

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA
HIDROGRÁFICA N° 124 RÍO TONOSÍ**

JAIME L. ORTEGA M.
4 – 772 – 240

DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2017

**CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA
HIDROGRÁFICA N° 124 RÍO TONOSÍ**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDA PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERÍA EN MANEJO DE CUENCAS Y
AMBIENTE.**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O
PARCIAL DEBE SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

PROF. ING. NOÉ AGUILAR

DIRECTOR

PROF. ING. CECILIO ESTRIBÍ

ASESOR

PROF. ING. TIRSO SOLÍS

ASESOR

DAVID, CHIRIQUÍ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2017

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por haberme dado la vida y por brindarme la sabiduría y fortaleza necesaria para afrontar los diferentes retos que se me impusieron en el desarrollo de este trabajo y en mi carrera universitaria.

A mis padres, por sus sabios consejos, orientaciones y apoyo incondicional, ofrecido a lo largo de toda mi formación personal y académica.

A mis abuelas, padrinos, tíos (as), primos (as), por sus consejos y ayuda incondicional, ofrecido a lo largo de toda mi carrera universitaria.

Mi agradecimiento al profesor Ing. Noé Aguilar, por su colaboración y orientación en el desarrollo de este trabajo, y por la formación académica brindada en el área de hidrología, la cual me permitió desarrollar satisfactoriamente este trabajo.

Al profesor Ing. Cecilio Estribí, por toda su ayuda incondicional a lo largo de todo el trabajo, desde su inicio hasta su consecución final, y por sus sabios consejos y experiencias transmitidas en el área de hidrología. Mi más sincero agradecimiento profesor.

Agradezco también al profesor Ing. Tirso Solís, por su ayuda en la redacción y en la estructuración del trabajo.

A mis compañeros de clases los cuales compartimos buenos y malos momentos, a lo largo de los años de estudio.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra forma han colaborado en el desarrollo de este de trabajo y en mi formación académica.

Jaime L. Ortega M.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres Jaime Ortega y Mirna Meléndez de Ortega a mi hermanita Alejandra, por todo el apoyo y confianza que depositaron en mí a lo largo de toda mi vida personal, profesional y académica.

Finalmente, a los profesores que con su ayuda, orientación y asesoría me permitieron culminar en feliz término este trabajo de tesis.

Jaime L. Ortega M.

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA N° 124 RÍO TONOSÍ.

Ortega, J. 2017. Caracterización Hidrológica de la Cuenca Hidrográfica N° 124
Río Tonosí. Tesis Ing. en Manejo de Cuencas y Ambiente.
Chiriquí, Panamá, Universidad de Panamá. 273 p.

RESUMEN

En la presente investigación se describe en términos generales las principales características físicas, morfométricas, pluviométricas e hidrológicas de la cuenca del río Tonosí. En la descripción de las características físicas de la cuenca se consideraron los siguientes puntos: geología, altimetría, pendiente, hidrografía, capacidad agrológica de los suelos y otros. De igual forma, se detalló las principales características climáticas que se registran en esta zona, tales como: precipitación, temperatura del aire superficial, humedad relativa, evaporación y otros. En el análisis morfométrico se realizó a partir de parámetros e índices desglosados en cuatro grupos, estos son: parámetros generales, parámetros de forma, parámetros de relieve y parámetros de la red hidrográfica, los cuales permitieron describir la respuesta hidrológica de la cuenca. En el análisis pluviométrico se describió el comportamiento de la precipitación de la cuenca tanto temporal, como espacial, y se realizó un análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas para la realización a futuro de estudios en el diseño de obras civiles y agrícolas. En el análisis hidrológico se determinó la disponibilidad hídrica de la cuenca utilizando como estación base del análisis Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02). De igual forma, se estimaron los caudales promedios y caudales específicos a nivel mensual y anual, para las subcuencas y microcuencas sin control fluviométrico las cuales conforman la cuenca del río Tonosí. Se confeccionaron las curvas de variación y de duración de caudales, obteniendo así información general del comportamiento estacional y del régimen futuro de los caudales. Se describió el comportamiento de los caudales a lo largo del tiempo utilizando los desvíos y promedios móviles. Se realizó un análisis de frecuencia de los caudales máximos instantáneos de las subcuencas y microcuencas sin control fluviométrico las cuales conforman a la cuenca del río Tonosí, utilizando el Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, Período 1971 – 2006 y, por último, se realizaron balances hídricos del suelo en diversos sectores de la cuenca utilizando la fórmula de Thornthwaite para el cálculo de la evapotranspiración potencial, permitiendo determinar cuáles son los meses que presentan déficit de humedad en el suelo, recargamiento y escorrentía.

Palabras claves: Hidrología, Cuenca hidrográficas, Morfometría de cuencas, Precipitación, Caudales y Balance hídrico del suelo.

HYDROLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE HYDROGRAPHIC BASIN N° 124 TONOSÍ RIVER.

Ortega, J. 2017. Hydrological Characterization of the Hydrographic Basin N°. 124 Tonosí River. Thesis Ing. In Management of Basins and Environment. Chiriquí, Panama, University of Panama. 273 p.

ABSTRACT

In the present research, the main physical, morphometric, pluviometric and hydrological characteristics of the Tonosí River basin are described in general terms. In the description of the physical characteristics of the basin the following points were considered: geology, altimetry, slope, hydrography, agronomic capacity of the soils and others. Likewise, the main climatic characteristics recorded in this area were described, such as precipitation, surface air temperature, relative humidity, evaporation and others. The morphometric analysis was performed using parameters and indices disaggregated into four groups: general parameters, shape parameters, relief parameters and parameters of the hydrographic network, which allowed to describe the hydrological response of the basin. In the rainfall analysis the behavior of the precipitation of the basin, both temporal and spatial, was described and a frequency analysis of the maximum precipitation was carried out in 24 hours for the future realization of studies in the design of civil and agricultural works. In the hydrological analysis the water availability of the basin was determined using Tonosí, Guaniquito (124 - 01 - 02) as the base station. Likewise, monthly and specific flow rates were estimated for subbasins and microbasins without pluviometric control, which make up the Tonosí River basin. The curves of variation and duration of flow were made, thus obtaining general information of the seasonal behavior and the future regime of the flows. The behavior of flow rates over time was described using deviations and moving averages. A frequency analysis of the instantaneous maximum flows of the subbasins and microbasins without pluviometric control was made, which conform to the Tonosí River basin, using the Regional Maximum Flood Analysis of Panama, Period 1971 - 2006 and, finally, Soil water balances in various sectors of the basin using the Thornthwaite formula for the calculation of potential evapotranspiration, allowing to determine the months that present soil moisture deficit, recharge and runoff.

Keywords: Hydrology, Hydrographic basin, Watershed morphometry, Precipitation, Flows and Soil water balance.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xx
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxvi
1.0 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Antecedentes	5
1.3 Justificación.....	9
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos.....	10
1.5 Alcances y Limitaciones	10
1.5.1 Alcances	10
1.5.2 Limitaciones	11
2.0 REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
2.1 Hidrología Aplicada al Manejo de Cuencas.....	14
2.1.1 Caracterización Hidrológica de las Cuencas.....	14
2.2 Cuencas Hidrográficas en Panamá.....	14
2.2.1 Las Regiones Hídricas de Panamá.....	16

2.2.2	Comportamiento de las Corrientes Superficiales	17
3.0	MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1	Materiales y Equipos	19
3.1.1	Información Hidrometeorológica	19
3.2	Metodología.....	21
3.2.1	Localización y Demarcación del Área en Estudio	21
3.2.2	Geología	22
3.2.3	Altimetría.....	22
3.2.4	Pendiente.....	22
3.2.5	Hidrografía	23
3.2.6	Capacidad Agrológica de los Suelos	23
3.2.7	Cobertura y Uso Actual de la Tierra.....	23
3.2.8	Clima.....	23
3.2.9	Procedimientos para el Desarrollo del Estudio	25
3.3	Parámetros y Variables a Analizar	27
3.3.1	Morfometría de Cuencas	27
3.3.1.1	Parámetros Generales de la Cuenca	28
3.3.1.2	Parámetros de Forma de la Cuenca.....	29
3.3.1.3	Parámetros de Relieve de la Cuenca	29
3.3.1.3.1	Tiempo de Concentración (T_c).....	29
3.3.1.4	Parámetros de la Red Hidrográfica de la Cuenca	31
3.3.2	Análisis Pluviométrico	38
3.3.2.1	Selección de las Estaciones Pluviométricas y el Período de Registro Óptimo de Observaciones	38
3.3.2.2	Homogeneización de Series Pluviométricas	41

3.3.2.2.1	Relleno de Datos Faltantes	41
3.3.2.2.2	Análisis de Consistencia de los Registros.....	42
3.3.2.2.2.1	Estimación de la Calidad de los Datos	42
3.3.2.2.2.2	Curva Doble Acumulada (CDA).....	43
3.3.2.2.3	Extensión de Series	44
3.3.2.3	Análisis Cronológico de la Precipitación.....	45
3.3.2.3.1	Régimen Pluviométrico	45
3.3.2.3.2	Desvíos (Años Normales, Húmedos y Secos)	46
3.3.2.3.3	Promedios Móviles y Tendencia Secular	46
3.3.2.4	Análisis Espacial de la Precipitación	47
3.3.2.4.1	Óptimo Pluviométrico	47
3.3.2.4.2	Precipitación Promedio de la Cuenca	48
3.3.2.5	Curvas de Variación Estacional.....	48
3.3.2.6	Análisis de Frecuencia (Precipitación Máxima en 24 Horas)....	50
3.3.2.6.1.1	Distribución Empírica de Probabilidad	50
3.3.2.6.1.2	Prueba de Bondad de Ajuste.....	51
3.3.2.6.1.3	Distribución Teórica de Probabilidad	52
3.3.3	Análisis Hidrológico.....	54
3.3.3.1	Selección de las Estaciones Hidrométricas y el Período de Registro Óptimo de Observaciones	54
3.3.3.2	Homogeneización de Series Fluvimétricas.....	55
3.3.3.2.1	Relleno de Datos Faltantes	55
3.3.3.2.2	Análisis de Consistencia de los Registros.....	56
3.3.3.3	Estimación de los Caudales Promedios y Caudales Específicos	56
3.3.3.4	Curvas de Variación Estacional.....	57
3.3.3.5	Curvas de Duración de Caudales.....	58

3.3.3.6	Análisis Cronológico de los Caudales	59
3.3.3.6.1	Desvíos (Años Normales, Húmedos y Secos)	59
3.3.3.6.2	Promedios Móviles y Tendencia Secular	59
3.3.3.7	Desequilibrio Hidrológico	59
3.3.3.7.1	Coeficiente de Escorrentía	60
3.3.3.8	Análisis de Frecuencia	61
3.3.3.8.1	Caudales Máximos Instantáneos	61
3.3.4	Balance Hídrico del Suelo	64
4.0	RESULTADOS	67
4.1	Localización y Demarcación del Área en Estudio	67
4.1.1	Localización y Ubicación	67
4.1.2	Demarcación Hidrográfica	67
4.1.3	Demarcación Político – Administrativa	68
4.2	Descripción General de la Cuenca del Río Tonosí	69
4.2.1	Generalidades	69
4.2.2	Geología	72
4.2.2.1	Litología	72
4.2.2.2	Tectónica	75
4.2.3	Altimetría	77
4.2.4	Pendientes	78
4.2.5	Hidrografía	80
4.2.6	Capacidad Agrológica de los Suelos	82
4.2.7	Cobertura y Uso Actual de la Tierra	85
4.2.8	Clima	88

4.2.8.1	Precipitación.....	89
4.2.8.2	Temperatura del Aire Superficial	90
4.2.8.3	Humedad Relativa.....	94
4.2.8.4	Radiación Solar (Global)	95
4.2.8.5	Brillo Solar	96
4.2.8.6	Viento – 10 metros (velocidad).....	97
4.2.8.7	Evaporación	98
4.3	Morfometría de Cuencas.....	99
4.3.1	Parámetros de Forma	99
4.3.1.1	Factor de Forma (Ff)	100
4.3.1.2	Relación de Elongación (Re)	102
4.3.1.3	Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelius (Kc)	103
4.3.2	Parámetros de Relieve	104
4.3.2.1	Pendiente Media de la Cuenca (Ip).....	105
4.3.2.2	Perfil y Pendiente Media del Cauce Principal (Ic)	106
4.3.2.3	Análisis Hipsométrico (Área – Altitud)	109
4.3.2.3.1	Curva Hipsométrica.....	109
4.3.2.3.2	Curva o Polígono de Frecuencias Altimétricas.....	109
4.3.2.3.3	Altitudes Características	109
4.3.2.3.3.1	Altitud Media (H) y Altitud Más Frecuente (Hf)	109
4.3.2.3.4	Curva Hipsométrica Adimensional e Integral hipsométrica (IH) 113	
4.3.2.4	Tiempo de Concentración (Tc)	117
4.3.3	Parámetros de la Red Hidrográfica.....	120
4.3.3.1	Jerarquización de la Red Drenaje – Sistema Strahler	120
4.3.3.2	Patrón de Drenaje	122
4.3.3.3	Número de Corrientes, Según el Orden (Nu)	124

4.3.3.4	Longitud Total de las Corrientes, Según el Orden (<i>Lu</i>)	124
4.3.3.5	Densidad de Drenaje (<i>Dd</i>).....	126
4.3.3.6	Relación de Bifurcación (<i>Rb</i>)	128
4.4	Análisis Pluviométrico	133
4.4.1	Homogeneización de Series Pluviométricas	133
4.4.1.1	Relleno de Datos Faltantes	133
4.4.1.2	Análisis de Consistencia de los Registros	133
4.4.1.2.1	Estimación de la Calidad de los Datos	133
4.4.1.2.2	Curva Doble Acumulada (CDA)	134
4.4.1.3	Extensión de Series.....	141
4.4.2	Análisis Cronológico	146
4.4.2.1	Régimen Pluviométrico.....	146
4.4.2.2	Desvíos (Años Normales, Húmedos y Secos).....	150
4.4.2.3	Promedios Móviles	159
4.4.3	Análisis Espacial de la Precipitación	170
4.4.3.1	Óptimo Pluviométrico	170
4.4.3.2	Precipitación Promedio de la Cuenca	172
4.4.4	Curvas de Variación Estacional	173
4.4.5	Análisis de Frecuencia.....	178
4.4.5.1	Precipitación Máxima en 24 Horas	178
4.4.5.1.1	Distribución Empírica de Probabilidad	179
4.4.5.1.2	Prueba de Bondad de Ajuste	180
4.4.5.1.3	Distribución Teórica de Probabilidad.....	181
4.5	Análisis Hidrológico	182
4.5.1	Estación Hidrométrica en Estudio	182
4.5.2	Homogeneización de Series Fluviométricas	182

4.5.2.1	Relleno de Datos Faltantes	182
4.5.2.2	Análisis de Consistencia de los Registros	183
4.5.2.2.1	Curva Doble Acumulada (CDA)	183
4.5.3	Disponibilidad Hídrica	184
4.5.4	Estimación de los Caudales Promedios y Caudales Específicos..	186
4.5.5	Curvas de Variación Estacional	188
4.5.6	Curvas de Duración de Caudales	190
4.5.7	Análisis Cronológico	193
4.5.7.1	Régimen Hidrológico	193
4.5.7.2	Desvíos (Años Normales, Húmedos y Secos).....	195
4.5.7.3	Promedios Móviles	200
4.5.8	Desequilibrio Hidrológico	206
4.5.8.1	Coeficiente de Escorrentía	212
4.5.9	Análisis de Frecuencia.....	218
4.5.9.1	Caudales Máximos Instantáneos	218
4.6	Balance Hídrico del Suelo	220
5.0	CONCLUSIONES	231
6.0	RECOMENDACIONES.....	235
7.0	BIBLIOGRAFÍA	237
8.0	ANEXOS.....	247

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Pág.
I.	ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA LA DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA Y EL ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO.	20
II.	ESTACIONES HIDROMÉTRICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO.	21
III.	RESUMEN DE LOS GRADIENTES VERTICALES TÉRMICOS MENSUALES (°C/100 m) PARA CADA CLASE DE TEMPERATURA EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	24
IV.	PARÁMETROS GENERALES DE LA CUENCA.	32
V.	PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA.	33
VI.	PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA.	34
VII.	PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA.	36
VIII.	ECUACIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES PROMEDIOS MÁXIMOS INSTANTÁNEOS, SEGÚN LAS ZONAS HIDROLÓGICAMENTE HOMOGÉNEAS.	62
IX.	FACTORES $Q_{MÁX.}/Q_{PROM.MÁX}$ PARA DISTINTOS PERÍODOS DE RETORNO.	62
X.	SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LA DIVISIÓN POLÍTICO – ADMINISTRATIVA.	69
XI.	UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	71
XII.	SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN EL GRUPO GEOLÓGICO.	75
XIII.	SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LA ALTITUD.	78

XIV.	SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LA PENDIENTE.	79
XV.	SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LAS CLASES DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA.	85
XVI.	SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LA COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA.	87
XVII.	PRECIPITACIONES MENSUALES REGISTRADAS POR LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS UBICADAS DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	90
XVIII.	RESUMEN DE DATOS CLIMÁTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	99
XIX.	FORMAS DE LA CUENCA, SEGÚN EL FACTOR DE FORMA.	100
XX.	FORMAS DE LA CUENCA, SEGÚN LA RELACIÓN DE ELONGACIÓN.	103
XXI.	FORMAS DE LA CUENCA, SEGÚN EL COEFICIENTE DE GRAVELIUS.	104
XXII.	CLASIFICACIÓN DEL TERRENO, SEGÚN LA PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA.	105
XXIII.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.	119
XXIV.	CLASIFICACIÓN ORDINAL DE LAS CORRIENTES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.	125
XXV.	LONGITUD TOTAL DE LAS CORRIENTES (Km) DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.	126
XXVI.	VALORES INTERPRETATIVOS DE LA DENSIDAD DE DRENAJE.	127
XXVII.	PARAMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS.	131

XXVIII.	COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS ESTACIONES EN ESTUDIO.	134
XXIX.	PRECIPITACIÓN ANUAL AJUSTADA PARA LA ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA, PERÍODO 1991 – 1994.	138
XXX.	COMPARACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO DECADAL, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	148
XXXI.	RESUMEN DE AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	154
XXXII.	DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	155
XXXIII.	DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	157
XXXIV.	RESUMEN DE PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	163
XXXV.	DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	164
XXXVI.	DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	167
XXXVII.	RELACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN CON ALTITUD (ELEVACIÓN) EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PERÍODO 1981 – 2010).	171
XXXVIII.	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).	174
XXXIX.	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES, ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004).	175

