



2. ASPECTOS BIOFISICOS

2.1 ESTUDIO MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA MAYOR DE RÍO PRADO

Los estudios morfométricos son de gran importancia en el estudio de cualquier cuenca, ya que ofrecen un parámetro de comparación y/o interpretación de los fenómenos que ocurren en esta. Un ejemplo claro de esto se encuentra en el área, ya que se constituye un criterio para establecer la magnitud del caudal. Pero cabe destacar que un factor aislado no define el comportamiento de la cuenca sino la interacción de varios parámetros, así dos cuencas con la misma área pero con formas diferentes van a tener comportamientos diversos ante un mismo fenómeno.

Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico; las características físicas o morfométricas calculadas para la Cuenca Mayor del Río Prado y las Cuencas de Yacupí, Negro, de Bajas y Cunday (Ver Mapa 2.4), se relacionan a continuación.

2.1.1 Área (A)

El área de la cuenca tiene gran importancia, por constituir el criterio de la magnitud del caudal, en condiciones normales, los caudales promedios, mínimos y máxima instantáneos crecen a medida que crece el área de la Cuenca.

En la Tabla 2.10 se encuentra la distribución del área entre cotas y el porcentaje que cada una representa en la cuenca, estos datos se aprecian en la figura 2.1, de donde se extrae, que la altura media para la cuenca se encuentra aproximadamente a los 912 m.s.n.m.

Tabla 2.10 Áreas por rangos de cotas en la Cuenca Mayor del Río Prado

Cota	Área (ha)	Área (%)	Área		Porcentaje	
			Creciente	Decreciente	Creciente	Decre ciente
0	13473,691	7,934	13.473,69	169.826,91	7,93	100,00
200	31230,793	18,390	44.704,48	156.353,22	26,32	92,07
400	21262,531	12,520	65.967,01	125.122,43	38,84	73,68
600	17020,117	10,022	82.987,13	103.859,90	48,87	61,16
800	18255,758	10,750	101.242,89	86.839,78	59,62	51,13



Cota	Área (ha)	Área (%)	Área		Porcentaje	
			Creciente	Decreciente	Creciente	Decre ciente
1000	16426,066	9,672	117.668,96	68.584,02	69,29	40,38
1200	15380,811	9,057	133.049,77	52.157,96	78,34	30,71
1400	12184,771	7,175	145.234,54	36.777,15	85,52	21,66
1600	8826,328	5,197	154.060,87	24.592,38	90,72	14,48
1800	5993,369	3,529	160.054,23	15.766,05	94,25	9,28
2000	4069,302	2,396	164.123,54	9.772,68	96,64	5,75
2200	3865,588	2,276	167.989,12	5.703,38	98,92	3,36
2400	1239,647	0,730	169.228,77	1.837,79	99,65	1,08
2600	568,193	0,335	169.796,96	598,14	99,98	0,35
2800	29,950	0,018	169.826,91	29,95	100,00	0,02

