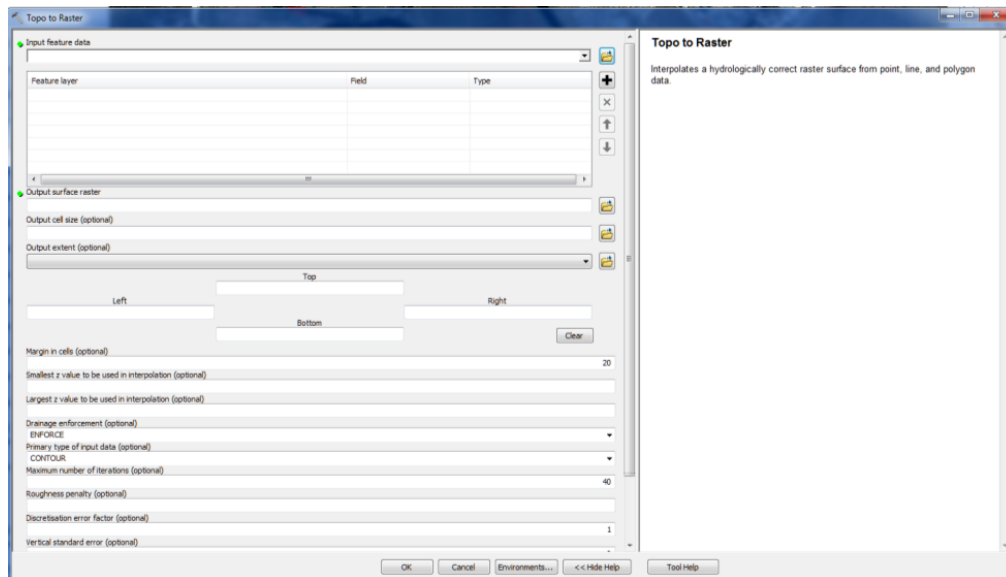
Se trabajó con producto MDT generado a partir de las curvas de nivel escala 1:25.000 de las hojas cartográficas oficiales IGAC 187-IV-C, 187-IV-D 188-III-D, 88-IV-C, 206-II-A, 206-II-B, 207-I-A, 207-I-B, 207-II-A, 207-II-B, 206-II-C, 206-II-D, 207-I-C, 206-IV-A, 206-IV-B, 207-III-A y 206-IV-C, que cubren toda la zona de la cuenca hidrográfica del río Guarinó.

Se realizó una evaluación y ajuste topológico de las curvas de nivel que no venían conectadas ni continuas, además que no cumplieron con los parámetros mínimos de consistencia lógica de acuerdo a los estándares de calidad de datos geográficos definidos para este nivel de información, curva de nivel.

Una vez la capa cumplió con estos parámetros de calidad se procedió a convertir el elemento geográfico de 3D Polyline a Polyline simple, esto con el fin de poder utilizar los algoritmos disponibles en el software ArcGIS ArcMap.

Cuando se tuvo el insumo listo se procedió a crear el DEM cumpliendo los parámetros de relieve, curvatura, pendiente, rugosidad y orientación estimados para este producto utilizando la herramienta **Raster Interpolation**.

Esta herramienta se encuentra en **ArcToolBox** en: (Ver **Figura 9**).