XL.	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).	176
XLI.	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 006).	177
XLII.	ESTADÍSTICA BÁSICA (PERÍODO HISTÓRICO) DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS, PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.	179
XLIII.	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE.	180
XLIV.	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm) PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO.	181
XLV.	INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA BÁSICA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	185
XLVI.	ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES PROMEDIOS Y CAUDALES ESPECÍFICOS EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	187
XLVII.	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LOS CAUDALES MENSUALES. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	188
XLVIII.	CARACTERÍSTICAS DE LOS CAUDALES PROMEDIOS DIARIOS EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	191
XLIX.	RESUMEN DE AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	197
L.	DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO AL CAUDAL PROMEDIO ANUAL, ESTACIÓN HIDROMÉTRICA TONOSÍ, GUANIKUITO.	198
LI.	RESUMEN DE AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	202
LII.	DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO AL CAUDAL PROMEDIO ANUAL. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	203
LIII.	DESEQUILIBRIO HIDROLÓGICO. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1981 – 2000).	207

LIV.	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA ANUALES. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1981 – 2000).	215
LV.	ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE MÁXIMOS INSTANTÁNEOS (m ³ /s) PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	219
LVI.	BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).	223
LVII.	BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004).	225
LVIII.	BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).	227
LIX.	BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).	229

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Tituló	Pág.
1.	SERIES PLUVIOMÉTRICOS DISPONIBLES.	40
2.	REGIONES HIDROLÓGICAMENTE HOMOGÉNEAS, REPÚBLICA DE PANAMÁ.	63
3.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA PROMEDIO, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	91
4.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	92
5.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	93
6.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA HUMEDAD RELATIVA EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PARTE BAJA).	94
7.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	95
8.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL BRILLO SOLAR EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	96
9.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO – 10 METROS DEL ALTURA EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	97
10.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA EVAPORACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PARTE BAJA).	98
11.	PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	108
12.	CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	111
13.	CURVA O POLÍGONO DE FRECUENCIAS ALTIMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	112

14.	CURVAS HIPSOMÉTRICA ADIMENSIONALES TEÓRICAS, CARACTERÍSTICAS DEL CICLO EROSIVO Y TIPO DE CUENCA.	114
15.	CURVA HIPSOMÉTRICA ADIMENSIONAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.	115
16.	INTEGRALES HIPSOMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.	116
17.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	119
18.	DESIGNACIÓN DEL NÚMERO ORDEN DE LAS CORRIENTES.	122
19.	REGRESIÓN LINEAL DEL NÚMERO DE CORRIENTES DE DIFERENTES ÓRDENES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	130
20.	ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004) VERSUS LA MESA DE MACARACAS (128 – 005), PERÍODO 1974 – 1998.	136
21.	ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004) VERSUS LLANO DE PIEDRA (128 – 011), PERÍODO 1974 – 2000.	136
22.	ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004) VERSUS PITALOZA ARRIBA (128 – 012), PERÍODO 1974 – 2000.	137
23.	ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002) VERSUS ALTOS DE GÜERA (124 – 006), PERÍODO 1974 – 1998.	138
24.	ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO CORREGIDO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002) VERSUS ALTOS DE GÜERA (124 – 006), PERÍODO 1974 – 1998.	139

25.	ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002) VERSUS EL CORTEZO (124 – 005), PERÍODO 1974 – 2000.	139
26.	ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004) VERSUS GUÁNICO ABAJO (122 – 005), PERÍODO 1974 – 1998.	140
27.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004) VERSUS LA MESA DE MACARACAS (128 – 005), PERÍODO 1974 – 1998.	142
28.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004) VERSUS LLANO DE PIEDRA (128 – 011), PERÍODO 1974 – 2000.	142
29.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004) VERSUS PITALOZA ARRIBA (128 – 012), PERÍODO 1974 – 2000.	143
30.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002) VERSUS EL CORTEZO (124 – 005), PERÍODO 1974 – 2000.	144
31.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002) VERSUS ALTOS DE GÜERA (124 – 006), PERÍODO 1974 – 1998.	144
32.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004) VERSUS GUÁNICO ABAJO (122 – 005), PERÍODO 1974 – 1998.	145
33.	PRECIPITACIÓN PROMEDIO DECADAL, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	148
34.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PERÍODO 1981 – 2010).	149

35.	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PERÍODO 1981 – 2010).	150
36.	DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	156
37.	DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	158
38.	DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	165
39.	COMPARACIÓN ENTRE LAS PRECIPITACIONES TOTALES ANUALES, PROMEDIO ANUAL Y PROMEDIOS MÓVILES EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	166
40.	DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	168
41.	COMPARACIÓN ENTRE LAS PRECIPITACIONES TOTALES ANUALES, PROMEDIO ANUAL Y PROMEDIOS MÓVILES EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	169
42.	RELACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN CON LA ALTITUD EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.	172
43.	CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).	175
44.	CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL, ESTACIÓN TONOSÍ (124 – 004).	176
45.	CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).	177
46.	CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).	178

47.	ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LOS CAUDALES PROMEDIO ANUALES DE LA ESTACIÓN LA VILLA, MACARACAS VERSUS TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1981 – 2000).	184
48.	CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	189
49.	CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES DIARIOS Y MENSUALES (INTERVALOS DE LOGARITMO DE BASE 10). ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	192
50.	DISTRIBUCIÓN DE LOS CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES A LO LARGO DE UN AÑO. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	194
51.	DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO AL CAUDAL PROMEDIO ANUAL. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	199
52.	DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO AL CAUDAL PROMEDIO ANUAL. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	204
53.	COMPARACIÓN ENTRE LOS CAUDALES PROMEDIOS ANUALES, PROMEDIO ANUAL Y PROMEDIOS MÓVILES DE LA ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.	205
54.	COMPARACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN VS LA ESCORRENTÍA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1981 – 1990).	209
55.	COMPARACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN VS LA ESCORRENTÍA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1991 – 2000).	210
56.	COMPARACIÓN ENTRE LÁMINAS ESCURRIDAS. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODOS 1981 – 1990 AL 1991 – 2000).	212
57.	VARIACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL Y LA LÁMINA ESCURRIDA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1981 – 1990).	216
58.	VARIACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL Y LA LÁMINA ESCURRIDA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1991 – 2000).	217

59.	BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).	224
60.	BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004).	226
61.	BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).	228
62.	BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).	230

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Tituló	Pág.
I.	REGIONES HÍDRICAS POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ.	247
II.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN GUÁNICO ABAJO (122 – 005), PERÍODO 1974 – 2010.	248
III.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002), PERÍODO 1974 – 2010.	249
IV.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004), PERÍODO 1974 – 2010.	250
V.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005), PERÍODO 1974 – 2010.	251
VI.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006), PERÍODO 1974 – 2010.	252
VII.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004), PERÍODO 1974 – 2010.	253
VIII.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN LA MESA DE MACARACAS (128 – 005), PERÍODO 1974 – 2010.	254
IX.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN LLANO DE PIEDRA (128 – 011), PERÍODO 1974 – 2010.	255
X.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN PITALOZA ARRIBA (128 – 012), PERÍODO 1974 – 2010.	256
XI.	REGISTROS DE CAUDALES (m ³ /s) DE LA ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (124 – 01 – 02), PERÍODO 1980 – 2000.	257
XII.	REGISTROS DE CAUDALES (m ³ /s) DE LA ESTACIÓN LA VILLA, MACARACAS (128 – 01 – 01), PERÍODO 1980 – 2000.	258
XIII.	VALORES CRÍTICOS DE Δ_0 DEL ESTADÍSTICO SMIRNOV – KOLMOGOROV Δ , PARA VARIOS VALORES N Y NIVELES DE SIGNIFICACIÓN α .	259

XIV.	DISTRIBUCIÓN EMPÍRICA (WEIBULL) DE LA SERIE DE VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).	260
XV.	DISTRIBUCIÓN EMPÍRICA (WEIBULL) DE LA SERIE DE VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, ESTACIÓN TONOSÍ (124 – 004).	261
XVI.	DISTRIBUCIÓN EMPÍRICA (WEIBULL) DE LA SERIE DE VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).	262
XVII.	DISTRIBUCIÓN EMPÍRICA (WEIBULL) DE LA SERIE DE VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).	263
XVIII.	PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV – KOLMOGOROV, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).	264
XIX.	PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV – KOLMOGOROV, ESTACIÓN TONOSÍ (124 – 004).	265
XX.	PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV – KOLMOGOROV, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).	266
XXI.	PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV – KOLMOGOROV, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).	267
XXII.	FACTOR DE CORRECCIÓN, POR DURACIÓN MEDIA DE LAS HORAS DE SOL EXPRESADA EN UNIDADES DE 30 DÍAS, CON 12 HORAS DE SOL DE CADA UNA.	268
XXIII.	UNIDADES HIDROGRAFICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ	269
XXIV.	PRINCIPALES ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS UTILIZADAS	270
XXV.	CLASIFICACIÓN ORDINAL DE LAS CORRIENTES (MÉTODO STRAHLER)	271
XXVI.	ISOYETAS ANUALES (MM)	272
XXVII.	CAUDALES ESPECÍFICOS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ	273

1.0 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas a nivel mundial, el incremento de la población, el mejoramiento de las condiciones de vida y el cambio climático, han originado un aumento en la demanda, presión y escasez significativa sobre el recurso hídrico, generando un peligro potencial en la disponibilidad futura del agua.

Este recurso no está uniformemente distribuido sobre la superficie del planeta; existen zonas y épocas donde la cantidad de agua es insuficiente para los diversos usos que la contemplan; así mismo el exceso de agua produce inundaciones originando graves daños materiales y algunas pérdidas de vidas humanas. Por tal motivo, la hidrología proporciona las herramientas necesarias para una adecuada explotación y manejo de este recurso, permitiendo el cálculo de las cantidades de agua existente en cada región del planeta y el estudio de las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Los estudios hidrológicos a nivel de cuencas hidrográficas o proyectos hidrotécnicos en particular, son sumamente importantes desde el inicio hasta la formulación de las obras hidráulicas y aún más, hasta su explotación. Este tipo de estudio producen una gama de información básica para una mejor planificación y manejo del recurso hídrico, permitiendo un mejor entendimiento o evaluación de la unidad hidrográfica como un sistema hidrológico integral de los sucesos del ciclo hidrológico. Consecuentemente el resultado o las deducciones finales de su

elaboración brinda aspectos muy importantes, tales como: (1) características morfológicas de la cuenca, (2) análisis y comportamiento de variables hidrometeorológicas, (3) magnitud de los eventos extremos, crecientes y épocas de estiaje, que puedan poner en riesgo las obras civiles y el suministro confiable de agua a los diferentes usuarios, (4) selección y disponibilidad de la fuente que suministrara el caudal que se entregara a los beneficiarios y (5) transporte de sedimentos hacia las obras de captación y almacenamiento.

1.1 Planteamiento del Problema

La República de Panamá desde hace algunas décadas mediante diversas instancias como las instituciones gubernamentales, el sector privado, los organismos especializados y las comunidades; han mostrado intereses muy pretensiosos desde el punto de vista económico y social en aprovechar el recurso hídrico en gran parte de las cuencas hidrográficas del país. Al ser considerado como el primer país en Centroamérica con la mayor oferta hídrica aproximadamente de 193,500 Mm³/año (GWP 2011), ha originado un atractivo e inversión por parte de nacionales y extranjeros por la utilización del recurso hídrico principalmente en la generación hidroenergética, navegación interoceánica, abastecimiento humano, riego y otros usos.

Sin embargo, en los últimos años esta oferta hídrica ha presentado disminuciones muy significativas, totalmente subjetivas y sin registros confiables en todas las cuencas hidrográficas del país, catalogándola como “crisis hídrica”. Las causas de mayor relevancia que han influido negativamente en el recurso hídrico son los “fenómenos climáticos y el cambio climático”. El impacto sobre el recurso hídrico, como resultado en el cambio del régimen de las lluvias a consecuencia del cambio climático y el incremento en la variabilidad climática (fenómenos de El niño y La niña), los cuales se manifiestan a través de la ocurrencia de los fenómenos extremos (hidrometeorológicos), cada vez de mayor frecuencia, inciden negativamente en la disponibilidad, abastecimiento y utilidad del recurso hídrico, afectando a diversos sectores del país, colocando en una línea muy delgada la salud de la población y la seguridad alimentaria. Por otro lado, la degradación

ambiental que depreda a las cuencas hidrográficas por el uso irracional de los recursos naturales, la producción agropecuaria no sostenible y la explotación intensiva de la tierra, han generado consecuencias negativas muy significativas, afectando colateralmente la disponibilidad y almacenamiento del recurso hídrico. Algunas de estas consecuencias son: (1) deforestación masiva de la vegetación natural y secundaria, a causa de la expansión de zonas ganaderas (pastizales) y agrícolas (arroz, maíz y caña), (2) pérdida de la capacidad productiva del suelo, (3) prácticas inadecuadas de manejo como la tala, quema y sobrepastoreo, (4) ausencia de prácticas de conservación de suelo y agua, y otros.

A pesar de que se invirtieron miles de dólares¹ en la elaboración del Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Sequía en Panamá, Plan de Sequía y demás estudios, para diagnosticar el estado actual crítico de áreas como la del Arco Seco por parte de las instituciones gubernamentales, enfocado en salvaguardar el abastecimiento y conservación del agua, los mismos no han sido ejecutadas de la mejor forma presentando deficiencias muy puntuales tales como: (1) falta de recursos económicos y personal calificado, (2) falta de supervisión, (3) carencia e inconsistencia de información hidrometeorológica, (4) poco seguimiento de los sistemas de aprovechamiento del recurso y (5) principalmente no evalúan periódicamente la disponibilidad del agua en las diferentes épocas del año, ya sea superficial o subterráneo, lo cual dificulta una mejor administración y control del recurso hídrico para posibles aprovechamientos a futuro.

¹ La elaboración del Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Sequía en Panamá y el Plan de Sequía, presentaron un costo total de B/. 10,589,220.00 (ANAM 2004, MIDA 2015).

En efecto, la cuenca hidrográfica del río Tonosí no escapa a la vista de múltiples aprovechamientos a futuro del recurso hídrico, principalmente el uso agropecuario y abastecimiento poblacional, ni mucho menos a la degradación ambiental que depreda a esta zona con amenazantes procesos de desertificación y disminución de la cobertura boscosa existente. Por otro lado, la prolongación de la sequía estacionaria que afecta al país y a esta cuenca hidrográfica a causa de los fenómenos climáticos y el cambio climático, han ocasionado una reducción notoria en los caudales de los principales ríos, agudizando la crisis hídrica actual.

Sin más que detallar las problemáticas, es de notar que la cuenca del río Tonosí al igual que el resto de las cuencas que conforman la península de Azuero, no cuentan con los estudios hidrológicos más generales los cuales no permiten una evaluación real de la disponibilidad hídrica, imposibilitando cualquier aprovechamiento y uso de este recurso, motivo por el cual es necesario realizar este tipo de estudios ya que permitirán analizar más a fondo la oferta hídrica de esta zona, tanto en cantidad y calidad.

1.2 Antecedentes

El trabajo sociológico de Stanley Heckadon – Moreno, en su libro *“Cuando se acaban Los Montes”*, describe la estructura económica y social básicamente agraria del distrito de Tonosí, resalta aquellos procesos de deforestación y las prácticas agrícolas realizadas por el hombre, que agravan el deterioro de los recursos naturales en este poblado de la península de Azuero.

El distrito de Tonosí parece hoy día un enorme potrero. La selva que antes cubría prácticamente toda la superficie, ha desaparecido casi por completo. Lo que queda de estos bosques primarios son solamente bolsones que asemejan pequeñas islas verdeoscuras de vegetación que aquí y de allá rompen la oceánica monotonía de los potreros de faragua. La paja para alimentar el ganado cubre todo tipo de terreno, tanto los bajos como los altos. En la cadena de cerros que rodean al distrito por casi todos los puntos cardinales, la deterioración ecológica está avanzada a causa de la erosión de la tierra, provocadas por las quemadas veraneras de los porteros (Heckadon – Moreno 2006).

El hombre ha transformado radicalmente el paisaje tropical. Al mismo tiempo la sociedad rural que ha ocasionado estos cambios, está sufriendo una crisis social y económica, la cual se refleja en los cientos de personas que anualmente emigran de la región buscando mejores horizontes en otras tierras. Los problemas sociales y económicos, enmarcados dentro de una extensa destrucción de los recursos naturales, pareciera que son un desanimante final para el sueño visionario e idealista que nació con la República.

Hace pocos años² los santeños fueron criados con la imagen que Tonosí era la tierra prometida de Azuero. Se tenía por cosa cierta, que si esta aislada, pero potencialmente rica región podía hacerse más accesible a la colonización, surgiría una nueva era para la gente de toda la provincia. La colonización y la explotación de los recursos de Tonosí, fue el sueño colectivo de muchas generaciones

² Años 1975 – 1977, realización de entrevistas en campo (Heckadon – Moreno 2006).

santeñas, tanto de los pueblos como de los campos vecinos (Heckadon – Moreno 2006).

Veamos ahora cuales son las características naturales de la región que por tanto tiempo estimularon el interés por su colonización. Tonosí está situada al sur de la provincia de Los Santos, península de Azuero. Su superficie de 1355 Km² asemeja un triángulo recostado sobre las playas del océano Pacífico hacia el sur. Topográficamente la región se divide en dos partes distintivas: el valle y las tierras altas que lo separan de las llanuras centrales y que por siglos funcionaron como barreras naturales a la colonización del primero.

La periferia montañosa que aísla el valle se compone de dos cadenas de altos cerros. Al oeste la cadena occidental de Azuero que atraviesa la península de norte a sur y en donde el cerro Cambutal, con 1400 metros es la mayor elevación. Al norte y al este se eleva el macizo del Canajagua, un ramal montañoso que se desprende de la cadena occidental. En esta segunda cadena las mayores elevaciones son las de cerro Quema (950 metros) y cerro Canajagua (830 metros), (Heckadon – Moreno 2006).