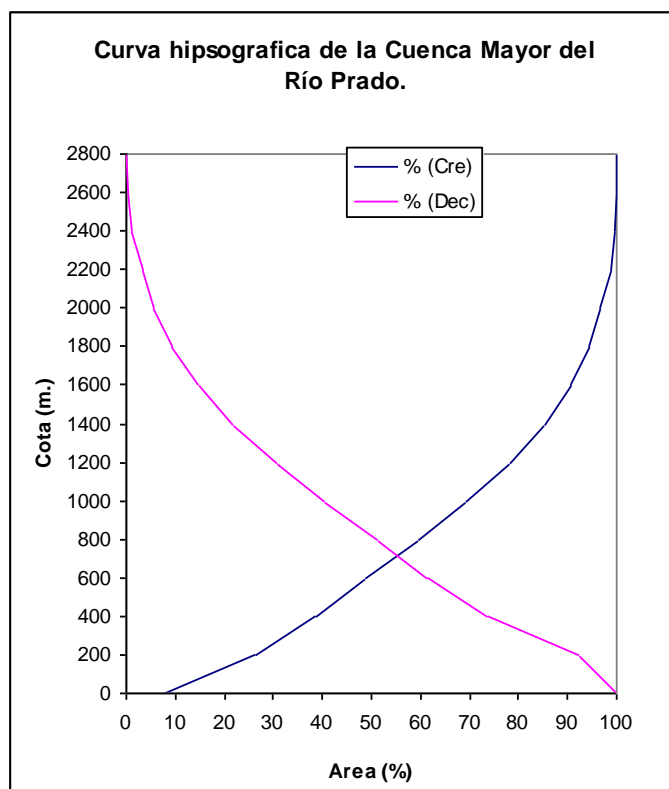


Figura 2.1 Curva Hipsográfica de la Cuenca Mayor del Río Prado.



Tabla 2.11. Área Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas.

DRENES	Área de la Cuenca (ha)
Yacupí	5,131.09
Negro	54,788.75
De Bajas	8,012.20
Cunday	76,488.08
C. Prado (Cuenca Total)	169,826.91

Según se observa en la Tabla anterior el área de la Cuenca Mayor del Río Prado es de 169.826,91 hectárea (ha) poseyendo una superficie suficiente para ser clasificada como la cuarta más grande del Departamento del Tolima, indicando su potencial en la producción de agua.

2.1.2 Perímetro

El perímetro es la longitud del límite de la cuenca o en otras palabras la distancia que habría que recorrer en línea recta si se transitara por todos los filos que en envuelve la cuenca.

Tabla 2.12 Perímetro de los cauces de la Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas.

DRENES	Perímetro Cuenca (Km)
Yacupí	43.19
Negro	127.29
De Bajas	45.60
Cunday	142.88
C. Prado (Cuenca Total)	210.28



Si bien el perímetro es una medida o parámetro que no indica nada por si solo se convierte en un insumo fundamental para el cálculo de los parámetros de forma de la cuenca. Partiendo del enunciado que dice: “De todas las figuras planas con igual perímetro, el círculo es la de mayor área.” Y conociendo que dicha forma de cuenca, tiende a ser la mas torrencial y por ende la menos convenientes.

2.1.3 Longitud de los Cauces

Generalmente, los caudales medios, máximos y mínimos, crecen con la longitud de los cauces. Según Londoño 2001, Esto se debe a la normal relación que existe entre las longitudes de los cauces y las áreas de las cuencas hidrográficas correspondientes, de tal manera, el área crece con la longitud y creciendo la superficie de captación.

Igualmente, los tiempos promedios de subida y las duraciones promedias totales de las crecientes torrenciales tendrán siempre una evidente relación con la longitud de los cauces. Una longitud mayor supone mayores tiempos de desplazamiento de las crecidas y como consecuencia de esto, mayor atenuación de los mismos, por lo que los tiempos de subida y las duraciones totales de estas serán evidentemente mayores.

Las longitudes de cauces anotadas en la Tabla 2.13 son aproximadas ya que es de recordar que este estudio se realizo a escala 1:25.000, además en algunos tramos ó sectores la visión de del recorrido del cauce se encontraba obstruida por una nube.

Como se denota en la siguiente tabla, la longitud del Cause del río Prado es de 92,83 Km. desde su nacimiento, en la parte alta de la Cuenca, donde recibe el nombre de río Cunday hasta su desembocadura en el Río Magdalena.

Tabla 2.13 Longitudes de los cauces de la Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas.

Drenes	Long. Drenaje (Km)
Yacupí	14,13
Negro	47,43
De Bajas	15,61
Cunday	52,32
C. Prado (cuenca total)	92,83



2.1.4 Pendiente Media de Cauces (P_m)

Es la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo.

$$P_m = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} \times 100$$

Donde:

P_m : Pendiente media

H_{\max} : Cota Máxima

H_{\min} : Cota Mínima

L : Longitud del Cauce

$$P_m = \frac{1.200 - 300}{92.83} \times 100 = 0.97$$

El resultado obtenido anteriormente es la pendiente media de la totalidad de la cuenca del Río Prado.