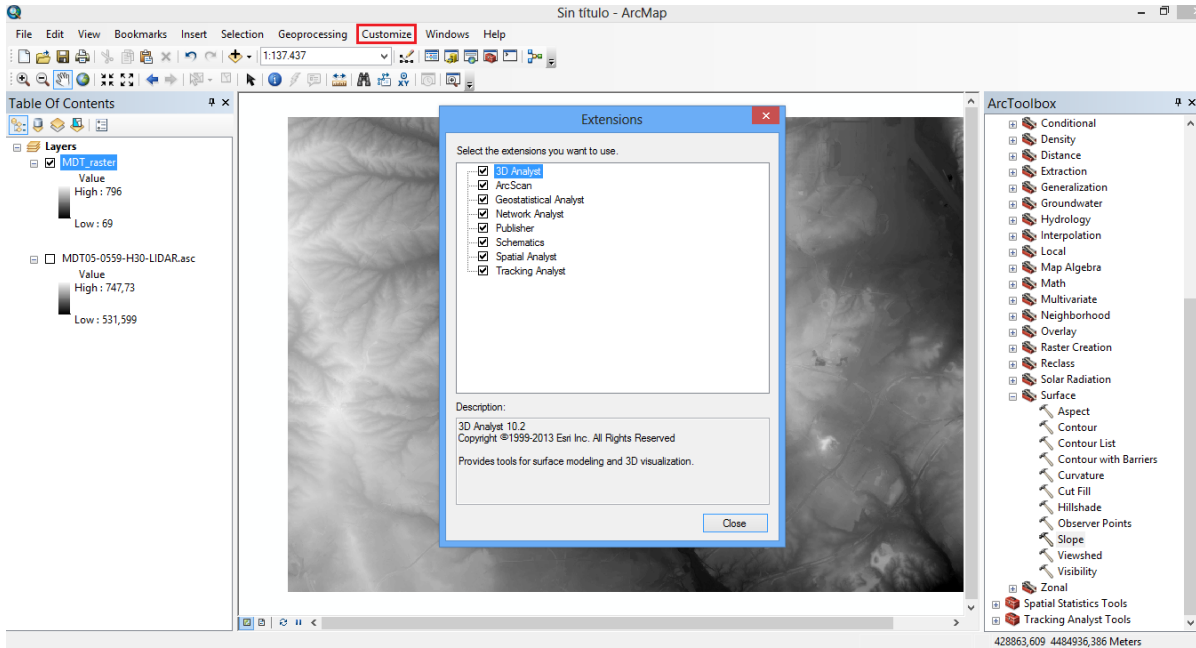
**Figura 9:** Arctoolbox > 3D Analyst tools > Raster Interpolation> Topo to Raster

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2015.

En **Input feature data** se introdujo el elemento geográfico de las curvas de nivel con su previo geoprocesamiento.

- En **Output Surface raster** la carpeta donde se almacenó temporalmente el nuevo archivo ráster DEM

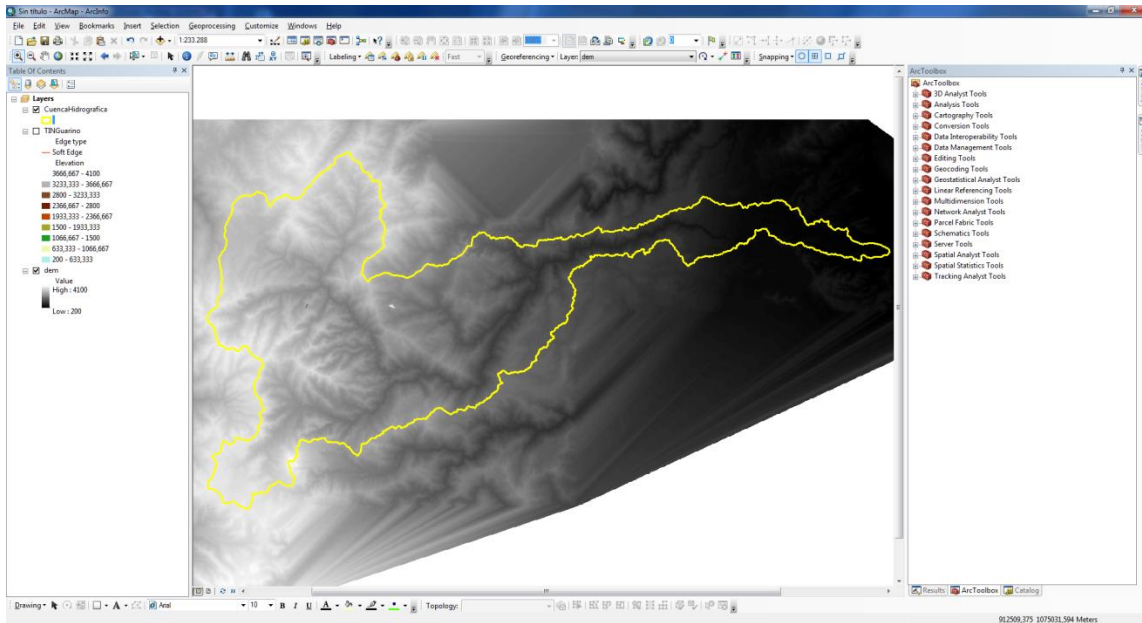
Es importante aclarar que es necesario activar las extensiones de arcmap para poder trabajar, esto se realiza del siguiente modo:



**Figura 10:** Customize > extensions

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.