Una de las características naturales más atractivas que tiene Tonosí, es que llueve más que otras partes de Azuero. El promedio anual de precipitación es de 2220 milímetros, mientras que en el resto de la provincia es de apenas 1500 milímetros. La superior humedad de Tonosí se debe a las montañas que atrapan los vientos húmedos del Pacífico en su travesía hacia el norte. Sin embargo, la caída de las lluvias está mal distribuida y estas son más fuertes en un corto

período que va de septiembre a noviembre, lo que provoca inundaciones en las tierras bajas.

Las lluvias son recogidas por una tupida red de cortos ríos y quebradas que nacen en la cadena occidental y el macizo del Canajagua y que, luego de atravesar el valle, derraman sus aguas al Pacífico. Aunque en el verano, el caudal de la mayoría de los ríos y quebradas disminuye considerablemente, no se llegan a secar como en otras partes de Los Santos y Herrera. Los ríos tonosieños no son navegables, excepto para pequeñas embarcaciones y por cortas distancias cercanas a sus desembocaduras.

Otro recurso natural fundamental que condiciona las actividades agrícolas de una población es el suelo. En este sentido, Azuero es pobre pues predominan los suelos rojos de textura arcillosa y de moderada a baja fertilidad. Estos suelos se erosionan con facilidad una vez destruida la capa vegetal. Irónicamente casi tres cuartas partes de los fértiles suelos aluviales de la región se concentran en Tonosí (Heckadon – Moreno 2006).

El Proyecto Integral Multipropósito para el Desarrollo del Valle de Tonosí, Tonosí, Provincia de Los Santos, fue promovido por el gobierno del Presidente Ricardo Martinelli (período 2009 – 2014), mediante el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) y la empresa encargada del diseño y construcción de la obra SOCIEDAD HIDALGO & HIDALGO, con los principales propósitos de mejorar el desarrollo y la productividad agropecuaria, y el suministro confiable de agua potable en el valle de Tonosí. Sin embargo, fue cancelado en su totalidad

principalmente por problemas de corrupción en el desembolso inicial, injustificado de 37.4 millones de dólares a la empresa SOCIEDAD HIDALGO & HIDALGO, sin tener los terrenos disponibles para el desarrollo de la obra. Además, otra condicionante en el desarrollo del proyecto, fue la falta de consulta ciudadana o reuniones comunales por parte del gobierno nacional con las comunidades dentro del área de influencia del proyecto, provocando conflictos sociales y negación total para el inicio del proyecto (HC & ASOCIADOS S.RL. 2014).

1.3 Justificación

La realización del presente estudio se fundamenta en proporcionar información hidrometeorológica representativa de la cuenca hidrográfica del río Tonosí, enfatizando en el comportamiento de los caudales y la precipitación con respecto al tiempo a través de la utilización de diferentes metodologías para el cálculo y análisis de tales variables, permitiendo así, determinar la disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica, posibilitando una mejor planificación, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Realizar una caracterización hidrológica de la cuenca hidrográfica del río Tonosí mediante la descripción, cuantificación y análisis de los principales elementos hidrometeorológicos y morfométricos de la cuenca; cuyo fin es determinar de forma general la disponibilidad hídrica y crear una base de datos que permitan un mejor manejo, aprovechamiento y desarrollo a futuro

de programas de uso del agua para fines domésticos, agrícolas, industriales e hidroenergéticos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la respuesta hidrológica a través de los principales parámetros e índices morfométricos de la cuenca del río Tonosí.
- Analizar el comportamiento y la tendencia cronológica de la precipitación en la cuenca del río Tonosí.
- Analizar la variación espacial de la precipitación en la cuenca del río Tonosí.
- Determinar la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Tonosí.
- Estimar los caudales promedios y caudales específicos de las subcuencas y microcuencas que conforman a la cuenca del río Tonosí.
- Analizar el comportamiento y la tendencia cronológica de los caudales en la cuenca del río Tonosí.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances

El propósito o el alcance de la realización de este estudio investigativo es brindar a los planificadores, comités y administradores de cuencas hidrográficas, principalmente a los de la provincia de Los Santos, un diagnóstico actual sobre el comportamiento y la disponibilidad del recurso hídrico en esta cuenca hidrográfica, el cual impulse o promueva la consecución de obras civiles para el control de inundaciones, el suministro y abastecimiento confiable del agua, principalmente para las actividades ganaderas, agrícolas y de consumo doméstico, ya que son

los usos del agua más necesarios en esta región del país, permitiendo un mejor desarrollo y bienestar de vida.

1.5.2 Limitaciones

Las principales limitaciones presentadas en la realización de este estudio fueron, las pocas y mal distribuidas estaciones hidrometeorológicas instaladas en la cuenca, y la carencia y mal procesamiento de la información hidrometeorológica disponible. Los registros disponibles de las estaciones hidrometeorológicas instaladas en la cuenca, en la mayoría de los casos su longitud era muy corta, presentaban años con registros incompletos e inclusive fueron procesados de una forma inadecuada, el cual obligó a descartar esta información tan valiosa.

2.0 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Hidrología Aplicada al Manejo de Cuencas

Según Rojas (2009), la hidrología, como ciencia que estudia el agua en sus diferentes aspectos, es de gran importancia para la planificación y el manejo de cuencas. En la mayoría de los procesos relacionados con el desarrollo de los recursos naturales, el agua juega un papel preponderante y como tal el estudio de los diferentes aspectos en los cuales interviene, debe ser objeto de un estudio especial; de allí la importancia de la hidrología en la planificación y desarrollo de recursos naturales, en especial de los recursos hídricos.

La hidrología es una ciencia multidisciplinaria y multiusuario. Multidisciplinaria porque involucra el conocimiento de otras ciencias y multiusuario porque dentro de la planificación y diseño de obras, tiene muchos usuarios; sin embargo, la hidrología es poco conocida y apreciada por los técnicos quienes deberían utilizarla.

Rojas (2009), establece que los estudios hidrológicos permiten el conocimiento de las potencialidades y problemas de las cuencas y de esa manera constituyen una herramienta indispensable para la planificación, manejo y conservación de las mismas. A continuación, se presentan algunos de los propósitos más relevantes de la aplicabilidad de la hidrología:

- Determinación de las disponibilidades de agua: la hidrología permite conocer las disponibilidades de agua de una cuenca. Esto se obtiene mediante estudios de: (1) disponibilidad de agua superficial, (2) disponibilidad de aguas subterráneas y (3) balances hídricos.
- Demandas de agua: en la planificación de cuencas, es indispensable el conocimiento de las demandas de agua para: (1) consumo urbano, (2) uso industrial, (3) desarrollo agrícola y riego, (4) hidroelectricidad, (5) turismo y (6) recreación.
- Problemas con el agua: los estudios hidrológicos son necesarios para detectar y presentar soluciones para problemas tales como: (1) drenaje, (2) inundaciones, (3) sequías, (4) erosión y (5) calidad del agua: sedimentos, y contaminación (física, química y biológica).
- Diseño de obras: la hidrología es indispensable en el conocimiento de los factores de diseño de obras relacionadas con el agua: (1) riego, (2) drenaje, (3) control de inundaciones y (4) estructuras: hidráulicas, conservación de suelos, vialidad.
- Determinación y evaluación de impactos ambientales: la hidrología constituye una herramienta de gran importancia para determinar y evaluar los impactos ambientales resultantes de acciones de manejo de cuencas. Estas determinaciones se realizan mediante estudios de: (1) cambios en la disponibilidad de agua, (2) cambios en la calidad del agua, (3) cambios en los patrones de erosión, (4) sedimentación y (5) conflictos de uso del agua.

2.1.1 Caracterización Hidrológica de las Cuencas

Según Rojas (2009), el comportamiento hidrológico de una cuenca depende de muchos factores, los cuales deben ser analizados separadamente a fin de conocer sus detalles; éstos son luego analizados en conjunto para determinar su influencia dentro del ciclo hidrológico. El análisis de las características hidrológicas de la cuenca permite determinar las variables y parámetros que serán utilizados en las diferentes metodologías hidrológicas que servirán para el análisis de la cuenca y así determinar las potencialidades y problemas de la misma. Por otra parte, el conocimiento pleno de las características de la cuenca es indispensable para estimar los parámetros de diseño de obras y acciones que se realizarán dentro de la cuenca.

Por el carácter multidisciplinario de la hidrología, la mayor parte de la información requerida para caracterizar hidrológicamente a una cuenca, es también requerida por otras ciencias y, por lo tanto, no es necesario realizar nuevas inversiones en estudios especiales. Los principales factores que condicionan y caracterizan las cuencas son: (1) clima, (2) precipitación, (3) escorrentía, (4) erosión y sedimentos y (5) factores fisiográficos (Rojas 2009).

2.2 Cuencas Hidrográficas en Panamá

Según el sistema numérico establecido por el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (1967 – 1972), el territorio continental e insular de la República de Panamá tiene un área de 75524 km², dividido en 52 cuencas hidrográficas (ver ANEXO I). De estas cuencas, 18 pertenecen a la vertiente del Atlántico

(30 % del territorio nacional) asignadas con números impares comenzando desde la 87 (río Sixaola) hasta la 121 (ríos entre Mandinga y Ardila), y las 34 cuencas restantes, pertenecen a la vertiente del Pacífico (70 % del territorio nacional), asignadas con números pares desde la 100 (río Coto y vecinos) hasta la 166 (río Jurado).

El caudal medio anual superficial total de Panamá, incluyendo el territorio continental e insular es de aproximadamente 4222 m³/s (metros cúbicos por segundo) que corresponden a una escorrentía de 1764 mm; hacia el Pacífico descarga aproximadamente el 60%. El coeficiente de escorrentía promedio es de 60.30 % (ETESA 2009).

Con relación a la distribución temporal de los caudales entre las dos vertientes. La del Caribe presenta una mayor regulación natural con el 20 al 30% del caudal, en los meses de enero a abril, y del 70 al 80 % del escurrimiento en la estación lluviosa, se da en los meses de mayo a diciembre. En la vertiente del Pacífico solo del 7 al 15 % del aporte anual se da entre enero y abril, y del 85 al 93 % restante en la estación lluviosa (mayo a diciembre). Se observa, además, que la variación de los caudales mes a mes en la región del Caribe es mucho menor que en la región del Pacífico.

En general, el mes de mayor caudal es el de octubre, aunque algunas estaciones del sector del Caribe registran el máximo en noviembre o diciembre. Las cuencas de la región oriental, de Darién a Mamóní, registran el máximo caudal medio mensual en noviembre (ETESA 2009).

2.2.1 Las Regiones Hídricas de Panamá

A mediados del 2007, fecha en que se dio inicio a los estudios correspondientes para la preparación del Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá 2010 – 2030 (PNGIRH), se presentó una propuesta que divide al país en cinco regiones hídricas prioritarias (ver ANEXO I), con base en las características biofísicas, climáticas y socioculturales de las cuencas hidrográficas (ANAM 2011). Tales regiones hídricas son las siguientes:

- **Región del Caribe Occidental:** abarca el territorio de la provincia de Bocas del Toro, la parte norte de la Comarca Ngäbe – Buglé y de la provincia de Veraguas, y una pequeña porción territorial del oeste de la provincia de Colón. Las cuencas hidrográficas de esta región, presentan niveles de precipitación que oscilan entre los 2500 y 7000 mm, y sus cursos de agua desembocan en el mar Caribe.
- **Región del Caribe Oriental:** abarca la mayor parte del territorio de la provincia de Colón, la totalidad del territorio de la Comarca Guna Yala y parte del territorio del norte de la provincia de Panamá, delimitada por la cuenca del Canal de Panamá. Las cuencas hidrográficas de esta región, presentan niveles de precipitación entre los 1000 y 5000 mm, y sus cursos de agua desembocan en el mar Caribe.
- **Región del Pacífico Occidental:** abarca la provincia de Chiriquí, el sur de la Comarca Ngäbe – Buglé y la parte oeste y sur de la provincia de Veraguas. Los cursos de agua de las cuencas hidrográficas de esta región, desembocan hacia el océano Pacífico. Sus rangos de precipitación oscilan entre 2500 y

4000 mm, y en el caso del norte de la provincia de Chiriquí llegan hasta los 7000 mm.

- **Región del Pacífico Central:** abarca el territorio de la provincia de Los Santos, la mayor parte de la de Herrera, la parte central y sur de la provincia de Coclé y el sur del sector oeste de la provincia de Panamá, hasta la cuenca urbana del río Juan Díaz. Sus cursos de agua desembocan en el océano Pacífico y sus cuencas hidrográficas presentan menores intensidades de lluvias. Sus niveles de precipitación predominan en el rango entre los 1000 y 3500 mm.
- **La Región del Pacífico Oriental:** se extiende desde el este de la provincia de Panamá hasta la de Darién. Sus cursos de agua desembocan en el océano Pacífico y sus rangos de precipitación predominan entre los 1000 y 3000 mm.

2.2.2 Comportamiento de las Corrientes Superficiales

Los 500 ríos principales que existen en Panamá corren en dos vertientes: la del Pacífico, que abarca el 70 % del territorio nacional y contiene 350 ríos, y la del Caribe con 150 ríos y que ocupa el 30 % restante. En términos generales, los ríos son de corto recorrido y sus cursos están usualmente en dirección normal a las costas. La longitud media de los ríos de la vertiente del Caribe es de 56 km, con una pendiente media de 2.50 %; y en la vertiente del Pacífico, la longitud media de los ríos es de 106 km, con una pendiente media de 2.27 % (ANAM 2011).

En la vertiente caribeña, dada la proximidad de los sistemas montañosos a la costa, las cuencas hidrográficas presentan laderas empinadas. Con la alta precipitación local se originan cursos de agua caudalosos, de carácter torrencial.

Por sus altos rendimientos hídricos (l/s/Km^2), sobresalen las cuencas de los ríos Changuinola, Guarumo, Cricamola, Calovébora y Guázaro.

En la región de la vertiente del Pacífico, las cuencas hidrográficas originan cursos de agua más extensos y sedimentarios con sucesivas estaciones secas y lluviosas. Por sus altos rendimientos hídricos (l/s/Km^2), sobresalen los ríos Chiriquí, Fonseca, Tabasará y San Pablo en la vertiente del Pacífico, con rendimientos superiores a 72 l/s/km^2 . Por otro lado, los ríos más caudalosos del país son: Changuinola ($270 \text{ m}^3/\text{s}$), Sixaola ($270 \text{ m}^3/\text{s}$), Bayano ($241 \text{ m}^3/\text{s}$), Chiriquí ($187 \text{ m}^3/\text{s}$), Chucunaque ($183 \text{ m}^3/\text{s}$), Chagres ($167 \text{ m}^3/\text{s}$), Santa María ($140 \text{ m}^3/\text{s}$), (ANAM 2011).

3.0 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales y Equipos

Para la realización del presente estudio se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Hojas cartográficas: Llano de Piedra (N° 4038 – I), Guaniquito (N° 4038 – II), Llano Mariato (N° 4038 – IV), Ave María (N° 4137 – IV), Tonosí (N° 4138 – III), Valle Riquito (N° 4138 – IV); a escala 1:50000 (curvas de nivel a cada 20 metros) del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”.
- Computadora personal.
- Calculadora científica.
- Papelería, bolígrafos y lápices.
- Software ofimático, Microsoft Office 2016 (Excel, Word y Power point).
- Software de dibujo, diseño y otros, AutoCAD 2016 y AutoCAD Civil 3d 2016.

3.1.1 Información Hidrometeorológica

La información hidrometeorológica para el presente estudio se obtuvo de la base de datos de la Gerencia de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA). A continuación, se detalla dicha información:

- **Clima:** la información climática utilizada para describir las variables como precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, brillo solar, velocidad del viento y evaporación; corresponde a un total de cinco estaciones

climáticas, cuatro de ellas se ubican en la cuenca del río Tonosí y la estación restante, se ubica en la cuenca del río La Villa (ver CUADRO I y ANEXO XXIV).

- **Precipitación:** la información pluviométrica utilizada en el estudio, corresponde a un total de nueve estaciones pluviométricas, cuatro de ellas se ubican en la cuenca del río Tonosí, una en la cuenca de los ríos entre el San Pedro y Tonosí, y las últimas cuatro, se ubican en la cuenca del río La Villa (ver CUADRO I y ANEXO XXIV).
- **Caudales:** la información hidrométrica utilizada en el estudio, corresponde a un total de dos estaciones hidrométricas, una de ellas ubicada en la cuenca del río Tonosí y la restante estación ubicada en la cuenca del río La Villa (ver CUADRO II y ANEXO XXIV).

CUADRO I. ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA LA DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA Y EL ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO.

Código	Nombre	Tipo de Estación*	Elevación (msnm)	Fecha de Instalación	Fecha de Suspensión	Coordenadas Geográficas	
						Lat. (N)	Long. (W)
122-005	Guanico Abajo	PV	10	01/04/1974	01/12/1998	7° 18' 00"	80° 26' 00"
124-002	La Llana	PV	60	01/09/1966	-	7° 30' 07"	80° 33' 03"
124-004	Tonosí 2	B	12	01/06/1971	30/05/2013	7° 24' 00"	80° 27' 00"
124-005	El Cortezo	PV	150	01/04/1974	01/03/2000	7° 25' 00"	80° 38' 00"
124-006	Altos de Guerra	PV	220	01/04/1974	30/12/1998	7° 33' 00"	80° 37' 00"
128-001	Los Santos**	A	16	01/10/1964	-	7° 56' 27"	80° 25' 03"
128-004	Macaracas	PG	111	01/05/1955	31/05/2013	7° 44' 00"	80° 33' 00"
128-005	La Mesa de Macaracas	PV	180	01/05/1959	01/12/1998	7° 38' 00"	80° 37' 00"
128-011	Llano de Piedra	PV	150	01/08/1972	01/03/2000	7° 39' 00"	80° 34' 00"
128-012	Pitaloza Arriba	PV	380	01/11/1972	01/03/2000	7° 38' 00"	80° 40' 00"

Fuente: Elaboración propia.

* Pv: Pluviométrica, PG: Pluviográfica, A: Principal y B: Secundaria.

** Solo se utilizaron los datos de radiación solar, brillo solar y velocidad del viento a 10 metros de altura.

CUADRO II. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO.