Tabla 2.14 Pendiente Media de los cauces de la Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas.

Nombre	P_m (%)
C. Yacupí	5.66
C. Negro	3.58
C. De Bajas	4.48
C. Cunday	1.72
C. Prado (Cuenca Total)	0.97

El cauce del Río Prado y de sus afluentes con excepción de la Cuenca del Río Yacupí, presentan pendientes por debajo del 5%, lo que indica que las aguas que circulan por estos cauces en términos generales no son sometidas a grandes velocidades, todo lo contrario lo encontramos en el cauce del río Yacupí el cual posee una pendiente del 5.66%, provocando grandes velocidades de desplazamiento en el agua que circula induciendo, erosión en éste, la socavación de los taludes aledaños y el consecuente transporte de grandes cantidades de sedimentos.



2.1.5 Pendientes

Se refiere al grado de inclinación del terreno expresado en porcentaje; los rangos de pendientes son variables dentro de una región o cuenca hidrográfica. Es común hoy estimar las pendientes a través de métodos cartográficos con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), a partir de información de curvas de nivel.

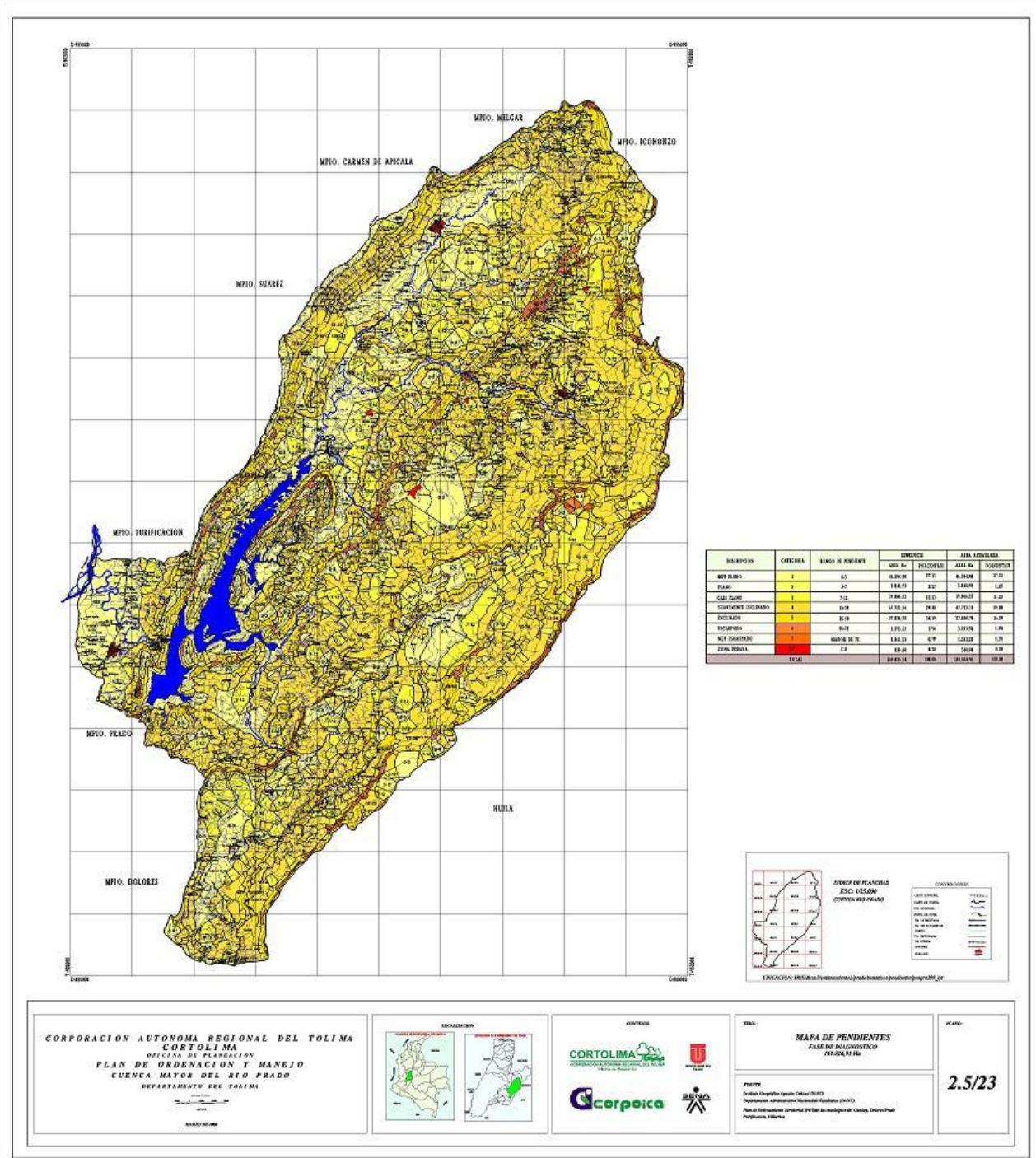
La Tabla 2.15, presenta los rangos de pendientes utilizados en la formulación del Plan de Ordenación de la Cuenca Mayor de Río Prado, así como su calificación y distribución en Áreas (Has) y porcentaje (%).