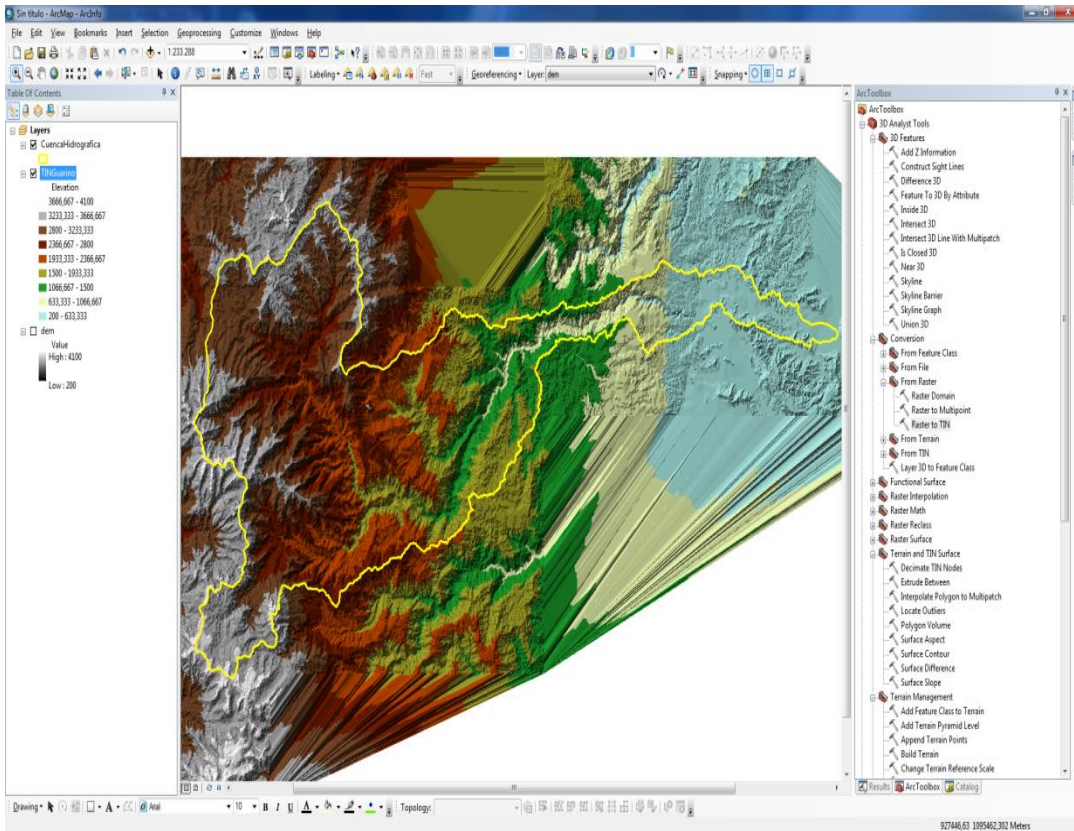
El resultado es una **capa raster DEM** que por defecto toma colores de tono grisáceo (gama adecuada para realizar la representación), donde verde son zonas muy planas a rojo que indica zonas muy escarpadas, donde cada celda del tamaño que se estimó (3.5 m X 3.5 m) tiene relacionado un dato de altura obtenido de la interpolación algorítmica que se desarrolló anteriormente con los parámetros estimados.