Código	Río	Tipo de Estación*	Elevación (msnm)	Fecha de Instalación	Fecha de Suspensión	Área de drenaje (Km ²)	Coordenadas	
							Lat. (N)	Long. (W)
124-01-02	Tonosí	LM	50	01/11/1980	18/09/2000	135	7° 28' 00"	80° 36' 00"
128-01-01	La Villa	LG	80	01/05/1959	-	512	7° 43' 54"	80° 33' 28"

Fuente: Elaboración propia.

* LG: Limnigráfica, LM: Limnimétrica.

3.2 Metodología

3.2.1 Localización y Demarcación del Área en Estudio

La localización de la cuenca del río Tonosí se determinó a través de la utilización de las siguientes hojas cartográficas: Llano de Piedra (N° 4038 – I), Guaniquito (N° 4038 – II), Llano Mariato (N° 4038 – IV), Ave María (N° 4137 – IV), Tonosí (N° 4138 – III), Valle Riquito (N° 4138 – IV); a escala 1:50000 (curvas de nivel a cada 20 metros) del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”.

En referencia a la demarcación (división) político – administrativa de la cuenca del río Tonosí se utilizó el mapa de la división administrativa de la República de Panamá a escala 1:250000, confeccionado por el Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” (IGNTG 2000), el cual permitió determinar las provincias, distritos y corregimientos que ocupan la superficie territorial de la cuenca. Por otra parte, para la demarcación hidrográfica de la cuenca del río Tonosí se utilizó el mapa de cuencas hidrográficas de la República de Panamá confeccionado por la

Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA 2007), el cual permitió ubicar las cuencas hidrográficas colindantes a la cuenca del río Tonosí.

3.2.2 Geología

Para la descripción geológica de la cuenca del río Tonosí se utilizó el mapa geológico de la República de Panamá a escala 1:250000 confeccionado por MICI (1990) y el trabajo de tesis de Morales (1998), los cuales permitieron detallar los rasgos más sobresalientes desde el punto de vista litológico y tectónico de la cuenca.

3.2.3 Altimetría

Para la descripción altimétrica (elevación) de la cuenca del río Tonosí se utilizaron las hojas cartográficas a escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” antes mencionadas, las cuales permitieron determinar los puntos de elevación más notables en la cuenca. Adicionalmente, se utilizó el software AutoCAD Civil 3d 2016, con el propósito de determinar la superficie territorial parcial comprendida entre las curvas de nivel establecidas dentro de la cuenca, a una equidistancia de 100 metros.

3.2.4 Pendiente

Para la descripción de la pendiente de la cuenca del río Tonosí se utilizó el software AutoCAD Civil 3d 2016, el cual permitió generar los diversos rangos de pendiente existentes en la superficie territorial de la cuenca del río Tonosí.

3.2.5 Hidrografía

Para la descripción de la red hidrográfica de la cuenca del río Tonosí se utilizaron las hojas cartográficas a escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” ya antes mencionadas, las cuales permitieron determinar los principales afluentes o tributarios (subcuencas, microcuencas y otros) del río Tonosí.

3.2.6 Capacidad Agrológica de los Suelos

Para la descripción de la capacidad agrológica de los suelos se utilizó el mapa de la capacidad agrológica de los suelos de la República de Panamá a escala 1:1000000 presentado por IGNTG (2007) y el trabajo de tesis de Morales (1998), los cuales permitieron determinar las clases de uso de suelos existentes en la cuenca, las principales características edafológicas, la vocación de uso, orígenes y otros.

3.2.7 Cobertura y Uso Actual de la Tierra

Para la descripción de la cobertura y uso actual de la tierra se utilizó el mapa de cobertura y uso actual de la tierra de la República de Panamá a escala 1:50000, confeccionado por ANAM (2015), el cual permitió determinar la superficie territorial ocupada por las diversas coberturas y los diferentes usos actuales de la tierra presentes en la cuenca del río Tonosí.

3.2.8 Clima

La descripción general de las variables climáticas se realizó utilizando los registros históricos de las observaciones meteorológicas correspondientes a las cinco estaciones meteorológicas ya antes mencionadas (ver CUADRO III). Dichas

estaciones fueron seleccionadas por presentar registros de 20 años de observaciones como mínimo para la precipitación y entre cinco a 10 años para la evaporación, temperatura, humedad relativa, viento, radiación solar y brillo solar.

La variable climática precipitación fue descrita utilizando únicamente los registros de las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la cuenca del río Tonosí, con el propósito de mostrar de forma muy general la distribución mensual de la precipitación y sus totales anuales. Con respecto a la variable temperatura, fue descrita según las tres zonas funcionales de la cuenca del río Tonosí. En cada zona se calcularon las temperaturas promedios, máximas promedio y mínimas promedio para cada mes del año, utilizando el concepto del gradiente vertical térmico, tomando como referencia las temperaturas de la estación Tonosí 2 (124 – 004). A continuación, se presentan los gradientes verticales térmicos mensuales calculados para la cuenca del río Tonosí:

CUADRO III. RESUMEN DE LOS GRADIENTES VERTICALES TÉRMICOS MENSUALES (°C/100 m) PARA CADA CLASE DE TEMPERATURA EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Tem.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
Prom.	0.6829	0.7207	0.7110	0.6963	0.5962	0.5676	0.5640	0.5587	0.5493	0.5597	0.5756	0.6376	0.6183
Máx.	0.8294	0.8586	0.8354	0.8220	0.6865	0.6080	0.6310	0.6287	0.6094	0.6182	0.6491	0.7479	0.7104
Mín.	0.5405	0.5625	0.5814	0.5836	0.5478	0.5174	0.4938	0.4844	0.4852	0.4941	0.4972	0.6096	0.5331

Fuente: Elaboración propia.

En referencia a las variables humedad relativa y evaporación, fueron descritas mediante los registros de la estación meteorológica Tonosí 2. Por otra parte, las variables climáticas como radiación solar, brillo solar y velocidad del viento a 10 metros de altura; son registradas únicamente por la estación meteorológica Tipo A cerro Quema; sin embargo, no se pudo disponer de dichos registros para esta descripción y demás análisis, por lo tanto, se tuvo que ubicar la estación más cercana en el área que si registrara estas variables, esta fue la estación Los Santos (128 – 001).

Es importante mencionar, que dichos registros históricos presentaron datos faltantes, que se deben a daños en los aparatos de medición o por la falta del personal encargado de las lecturas diarias. En vista de esta situación, para esta descripción no se decidió realizar ningún relleno de datos faltantes para alguna de las variables climáticas descritas.

3.2.9 Procedimientos para el Desarrollo del Estudio

Para cumplir con los objetivos o metas trazadas para el desarrollo de este estudio, se plantearon las siguientes etapas:

Visitas en campo

- Características generales: se tomó apuntes sobre las características geomorfológicas, cobertura vegetal, características más importantes de las fuentes hídricas superficiales, entre otros.
- Estaciones hidrometeorológicas: se realizó una visita a las estaciones hidrometeorológicas de estudio más accesibles, donde se evaluó su estado

actual de funcionamiento, tipo de mediciones que realizan, estado de conservación y operación.

- Obras en cauce: se evaluó la existencia de obras de represamiento y/o almacenamientos, infraestructuras de riego, centrales hidroeléctricas, obras de uso poblacional, recreación, entre otros.

Recolección y revisión de la información

- Estudios anteriormente realizados: se solicitó información en las instituciones gubernamentales y privadas, de todos los estudios hidrológicos y otros estudios afines al uso del agua, realizados anteriormente en la cuenca hidrográfica y adyacentes a ella, recopilando la información de mayor importancia.
- Cartografía: los mapas topográficos (impresos y/o digital), a escala 1:50000, georreferenciados al DATUM NAD27 - Canal Zone, se obtuvieron a través del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” (IGNTG).
- Material bibliográfico: se revisó la información bibliográfica disponible para la selección de las metodologías más adecuadas para el cálculo y análisis de las variables hidrometeorológicas después del procesamiento de datos.

Trabajo de gabinete u oficina

- Zonificación de la cuenca hidrográfica: se efectuó la zonificación de la cuenca hidrográfica (parte alta, parte media y parte baja), mediante el uso de las hojas cartográficas, utilizando el software AutoCAD 2016 como herramienta de digitalización.

- Procesamiento de la información: los datos hidrometeorológicos recopilados, fueron ordenados y agrupados para una mejor utilización y manipulación de los mismos, para proseguir luego con la homogeneización de los datos, cálculo de la estadística base y otros análisis complementarios.
- Características climatológicas: se describió las principales variables climáticas, tales como: (1) precipitación, (2) temperatura, (3) humedad relativa, (4) viento, (5) radiación y brillo solar, (6) evaporación y otros; con base a las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca hidrográfica y la más cercanas a la misma.
- Características morfométricas: se calculó los principales parámetros e índices morfométricos, tales como: (1) generales, (2) forma, (3) relieve, (4) red hidrográfica, permitiendo una descripción más detallada de la cuenca hidrográfica, desde el punto de vista fisiográfico.
- Cálculo y análisis de las variables: al culminar el procesamiento de la información, se procedió a calcular diversas variables hidrometeorológicas con las metodologías más adecuadas, las cuales permitieran analizar el comportamiento y disponibilidad tanto para la precipitación como el caudal, tomado en cuenta el período en estudio a analizar.

3.3 Parámetros y Variables a Analizar

3.3.1 Morfometría de Cuencas

La información de carácter morfométrico se determinó mediante la utilización de las hojas cartográficas a escala 1:50000; correspondientes a la cuenca del río Tonosí, suministrando la información necesaria para la realización de los diversos

cálculos, cuadros y gráficas de los parámetros³ e índices⁴ morfométricos presentados en el estudio, los cuales se dividieron en cuatro grupos: (1) parámetros generales, (2) parámetros de forma, (3) parámetros de relieve y (4) parámetros de la red hidrográfica. Por otra parte, la delimitación de la cuenca hidrográfica se efectuó a través del Software AutoCAD 2016, el cual facilitó y minimizó el tiempo de trabajo en el proceso de delimitación de la cuenca. Adicionalmente, la utilización del Software proporcionó una precisión muy alta en la realización de las mediciones sobre los mapas topográficos, permitiendo obtener resultados más coherentes y razonables en los cálculos de los diversos parámetros e índices morfométricos.

3.3.1.1 Parámetros Generales de la Cuenca

El análisis o caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica debe iniciarse con la determinación de ciertos parámetros básicos e indispensables para el cálculo posterior de otros índices morfométricos. Dichos parámetros permiten establecer en primera instancia la magnitud, naturaleza y comportamiento de la unidad hidrográfica a analizar. Los parámetros generales utilizados se presentan a continuación: (1) área total de la cuenca, (2) perímetro, (3) longitud del cauce principal, (4) longitud de máximo recorrido, (5) longitud axial, (6) elevación máxima de la cuenca, (7) elevación mínima de la cuenca y (8) desnivel total de la cuenca (ver CUADRO IV).

³ Se entienden como valores absolutos obtenidos de mediciones directas, por ejemplo: área, longitud, número de cauces y otros (Romero y López 1987).

⁴ Se entienden como el resultado de la combinación de varios parámetros, por ejemplo: razón de elongación, coeficiente de Gravelius, frecuencia de corrientes y otros (Romero y López 1987).

3.3.1.2 Parámetros de Forma de la Cuenca

Los parámetros de forma e índices utilizados para evaluar la uniformidad o irregularidad de los contornos de la cuenca del río Tonosí, se presentan a continuación: (1) ancho medio, (2) factor de forma, (3) relación de elongación, (4) índice de compacidad o coeficiente de Gravelius, (5) relación de circularidad y (6) rectángulo equivalente (ver CUADRO V).

3.3.1.3 Parámetros de Relieve de la Cuenca

Los parámetros e índices de relieve utilizados para determinar la topografía general de la cuenca y la del cauce principal del río Tonosí, se presentan a continuación: (1) pendiente de la cuenca: criterio Alvord, criterio del rectángulo equivalente y el índice de pendiente de M. Roche; (2) pendiente del cauce principal: criterio Taylor y Schwarz, y el criterio de pendiente uniforme; (3) altitud media de la cuenca y (4) la integral hipsométrica (ver CUADRO VI).

3.3.1.3.1 Tiempo de Concentración (T_c)

Para el cálculo del tiempo de concentración de cada unidad hidrográfica analizada, se utilizaron diversas fórmulas empíricas desarrolladas a partir de diferentes métodos matemáticos basados en las características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica. Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes: (1) Kirpich, (2) Témez, (3) Bransby – Williams, (4) Passini, (5) Giandotti y (6) Pilgrim, y McDermott, sugeridas por Ponce (1994), y Vélez y Botero (2010).

➤ **Fórmula de Kirpich**

$$T_c = \frac{0.06628 * L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración en horas.

L : Longitud de máximo recorrido del agua, (Km).

S : Pendiente del cauce de máximo recorrido, (m/m).

➤ **Fórmula de Bransby – Williams**

$$T_c = 14.6 * L * A^{-0.1} * S^{-0.2}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración en minutos.

L : Longitud de máximo recorrido del agua, (Km).

A : Área de captación de la cuenca, (Km²).

S : Pendiente del cauce de máximo recorrido, (m/m).

➤ **Fórmula de Témez**

$$T_c = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración en horas.

L : Longitud de máximo recorrido del agua, (Km).

S : Pendiente del cauce de máximo recorrido, (m/m).

➤ **Fórmula de Passini**

$$T_c = \frac{\left[0.108 * (A * L)^{\frac{1}{3}} \right]}{S^{0.5}}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración en horas.

L : Longitud de máximo recorrido del agua, (Km).

A : Área de la cuenca, (Km²).

S : Pendiente del cauce de máximo recorrido, (m/m).

➤ **Fórmula Giandotti**

$$T_c = \frac{4 * \sqrt{A} + 1.5 * L}{25.3 * \sqrt{S * L}}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración en horas.

L : Longitud de máximo recorrido del agua, (Km).

A : Área de la cuenca, (Km²).

S : Pendiente del cauce de máximo recorrido, (m/m).

➤ **Fórmula Pilgrim y McDermott**

$$T_c = 0.76 * A^{0.38}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración en horas.

A : Área de la cuenca, (Km²).

3.3.1.4 Parámetros de la Red Hidrográfica de la Cuenca

Los parámetros e índices de la red hidrográfica utilizados para evaluar la respuesta hidrológica de la cuenca ante un evento de precipitación a través de la red de canales o corrientes, se presentan a continuación: (1) número de corrientes de un orden, (2) número total de corrientes de diferentes órdenes, (3) longitud total de las corrientes de un orden, (4) longitud total de las corrientes de diferentes órdenes, (5) relación de bifurcación, (6) frecuencias de corrientes, (7) densidad de drenaje, (8) sinuosidad del cauce principal, (9) textura de drenaje y (10) longitud promedio del flujo superficial (ver CUADRO VII).

CUADRO IV. PARÁMETROS GENERALES DE LA CUENCA.

Símbolo	Parámetro	Definición	Fórmula	Unidad	Fuente
A	Área	Superficie o área proyectada en un plano horizontal, de forma muy irregular y se obtiene después de delimitar la cuenca.	-	Km ²	Villón (2004)
P	Perímetro	Longitud total de la línea de la divisoria o parteaguas de la cuenca.	-	Km	Ortiz (2004)
L_c	Longitud del cauce principal	Distancia que recorre el cauce principal de la cuenca entre su punto de nacimiento y el punto de salida o de interés. En él van a drenar todos los afluentes y quebradas de la cuenca.	-	Km	Autoría Propia
L_m	Longitud de máximo recorrido	Mayor trayectoria de las partículas del flujo comprendida entre el punto más bajo del colector común, conocido como punto emisor, y el punto más alto o inicio del recorrido sobre la divisoria de aguas.	-	Km	Ortiz (2004)
L_a	Longitud axial	Distancia en línea recta entre el punto de salida de la cuenca y el punto del perímetro más alejado de éste y que, en la mayoría de las ocasiones, coincidirá con la prolongación del cauce principal.	-	Km	Montserrat (1985)
E_{max}	Elevación máxima de la cuenca	Cota o punto de mayor elevación en la cuenca.	-	msnm	Autoría propia
E_{min}	Elevación mínima de la cuenca	Cota o punto de menor elevación en la cuenca.	-	msnm	Autoría propia
D_t	Desnivel total de la cuenca	Diferencia entre la elevación máxima y la elevación mínima de la cuenca.	$D_t = E_{max} - E_{min}$	m	Autoría propia

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO V. PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA.

Símbolo	Parámetro	Definición	Fórmula	Unidad	Fuente
A_m	Ancho medio	Es la relación entre el área total de la cuenca (A), y la longitud axial (L_a).	$A_m = \frac{A}{L_a}$	Km	Cahuana y Yugar (2009)
F_f	Factor de forma	Es la relación entre el ancho medio de la cuenca (A_m), y la longitud axial (L_a).	$F_f = \frac{A_m}{L_a} o \frac{A}{L_a^2}$	Adimensional, en torno a 1	Villón (2004)
R_e	Relación de elongación	Es la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la cuenca (A), y la longitud axial (L_a).	$R_e = 1.1284 * \left(\frac{\sqrt{A}}{L_a} \right)$	Adimensional, en torno a 1	Cahuana y Yugar (2009)
K_c	Coefficiente de Gravelius	Relaciona el perímetro de la cuenca (P), y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca (A).	$K_c = 0.28 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$	Adimensional, en torno a 1	Ortiz (2004)
R_{ci}	Relación de circularidad	Es el cociente entre el área de la cuenca (A), y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca.	$R_{ci} = \frac{4 * \pi * A}{P^2}$	Adimensional, en torno a 1	Cahuana y Yugar (2009)
L y l	Rectángulo equivalente	Es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro, igual distribución de alturas, e igual distribución de terreno.	$L = \frac{I_c \sqrt{A}}{1.128} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{I_c} \right)^2} \right]$ $l = \frac{I_c \sqrt{A}}{1.128} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{I_c} \right)^2} \right]$	Km, (L y l)	Cahuana y Yugar (2009)

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO VI. PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA.