El 39.88% del área (67.723.16 Has) de la Cuenca Mayor de Río Prado presenta una pendiente ondulada, es decir un rango de pendiente entre 12 y 25%; así mismo, el 27.31% del área (46.387.19 Has) de la cuenca presenta una pendiente muy plana, es decir un rango de pendiente entre 0 y 3%.

La figura 2.2 presenta el modelamiento realizado mediante el Sistema de Información Geográfico (SIG), Arc/Info, para obtener el mapa de pendientes de la cuenca Mayor de Río Prado (Ver Mapa 2.5)

Tabla 2.15 Rangos de Pendientes y Áreas encontradas en la Cuenca mayor del Río Prado

RANGO	CALIFICACION	AREA (Ha.)	AREA (%)
0 - 3	Muy plano	46.387,19	27,31
3 - 7	Plano	3.848,93	2,27
7 - 12	Casi plano	19.066,32	11,23
12 - 25	Ondulado	67.723,16	39,88
25 - 50	Muy ondulado	27.830,78	16,39
50 - 75	Escarpado	3.293,52	1,94
> 75	Muy escarpado	1.341,23	0,79
Z.U	Zona Urbana	335,77	0,20
TOTAL		169.826,91	100,00



Mapa 2.5 Pendientes



2.1.6 Parámetros de Forma de la Cuenca

Los factores geológicos, principalmente, son los encargados de moldear la fisiografía de una región y particularmente la forma que tienen las cuencas hidrográficas.

Para explicar cuantitativamente la forma de la cuenca, se compara la cuenca con figuras geométricas conocidas como lo son: el círculo, el óvalo, el cuadrado y el rectángulo, principalmente.

2.1.6.1 Factor de forma de Horton (Hf)

El factor de forma según Horton expresa la relación existente entre el área de la cuenca, y un cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma.

$$Hf = \frac{A}{La^2}$$

Donde:

Hf: Factor de forma de Horton

A: Área

La: longitud axial

$$Hf = \frac{A}{La^2} = \frac{1.698.269.100,48}{98.226,40^2} = 0,1760$$

El Factor de forma de Horton de la Cuenca Mayor del Río Prado, es de 0,1760, el cual está indicando que la Cuenca no tiende a ser circular; por lo tanto no es propensa a presentar crecidas súbitas, cuando se presentan lluvias intensas simultáneamente en toda o en gran parte de su superficie.