**Figura 11:** Capa raster modelo digital de elevación DEM

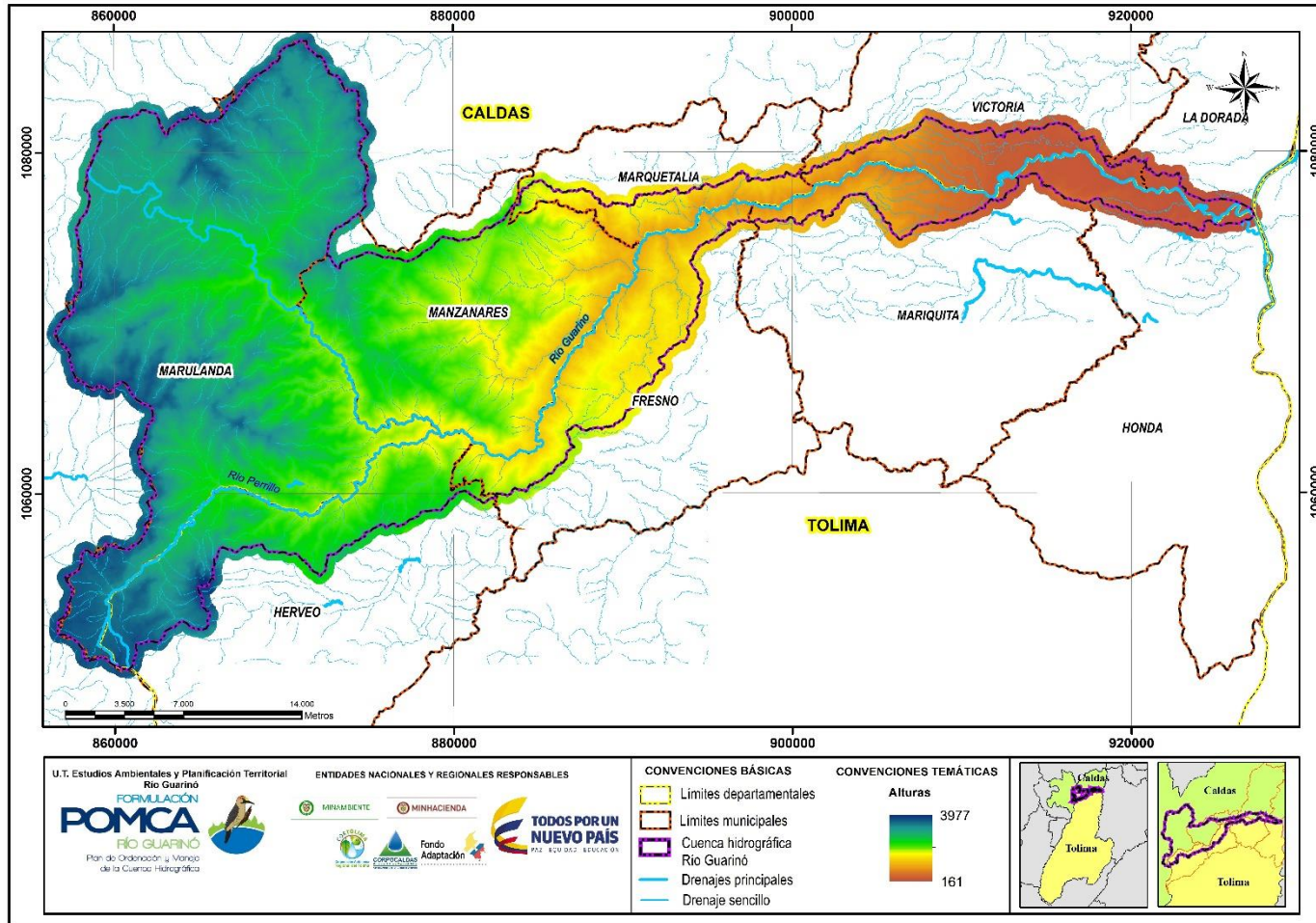
**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial Río Guarinó, 2016.

Una vez obtenido este resultado, procedemos generar el TIN o MDT utilizando el DEM ya parametrizado utilizamos la herramienta **ArcToolbox > 3D Analyst tools > Conversion > Raster to TIN**. (Ver Anexo 4. DEM de la Cuenca).



**Figura 12:** TIN o MDT generado

**Fuente:** Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016.



**Figura 12. Modelo Digital de Elevación de la cuenca del río Guarinó.2016**  
Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó, 2016

### 8.3.6. Bibliografía citada y consultada

**Alcaldía de la Dorada.** Plan de Desarrollo Municipio de la Dorada 2008 – 2011 “Construyendo en Paz La Dorada que todos queremos”. Pág. 7.

**Alcaldía de Manzanares.** Plan de Desarrollo 2012 -2015. “Innovación y Compromiso por Manzanares”.

**Alcaldía de Marulanda.** Plan de Desarrollo 2012 -2015. “Marulanda hacia la Unión y el Progreso”. Pág 20.

**Corporación Autónoma Regional Del Tolima.** Agenda Ambiental del Municipio de San Sebastián de Mariquita – 2011.. Pag 27

**Corporación Autónoma Regional de Caldas.** Agenda para la Gestión Ambiental. Pág 12.

**Gobernación del Tolima.** Estadísticas 2011 – 2014. Herveo. 2015. Pág 20.

**International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,** Cap. 4, pig 243 Imstambul 2004.

**Municipio de Victoria.** Plan de acción local para la atención integral de las víctimas del conflicto armado 2012-2015. Pág 5.

**Universidad del Tolima.** Proyecto de Investigación Aproximación a la Configuración Regional de la Provincia Norte del Departamento del Tolima. 2010. Pág 32.