Símbolo	Parámetro	Definición	Fórmula	Unidad	Fuente
I_p	Pendiente de la cuenca (criterio J.W. Alvord)	Es la relación del producto de la equidistancia entre de curvas de nivel (D), por la longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca (L_n), dividido por el área de la cuenca (A).	$I_p = \left(\frac{D * L_n}{A} \right) * 100$	%	Campos Aranda (1983)
	Pendiente de la cuenca (criterio del Rectángulo Equivalente)	Es la relación entre el desnivel total de la cuenca (D_t), y el lado menor del rectángulo equivalente (l).	$I_p = \left(\frac{D_t}{l} \right) * 100$	%	MA (2007)
	Pendiente de la cuenca (criterio del índice de Pendiente)	Es un valor medio de las pendientes de la cuenca y se deduce a partir del rectángulo equivalente (Lado Mayor).	$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} * \frac{1}{\sqrt{L}}$	%	Villón (2004)
I_c	Pendiente del cauce principal (criterio Taylor y Schwars)	Considera que el cauce puede estar formado por una serie de tramos de igual longitud o bien por tramos de longitud variable (n), y cada uno de ellos con pendiente uniforme (S).	$S_c = \left[\left(\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right)^2 \right] * 100$	%	Breña y Jacobo (2006)
	Pendiente del cauce principal (criterio Pendiente Uniforme)	Relación entre el desnivel que hay entre los extremos del cauce (H), y la proyección horizontal de su longitud (L_c).	$S_c = \left(\frac{H}{L_c} \right) * 100$	%	Villón (2004)
$\bar{H}$	Altitud media	Es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50 % del área de la cuenca está situada por encima de esa altitud y el 50 % está situado por debajo de ella.	-	msnm	MA (2007)

Continúa...

CONTINUACIÓN: CUADRO VI. PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA.

Símbolo	Parámetro	Definición	Fórmula	Unidad	Fuente
$\bar{H}_f$	Altitud más frecuente	Es el máximo valor en porcentaje de la curva o polígono de frecuencia altimétricas.	-	msnm	MA (2007)
IH	Integral hipsométrica	Es la relación de la diferencia de la altitud media ($\bar{H}$) y elevación mínima de la cuenca (E_{min}), dividido por la diferencia entre la elevación máxima (E_{max}) y la elevación mínima (E_{min}).	$IH = \frac{\bar{H} - E_{min}}{E_{max} - E_{min}}$	Adimensional, en torno a 1	Sarp, Toprak, Duzgun (2010)
L_n	Longitud total de las curvas de nivel (equidistancia D=100 m)	Es la sumatoria total del recorrido de todas las curvas de nivel a una equidistancia de 100 metros dentro de la cuenca.	-	Km	MA (2007)

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO VII. PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA.

Símbolo	Parámetro	Definición	Fórmula	Unidad	Fuente
N_u	Número de corrientes de un orden	Número total de corrientes de orden (U), que presenta la red de drenaje de la cuenca.	-	1	Strahler (1964)
N_{ut}	Número total de corrientes de diferentes órdenes	Número total de corrientes de todos los órdenes, que presenta la red de drenaje de la cuenca.	$N_{ut} = \sum_{i=1}^k N_u$	1	Strahler (1964)
L_u	Longitud total de las corrientes de un orden	Longitud total de las corrientes de orden (U), que presenta la red de drenaje de la cuenca.	-	Km	Strahler (1964)
L_{ut}	Longitud total de las corrientes de diferentes órdenes	Longitud total de las corrientes de todos los órdenes, que presenta la red de drenaje de la cuenca.	$L_{ut} = \sum_{i=1}^k L_u$	Km	Strahler (1964)
R_b	Relación de bifurcación	Antilogaritmo natural de la pendiente de la recta de regresión, entre el número de orden de las corrientes (U), y el número de corrientes de cada orden (N_u).	$R_b = AntiLn^{-1}(b)$	Adimensional, en torno a 1	Strahler (1964)
F_c	Frecuencias de cauces	Es la relación entre número total de corrientes de diferentes órdenes (N_{ut}), y la superficie de la cuenca (A).	$F_c = \frac{N_{ut}}{A}$	Corrientes/Km ²	Strahler (1964)
D_d	Densidad de drenaje	Es la relación entre la longitud total de los corrientes de diferentes órdenes (L_{ut}), y la superficie de la cuenca (A).	$D_d = \frac{L_{ut}}{A}$	Km/Km ²	Strahler (1964)

Continúa...

CONTINUACIÓN: CUADRO VII. PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA.

Símbolo	Parámetro	Definición	Fórmula	Unidad	Fuente
S_i	Sinuosidad del cauce principal	Es la relación que existe entre la longitud del cauce principal (L_c), y la longitud del valle del cauce principal medido en línea recta o curva, (L_p).	$S_i = \frac{L}{L_p}$	Adimensional, en torno a 1	Cahuana y Yugar (2009)
T_d	Textura de drenaje	Es la relación entre el número total número total de corrientes de diferentes órdenes (N_{ut}) y el perímetro de la cuenca (P).	$T_d = \frac{N_{ut}}{P}$	Adimensional, en torno a 1	Palaka (2014)
L_o	Longitud promedio del flujo superficial	Es la relación inversa de dos veces la densidad de drenaje (D_d), por la raíz cuadrada de la diferencia de una unidad y la división de la pendiente del cauce principal (I_c), y la pendiente del terreno (I_p), elevada a la potencia dos.	$L_o = \left(\frac{1}{2 * D_d * \sqrt{1 - \left(\frac{I_c}{I_p}\right)^2}} \right) * 1000$	m	Horton (1945)

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Análisis Pluviométrico

3.3.2.1 Selección de las Estaciones Pluviométricas y el Período de Registro Óptimo de Observaciones

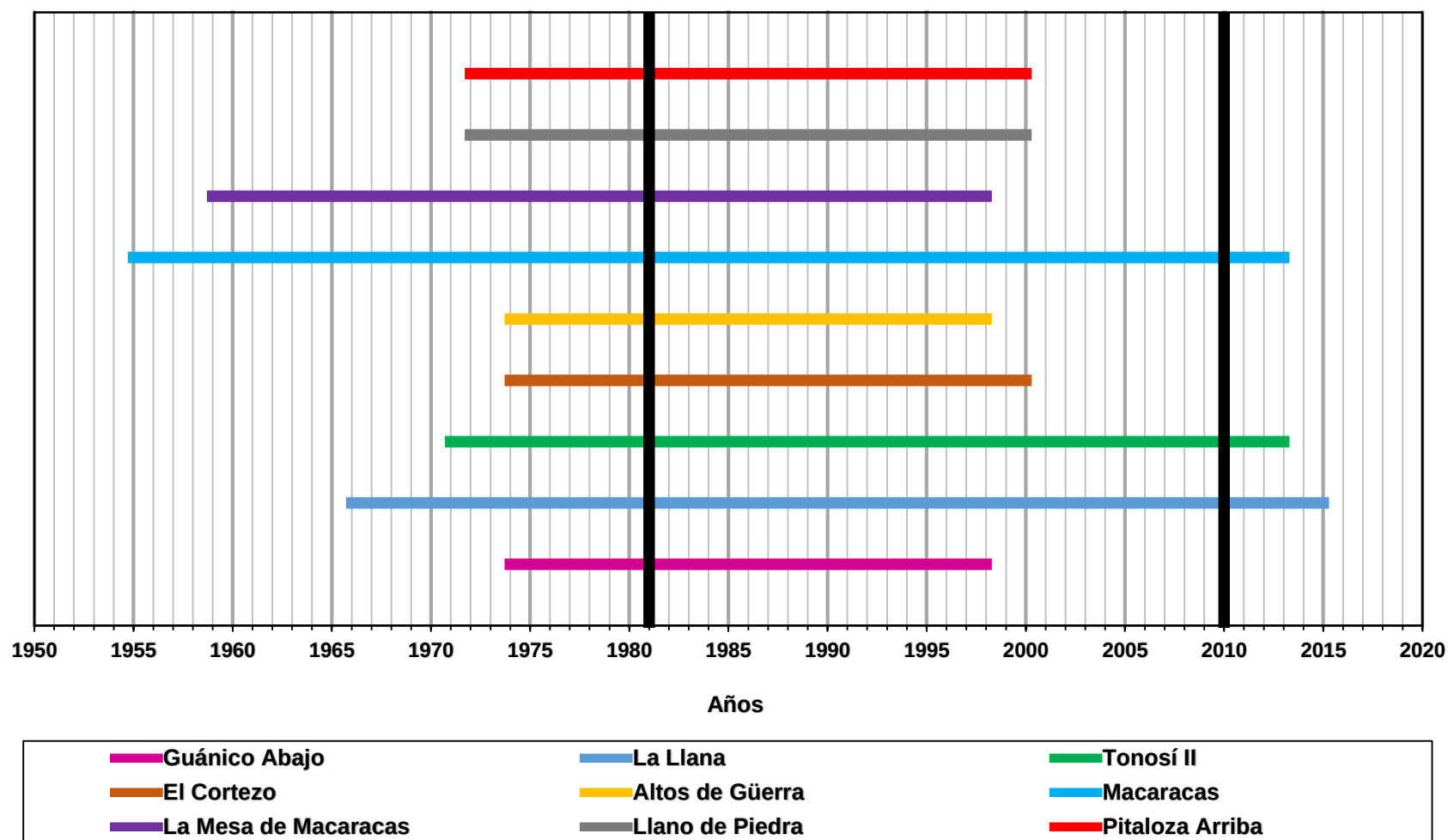
El análisis pluviométrico se realizó inicialmente seleccionando las estaciones pluviométricas ubicadas dentro y en las cercanías de la cuenca del río Tonosí, las cuales presentaran un registro de 20 años de observaciones como mínimo y que tuvieran influencia en algún sector de la cuenca. En total nueve estaciones se consideraron para este análisis, cuatro estaciones ubicadas dentro de la cuenca del río Tonosí, estas son: (1) La Llana, (2) Tonosí 2, (3) El Cortezo, y (4) Altos de Güera. Cuatro estaciones ubicadas en las cercanías de la cuenca, con influencia en algún sector de la misma, estas son: (1) Guánico Abajo, perteneciente a la cuenca de los ríos entre el San Pedro y el Tonosí; (2) La Mesa de Macaracas, (3) Llano de Piedra, (4) Pitaloza Arriba y (5) Macaracas, siendo la única estación con ninguna influencia en algún sector de la cuenca; se utilizó únicamente en el relleno de datos faltantes, análisis de consistencia y extensión de series pluviométricas. Las últimas cuatro estaciones mencionadas pertenecen a la cuenca del río La Villa.

Es conveniente mencionar, que se sabe de la existencia de dos estaciones recientemente instaladas, estas son cerro Quema (124 – 007) y Güera (124 – 008), sin embargo, no se consideraron para este análisis ya que la longitud de sus registros es muy corta. De igual manera, la estación suspendida Tonosí (124 – 001) no se utilizó, debido a que no se disponía de la totalidad de los registros existentes.

Con respecto a la selección del período de registro óptimo de observaciones o el período básico normalizado de observaciones comprendido para este análisis pluviométrico, fue necesario considerar la longitud y distribución de la serie histórica pluviométrica de cada estación, y que el período seleccionado comprendiera como mínimo 30 años de registro en donde la mayoría de las estaciones presentaran datos, siendo los más actuales a la fecha.

Según la FIGURA 1, el período de registro óptimo de observaciones seleccionado para la realización del análisis pluviométrico fue de 30 años, iniciando en el año 1981 y finalizando en el año 2010, obteniendo así tres períodos decadales (1981 - 1990, 1991 - 2000 y 2001 - 2010). Es importante mencionar, que los registros de seis de las nueve estaciones pluviométricas, fueron extendidos para completar los 30 años de análisis.

FIGURA 1. SERIES PLUVIOMÉTRICAS DISPONIBLES.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2 Homogeneización de Series Pluviométricas

3.3.2.2.1 Relleno de Datos Faltantes

Muchas veces las estaciones pueden dejar de registrar información en algunos períodos de tiempo, debido a fallas en los instrumentos o por ausencia del observador. Esta información dejada de registrar puede ser indispensable para el análisis de fenómenos que involucren la precipitación, por tanto, se han desarrollado algunos métodos sencillos para la estimación de la información pluviométrica faltante ya sea diaria, mensual o anual (Cahuana y Yugar 2009).

Para este fin, se utilizó el método de la relación normalizada sugerido por Campos Aranda (1983), el cual se aplicó cuando la precipitación media anual de cualquiera de las estaciones auxiliares difería en más de un 10 % de la medida en la estación incompleta. El dato faltante (diario o mensual) era estimado a partir de los valores observados en las estaciones auxiliares, los cuales eran ponderados mediante las relaciones o cocientes a la precipitación media anual correspondiente. Contrariamente a lo dicho, si la precipitación media anual de cada una de las estaciones auxiliares estaba dentro de un 10 % de la registrada en la estación incompleta, se realizaba un promedio aritmético simple con los datos observados de las tres estaciones para la misma fecha que la faltante, permitiendo así estimar el dato diario o mensual en la estación incompleta.

La fórmula del método de la relación normalizada es la siguiente:

$$P_X = \frac{1}{3} * \left(\frac{N_X}{N_A} * P_A + \frac{N_X}{N_B} * P_B + \frac{N_X}{N_C} * P_C \right)$$

Donde:

P_X : Precipitación diaria, mensual o anual estimada, en mm.

N_X : Precipitación media anual en la estación incompleta, en mm.

$N_A, N_B, y N_C$: Precipitación media anual en las estaciones auxiliares A, B y C, en mm.

$P_A, P_B y P_C$: Precipitación diaria, mensual o anual, observada en las estaciones A, B y C para la misma fecha que la faltante, en mm.

En caso de que una o dos de las estaciones cercanas no tuviesen datos, se realizó la correlación con la o las estaciones con dato; en caso de que solamente hubiese una estación con datos, se cambió el valor $1/3$ por 1 , mientras que cuando había solamente dos estaciones con datos, se cambió el valor de $1/3$ por $1/2$.

3.3.2.2.2 Análisis de Consistencia de los Registros

Según Villón (2006), antes de utilizar la serie histórica para el modelamiento, es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener una serie confiable, es decir consistente. El análisis de consistencia de la información hidrometeorológica disponible, es el proceso de identificación o detección, descripción y remoción de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrometeorológica. Para este fin, como primer paso se utilizó el coeficiente de variación y posteriormente el análisis de la curva doble acumulada o de doble acumulación.

3.3.2.2.2.1 Estimación de la Calidad de los Datos

La estimación de la calidad de los datos de precipitación registrados por parte de las estaciones pluviométricas se realizó a través del coeficiente de variación (Cv). Esta variable estadística permitió diferenciar en primera instancia, si una estación

es considerada como confiable de las que seguramente no lo son, mediante las series anuales de precipitación, registradas por las estaciones.

Según el estudio realizado en Colombia por Oster (1979), establece que este coeficiente no debe exceder de 0.25 para zonas montañosas y 0.20 para zonas bajas. Es importante mencionar, que como parte de Colombia está situado a la misma latitud que Panamá y los regímenes pluviométricos son parecidos, se puede entonces suponer que los valores de coeficiente de variación son similares y pueden utilizarse como referencia en Panamá. De forma general, si el coeficiente de variación de la estación en estudio supera el valor de 0.25, deberá someterse dicha estación a un proceso de verificación de la consistencia (curva doble acumulada u otro método) para aquellos datos dudosos.

3.3.2.2.2 Curva Doble Acumulada (CDA)

El análisis de la curva doble acumulada o doble masa sugerido por Campos Aranda (1983), se aplicó para determinar la consistencia de los datos, mediante la comparación de los datos de la estación en estudio, con aquellos datos de otra estación o grupos de estaciones que se toman como patrón.

La teoría de la curva doble masa o curva de dobles acumulaciones establece que, al representar en unos ejes coordenados, las parejas de valores definidos por las acumulaciones sucesivas de cada serie, define una colección de puntos cuya línea que los une es una recta, si las magnitudes de las dos series son proporcionales. Si se produce un cambio en la pendiente de la curva de doble acumulaciones es que ha ocurrido una alteración en la proporcionalidad, el punto

de quiebre indicara el momento en que ocurrió el cambio y la diferencia de pendiente, podrá servir para corregir el tramo inconsistente.

3.3.2.2.3 Extensión de Series

Según Villón (2006), la extensión de información es el proceso de transferencia de información desde una estación con un “largo” registro histórico, a otra con un “corto” registro. El relleno o completación de datos es el proceso por el cual se llenan huecos que existen en un registro de datos. El relleno es un caso particular de la extensión.

La extensión de datos es más importante que el relleno, por cuanto modifica sustancialmente a los estimadores de los parámetros poblacionales, por ejemplo, la media de una muestra corta será diferente a la media de una muestra extendida. Por otra parte, es importante hacer la salvedad, que nada puede sustituir el dato directo, de ahí que cualquier técnica solo puede servir para proporcionar información aproximada, la que deberá ser verificada cada vez que la acumulación de nuevos datos permita mejorar los cálculos.

Para este fin, se utilizó el análisis de regresión lineal sugerido por Pizarro *et al.* (s.f.), el cual se aplicó únicamente para extender las series pluviométricas mensuales hasta el año 2010 (finalización del período en estudio) y no para rellenar. Este método se recomienda para la estimación de datos faltantes y extensión de series, ya sean mensuales o anuales. Para dicha estimación, se requiere establecer una regresión y correlación lineal entre una estación patrón

que cuente con una estadística larga y consistente, y la estación que tenga carencia de información, mediante una ecuación lineal de dos variables, del tipo:

$$Y = a + bx$$

Donde:

Y : Valor estimado de la precipitación para la estación en estudio, en mm.

x : Valor de precipitación registrado en la estación patrón, en mm.

a, b : Constantes de regresión.

Este método a pesar de ser de muy fácil aplicación no puede ser aplicado indiscriminadamente, dado que es necesario saber si la calidad del ajuste es buena o mala. Por esta razón, es posible utilizar el coeficiente de correlación como una forma de establecer la calidad de los datos. Con la determinación del coeficiente de correlación (R), se puede estimar el grado de correlación lineal que existe entre la estación en estudio y la estación patrón, cuyo valor oscila entre -1 a 1 , donde el valor 0 indica una correlación nula, en tanto los valores 1 y -1 , denotan una correlación total.

En términos hidrometeorológicos, se considera aceptable una regresión cuyo valor de R sea mayor a $0,8$ ó menor que $-0,8$. Además deben utilizarse distintos métodos estadísticos, que permitan evaluar la calidad de los ajustes obtenidos.