En términos generales podemos observar en la siguiente tabla, que ninguna de las cuencas que hacen parte de la Cuenca Mayor del Río Prado van a ser susceptibles a las crecidas súbitas, al presentarse precipitaciones fuertes en su superficie.

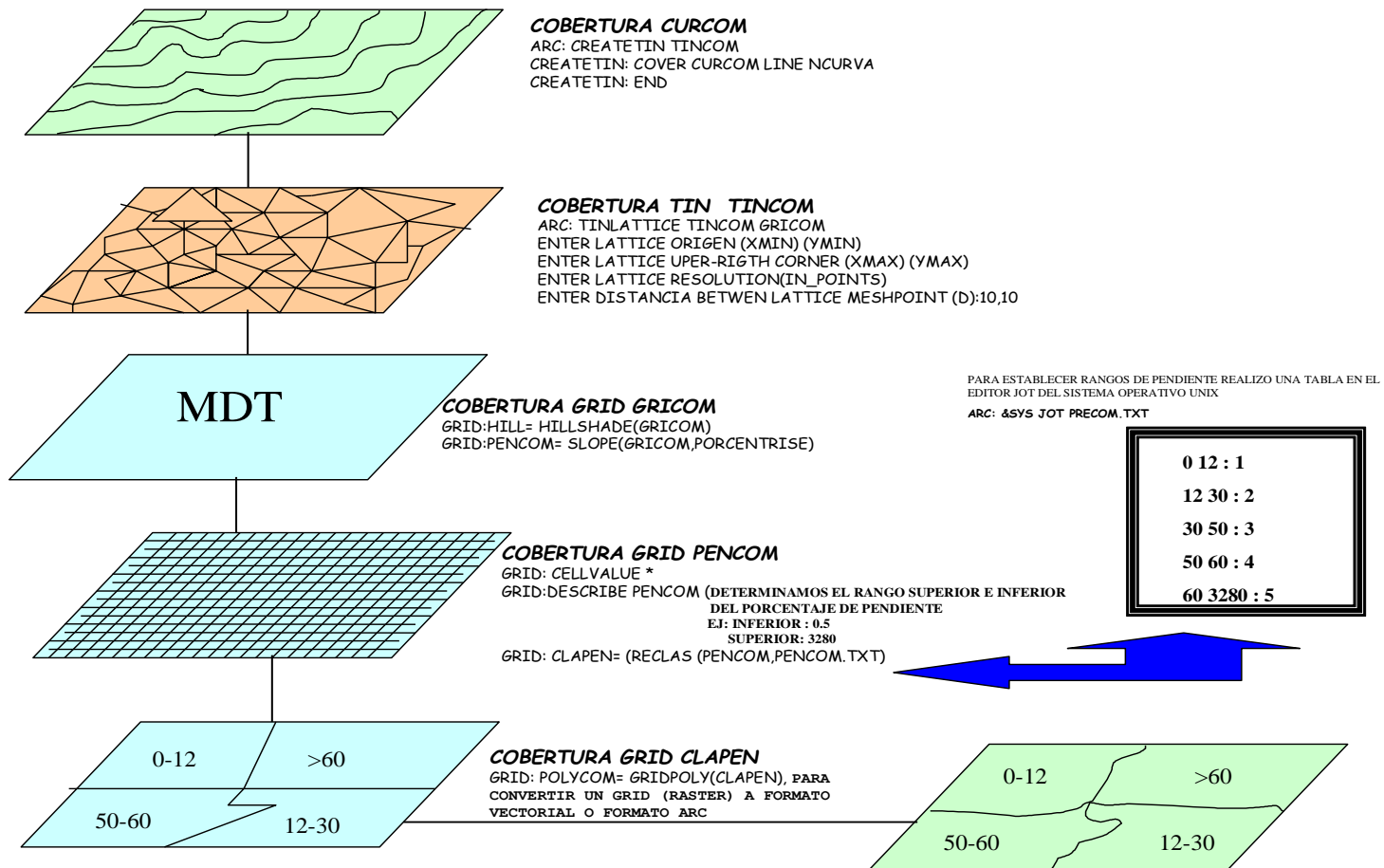


Figura 2.2 Modelamiento para la Generación del Mapa de Pendientes a través de los Módulos Tin y Grid de ARC/INFO



Tabla 2.16. Factor de Horton de la Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas.

DRENES	Horton
Yacupí	0.1484
Negro	0.1909
De Bajas	0.3117
Cunday	0.2296
C. Prado (Cuenca Total)	0.1760

2.1.6.2 Razón Circular de Miller (Rc)

Miller usó una razón circular adimensional, definida como la razón del área de la cuenca al área de un círculo que tiene el mismo perímetro de la cuenca.

$$Rc = \frac{A}{Ac} = \frac{1.698.269.100,48}{3.518.393.226,99} = 0,482$$

Donde:

Rc: Factor Razón Circular

A: Área de la Cuenca

Ac: Área de un círculo

La razón circular de la Cuenca Mayor del Río Prado, es de 0,482, valor que indica que la Cuenca en su totalidad no posee similitud geométrica con el círculo, al retirarse de uno, por lo tanto va a tener un comportamiento poco torrencial en su totalidad.

Tabla 2.17 Factor de Razón Circular de la Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas.

DRENES	Rc
Yacupí	0.345
Negro	0.425
De Bajas	0.484
Cunday	0.471
C. Prado (Cuenca Total)	0.482

La Cuenca Yacupí, según los resultados de la Razón Circular de Miller; tienden a ser menos afectadas por un fenómeno torrencial que la Cuenca Mayor en su totalidad. Siendo la Cuenca de la Quebrada de Bajas la mas susceptible a este tipo de fenómenos.



2.1.6.3 Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)

El coeficiente de compacidad se obtiene al relacionar el perímetro de la cuenca, con el perímetro de un círculo, que tiene la misma área de la cuenca.

$$Kc = \frac{P}{Pc} = \frac{210.278,87}{146.085,86} = 1,441$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca.

Pc: Perímetro del círculo.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0,28 \frac{210.278,87}{\sqrt{1.698.269.100,48}} = 1,441$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca.

A: Área de la Cuenca.

El Coeficiente de compacidad de Gravelius de la Cuenca Mayor del Río Prado, es de 1,441, indicando una torrencialidad ligera por poseer una forma oval oblonga.

Tabla 2.18 Coeficiente de compacidad de Gravelius de la Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas.

DRENES	Kc
Yacupí	1.703
Negro	1.536
De Bajas	1.439
Cunday	1.459
C. Prado (cuenca total)	1.441

Según los resultados obtenidos en el coeficiente de compacidad (Tabla 2.18), la Cuenca Yacupí es la menos susceptible ante un fenómeno torrencial, el resto de las cuencas que conforman la Cuenca Mayor del Río Prado, poseen una forma de oval redonda a oval oblonga, lo que indica una torrencialidad ligera.

2.1.7 Índice de Alargamiento (Ia)

Este índice, propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima de la cuenca con



su ancho máximo medido perpendicularmente a la dimensión anterior.

$$I_a = \frac{L_a}{a} = \frac{98.226,40}{69.984,54} = 1.404$$

Donde:

I_a : Índice de alargamiento

L_a : Longitud axial.

a : Ancho máximo de la cuenca.

El Índice de alargamiento de la Cuenca Mayor del Río Prado, es de 1.404, ésta relación está indicando que la Cuenca posee un sistema de drenaje que se asemeja a una espiga denotando un alto grado de evolución del sistema y que está en capacidad de absorber mejor una alta precipitación sin generar un crecida de grandes proporciones.