3.3.2.3 Análisis Cronológico de la Precipitación

3.3.2.3.1 Régimen Pluviométrico

El régimen o comportamiento pluviométrico decenal y mensual de la cuenca del río Tonosí se determinó a través de la utilización del hietograma. Este gráfico de barras sugerido por Sánchez (2012), se define como un gráfico de forma

escalonada como un histograma, aunque a veces también se expresa como un gráfico lineal, el cual representa las variaciones decadales o mensuales de las lluvias expresadas en milímetros, en el eje de las ordenadas (y) y las décadas o los meses comprendidos en el año, en el eje de las abscisas (x).

3.3.2.3.2 Desvíos (Años Normales, Húmedos y Secos)

Para determinar los años normales, húmedos y secos se realizó el análisis de los desvíos. Dichos desvíos se representan en un gráfico de doble eje “Y”, en el cual se grafica la diferencia entre la precipitación anual y el promedio de la precipitación para un período determinado Y_1 , obteniéndose también para el otro eje Y_2 , los porcentajes de excedencia o déficit, siguiendo la metodología utilizada por Castañeda (1981) y Mora (2003).

3.3.2.3.3 Promedios Móviles y Tendencia Secular

Los promedios móviles, análisis sugerido por Campos Aranda (1983), permitió determinar los períodos con tendencia normal, húmeda y seca de las series pluviométricas. Dicha técnica reduce la variabilidad natural de la serie y facilita filtrar parte de la variabilidad entre años, estabilizando las series y detectando señales débiles y tendencias persistentes de larga duración.

Las series cronológicas de precipitación anual fueron analizadas con promedio móviles de orden cinco, esto es $N: 5$, a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N}, \frac{X_2 + X_3 + \dots + X_{n+1}}{N}, \frac{X_3 + X_4 + \dots + X_{n+2}}{N}$$

Las sumas de los numeradores de las ecuaciones anteriores se llaman sumas móviles de orden N y los resultados de cada cociente son los promedios móviles de orden N .

La tendencia secular, técnica sugerida por Castañeda (1981), permitió evaluar la tendencia de los totales anuales a través de la pendiente de la recta o línea de regresión. Dicha línea pone en evidencia la tendencia de los totales anuales bien sea que aumenten, disminuyan o permanezcan con tendencia constante según la pendiente de la recta sea positiva, negativa o cero. El ajuste de la recta se realiza por el método de los mínimos cuadrados obteniendo la siguiente ecuación:

$$Y = a + bx$$

Donde:

Y : Total anual precipitado, en mm.

x : N° de años a partir del año donde se inicia el período en estudio.

a, b : Constantes de regresión.

3.3.2.4 Análisis Espacial de la Precipitación

3.3.2.4.1 Óptimo Pluviométrico

Para determinar si existe alguna relación de la precipitación con la altitud se utilizó el óptimo pluviométrico empleado por Oster (1979), este tipo de gráfico expresa la variación de las precipitaciones promedio anuales con la altitud o relieve de la cuenca, permitiendo conocer la faja altitudinal donde se da la mayor incidencia por parte de la precipitación.

3.3.2.4.2 Precipitación Promedio de la Cuenca

Para la estimación de la precipitación promedio anual de la cuenca del río Tonosí se utilizó el método de las isoyetas sugerido por Villón (2004) y Campos Aranda (1983). Este método consiste en localizar en un mapa de tamaño adecuado las estaciones pluviométricas y sus cantidades de lluvia registradas, luego, se trazan las líneas de igual cantidad de precipitación (curvas de isoyetas). Dicho método es el más exacto, pero requiere cierto criterio para trazar el plano de isoyetas. Se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las isoyetas tendrán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Por supuesto, cuanto mayor sea el número de estaciones dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con la cual se trace el plano de isoyetas. La precipitación promedio sobre un área se evalúa ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas (comúnmente se toma el promedio) por el área entre isoyetas, esto es:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i$$

Donde:

P_{med} : Precipitación media de la zona o cuenca, en mm.

A_T : Área total de la cuenca, en Km².

A_i : Área parcial (Km²) comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i .

P_i : Precipitación de las isoyetas i , en mm.

n : Número de áreas parciales.

3.3.2.5 Curvas de Variación Estacional

Según Villón (2004), las curvas de variación de estacional proporcionan información sobre la distribución de los valores hidrometeorológicos con respecto

al tiempo y la probabilidad de que dichos eventos sean excedidos o igualados. Una de las aplicaciones prácticas de la construcción de las curvas de variación estacional es el cálculo del balance hídrico de una región, ya que permite determinar la disponibilidad ya sea caudal o precipitación, mes a mes, con cierta probabilidad de ocurrencia.

Para la elaboración de las curvas de variación estacional mensuales se utilizaron las puntuaciones estandarizadas o tipificadas de la curva de probabilidad normal. Para determinar las puntuaciones estandarizadas a utilizar fue necesario establecer a que probabilidades los eventos hidrometeorológicos fuesen igualados o excedidos, dichas probabilidades con sus correspondientes puntuaciones estándar fueron las siguientes: 5 % (Z= 1.645), 10 % (Z= 1.282), 25 % (Z= 0.674), 50 % (Z= 0.00), 75 % (Z= -0.674), 80 % (Z= -0.842), 85 % (Z= -1.036), 90 % (Z= -1.282) y 95 % (Z= -1.645). Ahora bien, dicha puntuación estándar correspondiente a cualquiera de las probabilidades de ocurrencia establecidas se introdujo en la fórmula llamada puntuación estándar o valores de Z, la cual permitió obtener el caudal o precipitación de interés con base a la probabilidad de ocurrencia seleccionada. La fórmula es la siguiente:

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{S}$$

Despejando x_i , la fórmula queda expresada de la siguiente forma:

$$x_i = \bar{x} + (Z * S)$$

Donde:

x_i : Caudal o precipitación estimada.

$\bar{x}$: Media aritmética de la serie de datos.

$\bar{Z}$: Puntuación estandariza o tipificada con base a la probabilidad de ocurrencia seleccionada.

S : Desviación estándar de la serie de datos.

3.3.2.6 Análisis de Frecuencia (Precipitación Máxima en 24 Horas)

El análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas se realizó mediante la utilización de la distribución teórica de probabilidad de Gumbel o valores extremos Tipo I, la cual permitió estimar con una determinada probabilidad la ocurrencia de una magnitud, en otras palabras, estimar la precipitación máxima en 24 horas para diversos períodos de retorno cada uno con su respectiva probabilidad de ocurrencia. Es conveniente mencionar, que para llegar a tales estimaciones fue necesario someter la serie de datos a una prueba de bondad de ajuste la cual permitiera comprobar que dichos datos se ajustan a tal distribución seleccionada. A continuación, se detalla de mejor forma la distribución teórica de probabilidad y la prueba de bondad de ajuste seleccionada, al igual que la distribución empírica de probabilidad, necesaria para el desarrollo de tal prueba.

3.3.2.6.1.1 Distribución Empírica de Probabilidad

Para calcular la probabilidad empírica de la serie de precipitación máxima en 24 horas se utilizó la formula empírica de Weibull sugerida por Chow *et al.* (1994). Dicha probabilidad calculada a través de tal fórmula empírica, conlleva los siguientes pasos: primero, ordenar los valores de la serie de mayor a menor (orden descendente), asignándole su número de orden (m) a cada valor. Segundo, calcular la probabilidad de ocurrencia $P(X \geq x)$ de cada valor, que es igual a $P = \frac{m}{n+1}$, siendo n , el tamaño de la muestra o el número de eventos. Tercero,

calcular la probabilidad de no ocurrencia $P(X < x)$ de cada valor, que es igual a $q = 1 - P$ o $1 - \frac{1}{T_r}$. Por último, calcular el período de retorno T_r de cada valor, que

es igual, $T_r = \frac{n+1}{m}$ o $\frac{1}{P(X \geq x)}$.

3.3.2.6.1.2 Prueba de Bondad de Ajuste

Según Villón (2006), las pruebas de bondad de ajuste consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidad teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base a los valores muestrales.

Las pruebas estadísticas, tienen por objeto medir la certidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población, es decir, calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria, se distribuya según una cierta función de probabilidades.

La prueba de ajuste Smirnov – Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre valor observado y el valor de la recta del modelo, es decir:

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

Donde:

Δ : Estadístico de Smirnov – Kolmogorov (Delta teórico), cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad teórica y la probabilidad empírica.

$F(x)$: Probabilidad de la distribución teórica.

$P(x)$: Probabilidad experimental o empírica de los datos, denominada también frecuencia acumulada.

Posteriormente se compara dicho estadístico Δ , con el valor crítico Δ_o (Delta tabular) del ANEXO XIII, el cual está condicionado por el número de datos de la serie y el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) seleccionando deduciendo los siguientes criterios de decisión:

$\Delta < \Delta_o \Rightarrow$ El ajuste es bueno al nivel de significancia seleccionado.

$\Delta > \Delta_o \Rightarrow$ El ajuste no es bueno al nivel de significación seleccionado, siendo necesario probar con otra distribución teórica de probabilidad.

3.3.2.6.1.3 Distribución Teórica de Probabilidad

Para calcular la probabilidad de ocurrencia y los períodos de retorno (5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000) de la precipitación máxima en 24 horas se utilizó la distribución teórica de probabilidad de Gumbel o valores extremos Tipo I sugerida por Chow *et al.* (1994).

Dicha distribución se utiliza en hidrología para el análisis de eventos extremos, como por ejemplo el caudal máximo o mínimo anual, precipitaciones máximas y mínimas mensuales, precipitación máxima en 24 horas y otros. La aplicabilidad de la función teórica de probabilidad de Gumbel a un conjunto de valores muestrales a analizar, se realiza ya sea por el método gráfico, analítico o a través del factor de frecuencia, y para todos los casos se debe realizar una prueba de bondad de ajuste.

Para este estudio se decidió trabajar con el factor de frecuencia, el cual permitió reducir significativamente los cálculos que conlleva el método analítico. Para la obtención del factor de frecuencia de la distribución de Gumbel tomando en

consideración los períodos de retorno seleccionados, se utilizó la siguiente ecuación:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0.5772 + \text{Ln} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right\} \right]$$

Para expresar T_r en termino de K_T , la anterior ecuación puede escribirse como:

$$T_r = \frac{1}{1 - \exp \left\{ -\exp \left[-\left(\gamma + \frac{\pi K_T}{\sqrt{6}} \right) \right] \right\}}$$

Donde:

K_T : Factor de frecuencia.

T_r : Período de retorno, que es igual a $T_r = \frac{1}{P(X \geq x)}$

γ : 0.5772

Ahora bien, para calcular la magnitud x_T de un evento hidrometeorológico extremo puede representarse como la media μ más una desviación estándar Δx_T de la variable con respecto a la media: $x_T = \mu + \Delta x_T$. Esta desviación con respecto a la media puede igualarse al producto de la desviación estándar y el factor de frecuencia, es decir, $\Delta x_T = K_T \sigma$. La desviación Δx_T y el factor de frecuencia K_T son funciones del período de retorno y del tipo de distribución de probabilidad a utilizarse en el análisis. Por consiguiente, la ecuación puede expresarse como:

$x_T = \mu + K_T \sigma$, la cual puede aproximarse por:

$$x_T = \bar{x} + K_T S$$

Donde:

x_T : Magnitud del evento hidrometeorológico.

$\bar{x}$: Media aritmética de la serie de datos.

K_T : Factor de frecuencia.

S : Desviación estándar de la serie de datos.

3.3.3 Análisis Hidrológico

3.3.3.1 Selección de las Estaciones Hidrométricas y el Período de Registro Óptimo de Observaciones

El análisis hidrológico se realizó inicialmente seleccionando las estaciones hidrométricas ubicadas dentro y en las cercanías de la cuenca del río Tonosí, las cuales presentaran un registro de al menos 20 años de observaciones como mínimo. Las estaciones hidrométricas no pertenecientes a la cuenca del río Tonosí se seleccionaron por presentar rendimientos hídricos, vegetación, uso de suelo, topografía y otras características similares a la cuenca del río Tonosí.

En total dos estaciones hidrométricas se consideraron para este análisis, una estación ubicada dentro de la cuenca del río Tonosí, asignada como estación base para el análisis hidrológico, esta es: Tonosí – Guaniquito (124 – 01 – 02) y una estación ubicada fuera de la cuenca la cual pertenece a la cuenca del río La Villa, asignada como estación para el relleno de datos y análisis de consistencia, esta es: La Villa, Macaracas (128 – 01 – 01).

Es importante mencionar que se sabe de la existencia de una nueva estación, esta es: Tonosí, Puente Tonosí (124 – 01 – 03), la cual fue instalada en el año 1999, sin embargo, no se utilizó sus registros para el análisis hidrológico ya que existe incongruencia en sus datos (caudales diarios) a partir del año 2002 hasta el año 2008. De igual manera, existen registros de la estación hidrométrica Tonosí, Tonosí (124 – 01 – 01) los cuales datan del año 1960 a 1980, sin embargo, no se

utilizó esta estación ya que tales registros no son de los más recientes o en otras palabras se alejan de la fecha actual.

Con respecto a la selección del período de registro óptimo de observaciones o el período básico normalizado de observaciones comprendido para este análisis hidrológico, no fue posible que el período tuviese 30 años de registro como mínimo y que fueran los más reciente o actuales a la fecha, ya que la estación base Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02) solo tiene 21 años registro (1980 – 2000) y no se pudo extender la serie de datos hasta por lo menos al año 2009 para alcanzar los 30 años de registro como mínimo, debido a que la estación La Villa, Macaracas (128 – 01 – 01) tiene registros incompletos (caudales diarios) a partir del año 2001 al 2008. En vista de esta situación, se decidió que el período de registro óptimo de observaciones seleccionado para la realización del análisis hidrológico, fuese de 20 años, iniciando en el año 1981 y finalizando en el año 2000, obteniendo así dos períodos decadales (1980 – 1990 y 1991 – 2000).

3.3.3.2 Homogeneización de Series Fluviométricas

3.3.3.2.1 Relleno de Datos Faltantes

Para el relleno de datos faltantes se utilizó el método de relación de superficies, sugerido por Aguilar (2001). Dicho método es aplicable al caso en que no se disponga de datos (diarios, mensuales o anuales) en el lugar donde se desea la estimación. Es evidente que la información obtenida en esta forma es muy aproximada y no es aceptable para el diseño de obras hidráulicas. Para aplicar este método es necesario que las cuencas que se comparan tengan

características similares; ubicación, orografía, forma, altura, vegetación y otros. La relación utilizada en este caso es:

$$Q = Q_b * \frac{A}{A_b}$$

Donde:

Q : Caudal en la estación en estudio, en m³/s.

Q_b : Caudal en la estación base, en m³/s.

A : Área de la cuenca de la estación en estudio, en Km².

A_b : Área de la cuenca de la estación base, En Km².

3.3.3.2 Análisis de Consistencia de los Registros

Al igual que los registros pluviométricos, los registros de caudales deben ser analizados en su consistencia antes de ser utilizados en cualquier estudio. Las inconsistencias pueden deberse a uno o más de los siguientes fenómenos: cambio en el método de recolección de la información, curva de descarga mal calculada, cambio en la ubicación de la sección de aforo, cambio en el almacenamiento superficial, cambio en el uso del agua en la cuenca. Para detectar tales inconsistencias se utilizó la curva doble acumulada, análisis sugerido por Campos Aranda (1983) empleado previamente en el análisis pluviométrico (ver punto 3.3.2.2.2.2). Es importante mencionar que la curva de doble acumulada no debe utilizarse para corregir datos de caudales.

3.3.3.3 Estimación de los Caudales Promedios y Caudales Específicos

La estimación de los caudales promedios a nivel mensual y anual se realizó utilizando el método de relación de superficie incorporando la precipitación promedio anual sugerido por Aguilar (2001). La relación utilizada es la siguiente:

$$Q = Q_b * \frac{A}{A_b} * \frac{Ppt}{Ppt_b}$$

Donde:

Q : Caudal en la estación en estudio, en m³/s.

Q_b : Caudal en la estación base, en m³/s.

A : Área de la cuenca de la estación en estudio, en Km².

A_b : Área de la cuenca de la estación base, en Km²

Ppt : Precipitación promedio sobre la cuenca de la estación en estudio, en mm.

Ppt_b : Precipitación promedio sobre la cuenca de la estación base, en mm.

Posteriormente, se calculó a nivel mensual y anual el caudal específico o rendimiento hídrico, el cual se define como el escurrimiento por unidad de área de la cuenca o subcuenca hasta el sitio de interés. Su expresión es la siguiente:

$$q = \left(\frac{Q}{A} \right) * 1000$$

Donde:

q : Caudal específico, en l/s/Km².

Q : Caudal, en m³/s.

A : Área de drenaje hasta el sitio de interés, en Km².

3.3.3.4 Curvas de Variación Estacional

Las curvas de variación estacional, análisis sugerido por Villón (2004), permitió conocer la distribución de los caudales mensuales con respecto al tiempo y la probabilidad de que dichos eventos sean excedidos o igualados. Dicha técnica se utilizó previamente en el análisis pluviométrico (ver punto 3.3.2.5), haciendo la salvedad de que se decidió convertir la serie de caudales promedios mensuales a logaritmos de base 10, con la finalidad de reducir la asimetría positiva que presentan de forma inherente los caudales.

3.3.3.5 Curvas de Duración de Caudales

La curva de duración llamada también curva de persistencia, o curva de permanencia de caudales, es una distribución de frecuencia acumulada que indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales (diarios, mensuales y anuales) han sido igualados o excedidos. Este tipo de curvas permite combinar en una sola figura las características fluviométricas de un río en todo su rango de caudales independientemente de su secuencia de ocurrencia en el tiempo. Las curvas de duración permiten estudiar las características fluviométricas de los ríos y comparar diferentes cuencas (Cahuana y Yugar 2009). El principal defecto de la curva de duración de caudales es que no presenta el caudal en secuencia natural; por ejemplo, con ella no es posible decir si los caudales más bajos escurrieron en períodos consecutivos o fueron distribuidos a lo largo del registro (Villón 2004).

La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos. De la curva de duración se obtiene información referente al porcentaje de tiempo en que un valor es excedido, la cual es utilizada para el diseño de obras de toma (Cahuana y Yugar 2009). Los pasos para la elaboración de la curva de duración de caudales propuesto por OSU (2005), se presentan a continuación:

- Ordenar los datos en forma descendente y a cada uno de ellos asignarle un numero de orden, siendo el uno $Q_{m\acute{a}x}$ y el último número de orden de la serie $Q_{m\acute{i}n}$.

- Expresar en % de tiempo en que el caudal es igualado o excedido, utilizando la fórmula de probabilidad empírica de Weibull.
- Graficar en el eje de las abscisas (x), % de tiempo en que el caudal es igualado o excedido y en el eje de las ordenadas (y), los caudales analizados.

3.3.3.6 Análisis Cronológico de los Caudales

3.3.3.6.1 Desvíos (Años Normales, Húmedos y Secos)

Para determinar los años normales, húmedos y secos se realizó el análisis de los desvíos. Esta metodología fue sugerida por Castañeda (1981) y Mora (2003), y se utilizó previamente en el análisis pluviométrico (ver punto 3.3.2.3.2).

3.3.3.6.2 Promedios Móviles y Tendencia Secular

Los promedios móviles, análisis sugerido por Campos Aranda (1983), permitió determinar los períodos con tendencia normal, húmeda y seca, de la serie hidrológica. La tendencia secular, técnica sugerida por Castañeda (1981), permitió evaluar la tendencia de los caudales promedios anuales a través de la pendiente de la recta o línea de regresión. Ambas técnicas se utilizaron previamente en el análisis pluviométrico (ver punto 3.3.2.3.3).

3.3.3.7 Desequilibrio Hidrológico

Para determinar la existencia de algún desequilibrio en el comportamiento hidrológico en la cuenca del río Tonosí se empleó la metodología usada por Estribí (1990), la cual se divide en dos partes:

- La primera consistió en separar los caudales en períodos decadales, para posteriormente compáralos y obtener diferencias entre sí. Los caudales

analizados fueron los siguientes: caudales máximos y mínimos promedios mensuales, caudal promedio anual y caudal máximo observado o instantáneo.

- La segunda parte consistió en comparar la precipitación promedio mensual versus el caudal promedio mensual convertido de m^3/s a mm^5 , distribuidos a lo largo de un año para los períodos decadales en estudio.

3.3.3.7.1 Coeficiente de Escorrentía

Para determinar el coeficiente de escurrimiento o escorrentía se empleó la metodología usado por UNESCO (1982). Esta metodología consiste en establecer una relación entre la precipitación y el caudal convertido de m^3/s a mm , siendo ambas variables del mismo período en estudio. Dicha relación se expresa de la siguiente forma:

$$C = \frac{R}{P_c}$$

Donde:

C : Coeficiente de escurrimiento o escorrentía (adimensional).

R : Escorrentía promedio (mensual o anual) del período en estudio, en mm .

P_c : Precipitación promedio (mensual o anual) de la cuenca o área de drenaje durante el mismo período en estudio, en mm .

El coeficiente de escorrentía es otro indicador de la existencia de algún desequilibrio en el comportamiento hidrológico en la cuenca. Tal coeficiente no es un factor constante, sino que varía mensual y anualmente, el cual está condicionado por varios factores de la cuenca (vegetación, uso del suelo,

⁵ $Lám. Esc. (mm) = \frac{\text{caudal medio mensual } (m^3/s) \times 10^3 mm/m^2 \times 86400 \text{ seg/día} \times \text{días del mes}}{\text{área de drenaje} \times 10^6 m^2/km^2}$

topografía y otros) y de la cantidad e intensidad de la precipitación, su determinación es aproximada en el tiempo.

3.3.3.8 Análisis de Frecuencia

3.3.3.8.1 Caudales Máximos Instantáneos

El análisis de frecuencia de los caudales máximos instantáneos se realizó mediante el Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, Período 1971 – 2006. Esta metodología permite determinar la crecida máxima que se puede presentar en un sitio determinado para distintos períodos de recurrencia o de retorno realizando los siguientes pasos:

- Se delimita y se mide el área de drenaje de la cuenca hasta el sitio de interés, en Km².
- Se determina a qué zona pertenece el sitio de interés de acuerdo con el mapa de la FIGURA 2.
- Se calcula el caudal promedio máximo instantáneo utilizando una de las cinco ecuaciones (ver CUADRO VIII), según la zona la cual pertenezca el sitio de interés.
- Se calcula el caudal máximo instantáneo para distintos períodos de recurrencia, multiplicando el caudal promedio máximo que se obtuvo en el punto anterior, por los factores que se presentan en el CUADRO IX, utilizando la tabla correspondiente a la zona del sitio de interés.

Es importante mencionar que la selección de esta metodología se fundamentó en que la estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02) al ser de tipo

limnimétrica no permite obtener valores valederos de caudales máximos instantáneos al ser el registro producto de dos lecturas diarias y no un registro continuo (limnigrama). Por lo general, los picos de las crecidas tienden a darse en horas más tempranas que las lecturas realizadas en la regla limnimétrica. Es por ello, que no se pudo utilizar la información de esta estación para el análisis de caudales máximos, ya que seguramente los caudales máximos observados no coincidieron con los caudales máximos instantáneos.

CUADRO VIII. ECUACIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES PROMEDIOS MÁXIMOS INSTANTÁNEOS, SEGÚN LAS ZONAS HIDROLÓGICAMENTE HOMOGÉNEAS.

Zona	Número de Ecuación	Ecuación	Distribución de Frecuencia
1	1	$Q_{\text{máx}}=34A^{0.59}$	Tabla N°1
2	1	$Q_{\text{máx}}=34A^{0.59}$	Tabla N°3
3	2	$Q_{\text{máx}}=25A^{0.59}$	Tabla N°1
4	2	$Q_{\text{máx}}=25A^{0.59}$	Tabla N°4
5	3	$Q_{\text{máx}}=14A^{0.59}$	Tabla N°1
6	3	$Q_{\text{máx}}=14A^{0.59}$	Tabla N°2
7	4	$Q_{\text{máx}}=9A^{0.59}$	Tabla N°3
8	5	$Q_{\text{máx}}=4.5A^{0.59}$	Tabla N°3
9	2	$Q_{\text{máx}}=25A^{0.59}$	Tabla N°3

Fuente: ETESA (2008).

CUADRO IX. FACTORES $Q_{\text{MÁX.}}/Q_{\text{PROM.MÁX}}$ PARA DISTINTOS PERÍODOS DE RETORNO.

Período de Retorno (Tr)	Tabla N°1	Tabla N°2	Tabla N°3	Tabla N°4
1.01	0.28	0.29	0.30	0.34
1.05	0.43	0.44	0.45	0.49
1.25	0.62	0.63	0.64	0.67
2	0.92	0.93	0.92	0.93
5	1.36	1.35	1.32	1.30
10	1.66	1.64	1.60	1.55
20	1.96	1.94	1.88	1.78
50	2.37	2.32	2.24	2.10
100	2.68	2.64	2.53	2.33
1000	3.81	3.71	3.53	3.14
10000	5.05	5.48	4.60	4.00

Fuente: ETESA (2008).

FIGURA 2. REGIONES HIDROLÓGICAMENTE HOMOGÉNEAS, REPÚBLICA DE PANAMÁ.

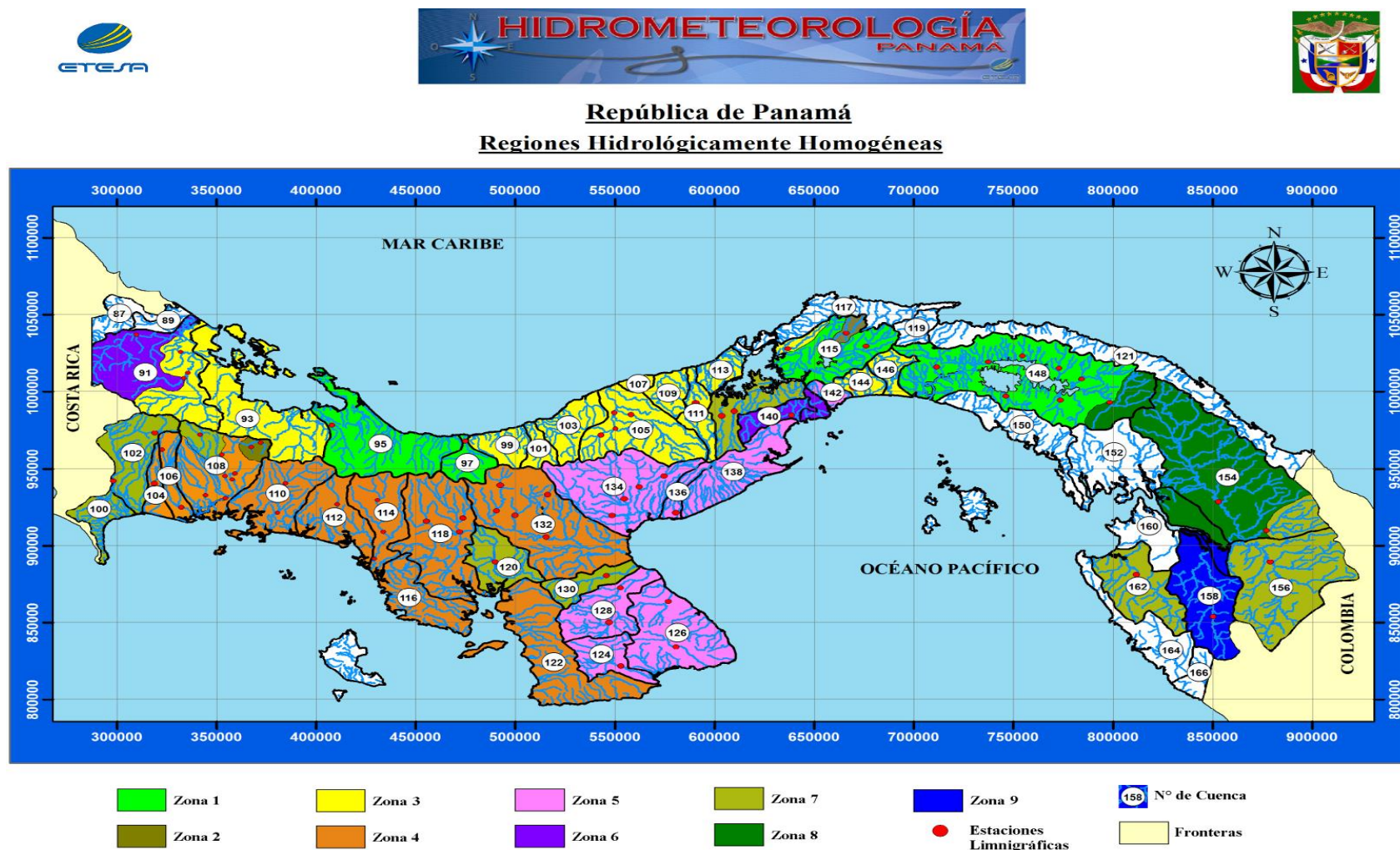


Fig. 73

Fuente: ETESA (2008).

3.3.4 Balance Hídrico del Suelo

El balance hídrico del suelo tiene como objetivo proporcionar información de manera aproximada referente a las disponibilidades de agua en un lugar o finca, país y en una cuenca hidrográfica. Además, permite conocer las deficiencias y excesos de agua, para definir la hidrología y clasificar climáticamente a una zona, elaboración de calendarios agrícolas y para la planificación hidráulica (embalses). A partir del conocimiento de las precipitaciones promedios mensuales y de la evapotranspiración potencial promedio mensual, se puede determinar el balance climático del agua en el suelo a lo largo de un año.

El balance hídrico de suelo a desarrollar no es más que una modificación del balance hídrico original desarrollado por el Dr. Charles Warren Thornthwaite en el año 1955. A continuación, se detalla la obtención y no la definición de las variables contemplados para la realización del balance hídrico del suelo sugerida por (Lücke 1985), estas son:

- ETP (Evapotranspiración potencial): el cálculo de la evapotranspiración potencial se realizó mediante la fórmula Thornthwaite, sugerida por Villón (2004). Dicho cálculo se inicia determinando el “índice de calor mensual” (i) a partir de la temperatura promedio mensual (t) a través de la siguientes formula:

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

En segundo lugar se calcula el “índice de calor anual” (I) sumando los 12 valores de (i):

$$I = \sum i$$

Tercero, se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left(\frac{10 * t}{I} \right)^a$$

Donde:

$ETP_{sin\ corr.}$: ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas).

t : Temperatura media mensual, en °C.

I : Índice de calor anual.

a : $0.000000675 \times I^3 - 0.0000771 \times I^2 + 0.01792 \times I + 0.49239$

Cuarto, se corrige la ETP mediante un factor de corrección, que va de acuerdo al mes considerado y a la latitud del lugar que determinan las horas de sol, cuyos valores se obtienen del ANEXO XXII.

- PPT (Precipitación): la precipitación promedio mensual multianual se obtuvo a partir de los registros de las estaciones pluviométricas de La Llana (124 – 002), Tonosí 2 (124 – 004), El Cortezo (124 – 005) y Altos de Güera (124 – 006), correspondientes al período 1981 – 2010.
- Sobrante de agua: se calcula restando la PPT de la ETP, cuando la PPT es mayor que la ETP, de no ser el caso, no habrá sobrante de agua ni mucho menos esorrentía total.
- ETR (evapotranspiración real): la ETR será igual a la ETP cada vez que hay sobrante. Cuando no hay sobrante este valor se satisface con la precipitación y el agua almacenada en el suelo del mes anterior.
- Recargamiento del suelo: solo ocurre cuando hay sobrante de agua y el suelo no está recargado al 100 % de su capacidad de almacenamiento de humedad.

- Restado del suelo: consumo de agua del suelo, solo ocurre cuando no hay sobrante y el suelo tiene agua almacenada en el mes anterior, la PPT no satisface la ETP.
- Agua almacenada en el suelo: se refiere a la máxima capacidad de almacenamiento de humedad del suelo. Se calcula a partir de la suma de la diferencia entre la PPT menos la ETP, con el saldo de agua dejado en el suelo en el mes anterior. En ningún caso el agua almacenada será superior a la máxima capacidad de almacenamiento humedad del suelo.
- Escorrentía total: ocurrirá cuando, habiéndose satisfecho la ETP y la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo se encuentra al 100 %, queda un excedente de agua, el cual será igual al sobrante de agua.
- Déficit de agua en el suelo: es lo que hace falta al suelo para estar recargado al 100 % de su capacidad de almacenamiento. Se calcula restando la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo con respecto al agua almacenada en el suelo.
- Déficit total de humedad: se calcula a partir de la diferencia entre la $ETP - ETR$.

4.0 RESULTADOS

4.1 Localización y Demarcación del Área en Estudio

4.1.1 Localización y Ubicación

La cuenca del río Tonosí asignada con el número 124, otorgado por el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA, 1967 – 1972), es una de las 34 cuencas hidrográficas a nivel nacional que confluyen sus aguas al océano Pacífico. Se encuentra ubicada al suroeste de la provincia de Los Santos, al sur de la península de Azuero y en referencia a la República de Panamá, se ubica en el sector meridional, vertiente del océano Pacífico. Se localiza geográficamente, al norte del ecuador terrestre y en la zona occidental del meridiano de Greenwich, entre las siguientes latitudes y longitudes: latitud norte: 7° 19' 42" – 7° 35' 57" y longitud oeste: 80° 21' 55" – 80° 43' 42".

Con relación al sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM), con base a la proyección del elipsoide Clarke 1866, a la Zona 17 N y al Dato horizontal de referencia NAD27–Canal Zone, la cuenca del río Tonosí se localiza geográficamente en las siguientes coordenadas: norte: 810000 m – 840000 m y este: 530000 m – 570000 m.

4.1.2 Demarcación Hidrográfica

La cuenca del río Tonosí hidrográficamente tiene los siguientes límites (ETESA 2007):

- Por el norte: cuenca hidrográfica N° 128 río La Villa.
- Por el sur: cuenca hidrográfica N° 122 ríos entre el San Pedro y el Tonosí.
- Por el este: cuenca hidrográfica N° 126 ríos entre el Tonosí y La Villa.
- Por el oeste: cuenca hidrográfica N° 122 ríos entre el San Pedro y el Tonosí.

4.1.3 Demarcación Político – Administrativa

La superficie territorial de la cuenca del río Tonosí desde el punto de vista político – administrativa (ver CUADRO X), está dividida en 17 corregimientos, ubicados en cinco distritos, pertenecientes a tres provincias (IGNTG 2000).

La primera provincia a mencionar es Los Santos, considerada como la provincia de mayor superficie ocupada en la cuenca, representa el 94.683 % (688.916 Km²) de la superficie total. La provincia de Los Santos está conformada por el distrito de Macaracas que a su vez lo constituyen los siguientes corregimientos: (1) Bajos de Güera, (2) Mogollón, (3) Llano de Piedra, (4) Las Palmas y (5) La Mesa. El segundo Distrito es Tonosí, conformado por los siguientes corregimientos: (1) Altos Güera. (2) El Cortezo (corregimiento con mayor superficie ocupada en la cuenca), (3) La Tronosa, (4) El Bebedero, (5) Tonosí cabecera, (6) Flores, (7) Cambutal y (8) Guánico. Como último distrito a mencionar en esta provincia es Las Tablas, que a su vez lo constituye solamente el corregimiento de Bayano. La provincia de Herrera representa el 4.906 % (35.695 Km²) de la superficie total de la cuenca, el cual está conformada por el distrito de los Pozos, que a su vez lo constituye el corregimiento de La Pitaloza. En referencia a la provincia de Veraguas, representa el 0.411 % (2.997 Km²) de la superficie total de la cuenca,

el cual está conformada por el distrito de Mariato, que a su vez lo constituyen los siguientes corregimientos: (1) Quebro y (2) Arenas.

CUADRO X. SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LA DIVISIÓN POLÍTICO – ADMINISTRATIVA.

Provincia	Distrito	Corregimiento	Superficie	
			Km²	%
Los Santos	Macaracas	Bajos de Güera	92.213	12.673
		Mogollón	24.680	3.392
		Llano de Piedra	24.583	3.379
		Las Palmas	1.716	0.236
		La Mesa	2.084	0.286
		Subtotal	145.276	19.966
	Tonosí	Altos de Güera	138.736	19.067
		El Cortezo	149.000	20.478
		La Tronosa	84.861	11.663
		El Bebedero	98.504	13.538
		Tonosí cabecera	57.114	7.850
		Flores	1.416	0.195
		Cambutal	0.559	0.077
		Guánico	4.814	0.662
		Subtotal	535.004	73.530
	Las Tablas	Bayano	8.636	1.187
		Subtotal	8.636	1.187
Herrera	Los Pozos	La Pitaloza	35.695	4.906
Subtotal		35.695	4.906	
Veraguas	Mariato	Quebro	0.984	0.135
		Arenas	2.013	0.277
		Subtotal	2.997	0.411
Total			727.608	100.000

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Descripción General de la Cuenca del Río Tonosí

4.2.1 Generalidades

La cuenca del río Tonosí perteneciente al sistema hidrográfico de la vertiente del océano Pacífico, tiene una superficie de 727.608 Km² con un perímetro de 186.837 Km y una orientación noroeste a sureste, según su cauce principal.