Tabla 2.19 El Índice de alargamiento de la Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas.

DRENES	I_a
Yacupí	1.860
Negro	1.434
De Bajas	1.532
Cunday	1.686
C. Prado	1.404

2.1.8 Tiempo de Concentración (TC)

Es el tiempo teórico que se demora una gota de agua desde la parte más alta de la cuenca hasta la desembocadura de la misma.

$$T_c = \left(\frac{0.870 \times L^3}{H} \right)^{0.385} = \left(\frac{0.870 \times 92.83^3}{1.200 - 300} \right) = 12.94$$

Donde:

T_c : Tiempo de Concentración

L : Longitud del Cauce Principal.

H : Diferencia de altura en metros.



Una característica fundamental en las cuencas de forma alargada, es que los tiempos de concentración son diferentes para casi todos los puntos de la cuenca, esto se observa en la Tabla 2.20, donde el tiempo total es de 12 horas y 56 minutos para la Cuenca Mayor del Río Prado, y a sus afluentes les toma entre mas de una hora y media y seis horas y cuarenta minutos desembocar en distintos puntos de su cauce.

Tabla 2.20 Tiempos de concentración de la Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas

DRENES	Tc (hh:mm)
Yacupí	01:32
Negro	04:39
De Bajas	01:49
Cunday	06:40
Prado (Cuenca Total)	12:56

2.1.9 Forma de la Cuenca y Densidad de Drenaje

La Cuenca Mayor del Río Prado y sus cuencas son de forma predominantemente alargada, según lo muestran los resultados obtenidos en los parámetros de forma, este hecho tiene su influencia sobre el comportamiento de las crecidas en los ríos, las cuales están asociadas a las cuencas largas de ríos igualmente largos; los ríos con estas características tienen menor tendencia al almacenamiento de las aguas lluvias, es decir, al presentarse una lluvia en el área de la cuenca, el agua escurrirá hacia los ríos y una vez allí el tiempo que tarda en viajar la crecida desde la parte más alta de la cuenca hasta la más baja será mayor que el tiempo que tardaría en una cuenca que contenga ríos predominantemente cortos.

Otra consideración es la cantidad de ríos y quebradas que llegan o tributan al río principal dentro del área de la cuenca y que se conoce como densidad de drenaje. En el caso de las cuencas observadas, se pueden localizar varios ríos y quebradas que facilitan la evacuación de las aguas lluvias hacia el río principal y una vez allí, serán conducidas hasta la desembocadura o hacia un río más grande.

En síntesis, las cuencas desde el punto de vista de su forma y densidad de drenaje, tienen poca tendencia a concentrar las crecidas puesto que dentro del área se encuentran varios ríos y quebradas que facilitan la evacuación de las crecidas ocasionadas por las lluvias.

Tabla 2.21 Resumen de los parámetros morfométricos de la Cuenca Mayor del Río Prado y sus Cuencas

Nombre	Unidades	R. Yacupí	R. Negro	R. De Bajas	R. Cunday	R. Prado
Long. Cauces	Km	14.13	47.43	15.62	52.32	92.83
Perímetro	Km	43.19	127.29	45.60	142.88	210.28
Area	Ha	5,131.09	54,788.75	8,012.20	76,488.08	169,826.91
Pendiente	%	5.66	3.58	4.48	1.72	0.97
Horton	----	0.148	0.191	0.312	0.230	0.176
Millar	----	0.345	0.425	0.484	0.471	0.482
Gravelius	----	1.703	1.536	1.439	1.459	1.441
Índice de alargamiento	----	1.860	1.434	1.532	1.686	1.404
Tiempo de Concentración	hh:mm	01:32	04:39	01:49	06:40	12:56

Hf : Índice de Horton.

Rc : Razón Circular de Miller.

Kc : Coeficiente de compacidad de Gravelius.

la : Índice de alargamiento.

Tc : Tiempo de Concentración.