Hidrográficamente la cuenca del río Tonosí está conformada por tres unidades hidrográficas secundarias (subcuencas e intercuencas⁶), estas son: (1) río Güera, (2) río Guaniquito y (3) la intercuenca Tonosí Abajo (ver CUADRO XI y ANEXO XXIII).

Adicionalmente, el 40.017 % (291.165 Km²) de la superficie total de la cuenca (menor a los 200 msnm), pertenece al Arco Seco de la República de Panamá, considerando a la cuenca del río Tonosí como una de las siete cuencas hidrográficas a nivel nacional que conforman el Arco Seco. De igual forma, el 17.736 % (129.046 Km²) de la superficie total de la cuenca pertenece a áreas protegidas, estas son las siguientes: (1) Parque Nacional cerro Hoya con una superficie de 6.072 Km², (2) Refugio de Vida Silvestre Isla Cañas con una superficie de 11.686 Km² y (3) Reserva Forestal La Tronosa con una superficie de 111.288 Km².

Respecto a las elevaciones máxima y mínima de la cuenca del río Tonosí, se señala que la elevación máxima es de 1400 msnm ubicada en el cerro Cambutal y su elevación mínima es de cero msnm ubicada en la costa, donde el río Tonosí vierte sus aguas al océano Pacífico.

El cauce principal de la cuenca del río Tonosí tiene una longitud de 77.047 Km, iniciando su recorrido en la subcuenca del río Güera, específicamente

⁶ Es un área (unidad de drenaje) que recibe el drenaje de otra unidad que se ubica aguas arriba, mediante el curso del río principal, y permite el drenaje del flujo propio y del que ha ingresado a esta unidad hacia la unidad de drenaje que se ubica hacia aguas abajo (Ruiz y Torres 2008).

en la microcuenca del río Güera Occidental a los 564 msnm, en un afluente sin nombre de la quebrada La Honda hasta unirse con la quebrada Agua Blanca, a partir de ese punto el río es nombrado como “*Güera*”, continuado con el recorrido hasta la confluencia con la intercuenca del Güera Oriental, perteneciente a la subcuenca del río Güera. En este punto el recorrido continúa por el cauce que recibe todo el escurrimiento en la intercuenca antes mencionada, el cual lleva el nombre de “*Güera*”, hasta su confluencia con la intercuenca del Tonosí Abajo, a partir de este punto el río cambia de nombre a “*Tonosí*”, convirtiéndose en el último trayecto recorrido por el cauce principal de la cuenca del río Tonosí, culminando en la costa con el océano Pacífico a los cero msnm.

CUADRO XI. UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Vertiente Hidrográfica	U.H. Mayor (Cuenca)	U. H. Secundarias (Subcuencas e Intercuencas)	U. H. Terciarias (Microcuencas e Intercuencas)	Superficie	
				Km²	%
Océano Pacífico	Río Tonosí	Río Güera	Río Quema	84.873	11.664
			Río Güerrita	40.788	5.606
			Río Tolú	45.677	6.278
			Río Güera Occ.	46.931	6.450
			Río Marroquín	40.737	5.599
			Güera Ori.*	79.468	10.922
			Subtotal	338.474	46.519
		Río Guaniquito	Subtotal	193.290	26.565
		Tonosí Abajo*	Subtotal	195.844	26.916
Total			727.608	100.000	

Fuente: Elaboración propia.

La utilización del término intercuenca, pertenece al sistema de delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Otto Pfafstetter creado en 1989 (Ruiz y Torres 2008).

* Intercuenca.

4.2.2 Geología

4.2.2.1 Litología

La estructura geológica de la cuenca del río Tonosí, está constituida por una gran variedad de formaciones rocosas de origen volcánico, plutónico y sedimentario. Esta última se encuentra en los entornos de las estructuras ígneas volcánicas. La génesis de las formaciones rocosas antes mencionada, se remonta al final de la era geológica secundaria hasta la era terciaria, con diversas intervenciones provocadas por las fuerzas endógenas. A continuación, se describe la estructura geológica de la cuenca del río Tonosí, según la era geológica (MICI 1990, Morales 1998):

Era Secundaria o Mesozoica

- Grupo Geológico Playa Venado, Formación Playa Venado (K – VE): este afloramiento rocoso del período Cretácico, considerado como el de mayor superficie ocupada en la cuenca, representa el 43.559 % (316.938 Km²) de la superficie total. En esta formación sobresalen las rocas de origen volcánico como basaltos, pillow, lavas, andesitas, tobas, y demás.
- Grupo Geológico Indiferenciado, Formación Loma Montuoso (K – LM): este afloramiento rocoso del período Cretácico representa el 0.517 % (3.759 Km²) de la superficie total de la cuenca. En esta formación sobresalen las rocas de origen plutónico como cuarzodioritas, cuarzo, gabros, noritas, granodioritas y cuarzomonzonitas.
- Grupo Geológico Changuinola, Formación Ocú (K – CHAo): este afloramiento rocoso del período Cretácico, considerado como la formación sedimentaria

más antigua representa el 13.155 % (95.715 Km²) de la superficie total de la cuenca. Esta formación tiene un espesor sedimentario constituido por calizas de grano fino, de color gris, intercalado con lutitas, tobas y lavas intermedias. Es importante hacer la mención de que estudios geológicos recientes han determinado que las rocas del cerro Quema no corresponden con la definición de la Formación de Ocú, creando una nueva formación geológica, la Formación de río Quema.

Era Terciaria o Cenozoica

- Grupo Geológico Maje, Formación Sur Soná (TE – MAso): este afloramiento rocoso del período Eoceno representa el 7.265 % (52.865 Km²) de la superficie total de la cuenca. En esta formación sobresalen las rocas de origen volcánico como basaltos y diabasas.
- Grupo Geológico Indiferenciado, Formación Valle (TEO – RIQ): este afloramiento rocoso plutónico del período Eoceno – Oligoceno, es una formación secuencial del origen de la tierra, por la acción del fuego interior y representa el 1.270 % (9.238 Km²) de la superficie total de la cuenca. En esta formación se han encontrado rocas intrusivas cuarzodioríticas, noritas y gabros, las cuales corresponden al episodio magmático que ha producido las intrusiones, con manifestaciones volcánicas preliminares.
- Grupo Geológico Tonosí, Formación Tonosí (TEO – TO): este afloramiento rocoso del período Eoceno – Oligoceno representa el 34.225 % (249.030 Km²) de la superficie total de la cuenca. Las rocas de origen sedimentario que sobresalen son areniscas, lutitas y tobas. Estas dos últimas de color pardo o

verduzco. En Tonosí aparecen afloramientos extensos de calizas hasta de 100 m de espesor y mantos de alteritas a raíz de la deposición de sedimentos detríticos. Además, Tonosí es de formación terciaria marina, con depósitos de fondos marinos, arenas, apareciendo cuencas deposicionales de gran perímetro, surgidas por la regresión marina de este período. Terry, citado por Morales (1998), consideraba la cuenca sedimentaria de Tonosí limitada por fallas entre rocas volcánicas más antiguas, pero las investigaciones comprobaron que se extiende más allá de las fallas, también sostiene que parte de las calizas de Tonosí son Oligocénicas.

En la cuenca del río Tonosí, se encuentran los estratos más antiguos del Istmo de Panamá, declarados por sus fósiles que corresponden a la formación del Eoceno. La planicie o valle de Tonosí está tapizado por un glacis y una morfología netamente fluvio – marina. La acumulación marina, ha dado origen a la formación de una extensa área de manglares entre la desembocadura del río Tonosí, hasta la playa Raya, donde se detiene la planicie.

- Grupo Geológico Macaracas, Formación Macaracas (TO – MAC): este afloramiento rocoso del período Oligoceno representa el 0.009 % (0.063 Km²) de la superficie total de la cuenca. En esta formación sobresalen las rocas de origen sedimentario como tobas y areniscas tobáceas.

CUADRO XII. SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN EL GRUPO GEOLÓGICO.

Grupo Geológico	Formación	Símbolo	Superficie	
			Km ²	%
Playa Venado	Playa Venado	K – VE	316.938	43.559
-	Loma Montuoso	K – LM	3.759	0.517
Changuinola	Ocu	K – CHAo	95.715	13.155
Maje	Sur Soná	TE – MAso	52.865	7.265
-	Valle Riquito	TEO – RIQ	9.238	1.270
Tonosí	Tonosí	TEO – TO	249.030	34.225
Macaracas	Macaracas	TO – MAC	0.063	0.009
Total			727.608	100.000

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2 Tectónica

La actual configuración estructural de la cuenca del río Tonosí se derivó en gran parte a los intensos procesos (movimientos) tectónicos iniciados en el período del Eoceno (Era terciaria). Los movimientos tectónicos provocaron el levantamiento de diversos cerros con elevaciones disímiles, ubicados dentro de la cuenca del río Tonosí y sus alrededores. En la cuenca del río Tonosí se identificaron dos fallas regionales de gran importancia, ubicados en el occidente de la cuenca, estas son: falla de Tonosí y falla río Torio – Guánico.

La falla de Tonosí atraviesa una extensa zona de contacto de extrusiones del Cretácico y sedimentaciones del período Eoceno con orientación noroeste a sureste. Esta falla producida por rotura de batolitos, provocó un levantamiento que avanzó varios kilómetros entre las sedimentaciones de Tonosí, derivando un relieve escarpado en la línea de falla a nivel de la zona de contacto entre las rocas

basálticas y las sedimentarias, dando al valle una superficie epirogénica a tono con la alineación de la estructura del geosinclinal. A consecuencia de la falla de Tonosí se levantaron cerros de hasta 200 metros de altura entre bajos de Güera, Güera y el Cortezo (Morales 1998).

La falla del río Torio – Guánico aparece formada por el rompimiento entre rocas volcánicas del período Cretácico al norte y las del macizo occidental del período Oligocénico al sur, sobre las cuales las fuerzas internas empujaron hacia arriba estas masas, fracturándose en la zona de contacto. Se extiende transversalmente en forma rectilínea desde la desembocadura del río Torio hasta la ensenada Ostional en Guánico, con una distancia de 73 Km. A consecuencia de esta falla se originaron montañas fuertemente inclinadas convexas con fuertes riscos y cañones, donde aparecen las mayores elevaciones (macizo o cordillera occidental de Azuero) entre la provincia de Veraguas y Los Santos.

La morfología de este sector de la cuenca y de la provincia de los Santos, nos demuestra ser un bloque levantado del tipo horst limitado por pendientes fuertemente pronunciadas hasta el nivel de las llanuras de Tonosí al este y hasta el sur de Soná al oeste, limitada por la falla de Guánico y la de Tonosí. Desde el anticlinal del horst escurren las aguas sobre las vertientes escarpadas, desde donde se origina la divisoria de aguas, entre ellas los ríos Tonosí y Guánico a ambos lados, más otros ríos, además que la cresta de la cordillera separa las provincias de Veraguas y Los Santos (Morales 1998).

4.2.3 Altimetría

El relieve de la cuenca del río Tonosí desde el punto de vista altimétrico, se caracteriza por presentar tierras cuyas elevaciones oscilan desde cero a 1400 msnm. Gran parte de la superficie territorial de la cuenca está compuesta por llanuras y colinas, no mayores de 400 msnm que ocupan el 67.104 % (488.252 Km²) de la superficie total. El resto de la superficie territorial de la cuenca está ocupada por elevaciones que van desde los 400 hasta elevaciones superiores a los 1000 msnm, las cuales representan el 32.896 % (239.356 Km²) de la superficie total.

Los puntos de mayor elevación ubicados tanto en el sector occidental y oriental de la cuenca, coincidiendo con la divisoria de aguas y que forman parte del macizo occidental y central de la península de Azuero; presentan elevaciones que van desde los 800 hasta elevaciones superiores a los 1000 msnm, las cuales representan el 4.032 % (29.341 Km²) de la superficie total de la cuenca. A continuación, se mencionan dichas elevaciones: (1) cerro sin nombre, ubicado en las proximidades de la naciente de un afluente de la quebrada de Quema con 822 msnm, (2) cerro Quema con 950 msnm, (3) loma El Macho con 992 msnm, (4) cerro Los Ñopos con 1068 msnm, (5) cerro sin nombre, ubicado en las proximidades de la naciente del río Marroquín con 1109 msnm, (6) cerro sin nombre, ubicado en las proximidades de la naciente de la quebrada El Pilón con 1113 msnm, (7) Filo de Marroquín 1200 msnm y (8) cerro Cambutal con 1400 msnm.

Es importante señalar, que las elevaciones menores de los 200 msnm conformadas por llanuras o planicies ubicadas principalmente en la intercuenca del Tonosí Abajo, son consideradas como las de mayor superficie ocupada en la cuenca representando el 40.017 % (291.165 Km²) de la superficie total.

CUADRO XIII. SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LA ALTITUD.

Altitud (msnm)	Superficie	
	Km ²	%
0 - 200	291.165	40.017
200 - 400	197.087	27.087
400 - 600	148.619	20.426
600 - 800	61.396	8.438
800 - 1000	22.603	3.106
Mayor a 1000	6.738	0.926
Total	727.608	100.000

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Pendientes

El relieve de la cuenca del río Tonosí desde el punto de vista de declive o inclinación, se caracteriza por presentar pendientes menores al 8 % las cuales clasifican el terreno como plano a ligeramente ondulado y que representan el 57.359 % (417.348 Km²) de la superficie total de la cuenca. El resto de la superficie territorial de la cuenca presenta pendientes que van desde ocho hasta pendientes superiores al 75 %, las cuales clasifican el terreno desde moderadamente ondulado a fuertemente escarpado, representando el 42.640 % (310.260 Km²) de la superficie total.

Las pendientes más abruptas que tiene la cuenca del río Tonosí, las cuales clasifican el terreno desde ondulado hasta fuertemente escarpado, representan el 36.532 % (265.816 Km²) de la superficie total de la cuenca. Estas pendientes se ubican principalmente al oeste, noreste y suroeste de la cuenca, coincidiendo con las zonas de mayor altitud; resaltando al Filo de Marroquín, cerro Quema, cerro Cambutal y otros.

Por otra parte, las pendientes menos pronunciadas que no superan el 3.00 %, las cuales clasifican el terreno como plano o casi plano, son consideradas como las de mayor de superficie ocupada en la cuenca, representando el 48.507 % (352.944 Km²) de la superficie total. Estas pendientes se ubican en el sector central y meridional de cuenca, coincidiendo con las zonas de menor altitud, principalmente en la intercuenca del Tonosí Abajo.

CUADRO XIV. SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LA PENDIENTE.

Pendiente (%)	Clasificación del Terreno	Superficie	
		Km ²	%
0.00 - 3.00	Plano o casi plano	352.944	48.507
3.00 - 8.00	Ligeramente ondulado	64.404	8.852
8.00 - 20.00	Moderadamente ondulado	44.444	6.108
20.00 - 45.00	Ondulado	132.667	18.233
45.00 - 75.00	Escarpado	116.353	15.991
Mayor a 75.00	Fuertemente escarpado	16.796	2.308
Total		727.608	100.000

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Hidrografía

La red hidrográfica que conforma a la cuenca del río Tonosí, presenta corrientes las cuales nacen o se originan en el macizo occidental y central de Azuero, que en su mayoría son de muy corto recorrido con pendientes muy suaves, orientados en diversas direcciones a causa de la configuración superficial del terreno. A continuación, se describen los principales afluentes de la red hidrográfica de la cuenca del río Tonosí:

Río Güera

El río Güera considerado como una unidad hidrográfica secundaria (subcuenca), abarca una superficie de 338.474 Km² con un perímetro de 115.569 Km. Representa el 46.519 % de la superficie total de la cuenca y es considerada como la subcuenca de mayor superficie ocupada. Su cauce principal nace a los 564 msnm con una longitud de 38.473 Km y su red de drenaje es de orden seis.

El río Güera se divide en seis unidades hidrográficas terciarias conformadas por cinco microcuencas y una intercuenca, las cuales a continuación se describen:

- Río Quema: este afluente considerado como una microcuenca, abarca una superficie de 84.873 Km² con un perímetro de 55.768 Km. Representa el 11.664 % de la superficie total de la cuenca del río Tonosí. Su cauce principal nace a los 499 msnm con una longitud de 24.477 Km y una pendiente media de 1.601 %. Además, su red de drenaje es de orden cinco.
- Río Güerita: este afluente considerado como una microcuenca, abarca una superficie de 40.788 Km² con un perímetro de 37.924 Km. Representa el

5.606 % de la superficie total de la cuenca del río Tonosí. Su cauce principal nace a los 392 msnm con una longitud de 17.139 Km y una pendiente media de 1.273 %. Además, su red de drenaje es de orden cuatro.

- Río Tolú: este afluente considerado como una microcuenca, abarca una superficie de 45.677 Km² con un perímetro de 33.504 Km. Representa el 6.278 % de la superficie total de la cuenca del río Tonosí. Su cauce principal nace a los 670 msnm con una longitud de 15.011 Km y una pendiente media de 1.257 %. Además, su red de drenaje es de orden cuatro.
- Río Güera Occidental: este afluente considerado como una microcuenca, abarca una superficie de 46.931 Km² con un perímetro de 40.683 Km. Representa el 6.450 % de la superficie total de la cuenca del río Tonosí. Su cauce principal nace a los 564 msnm con una longitud de 18.447 Km y una pendiente media de 1.296 %. Además, su red de drenaje es de orden cuatro.
- Río Marroquín: este afluente considerado como una microcuenca, abarca una superficie de 40.737 Km² con un perímetro de 35.746 Km. Representa el 5.599 % de la superficie total de la cuenca del río Tonosí. Su cauce principal nace a los 707 msnm con una longitud de 17.309 Km y una pendiente media de 1.610 %. Además, su red de drenaje es de orden cuatro.
- Intercuenca del Güera Oriental: esta unidad hidrográfica considerada como una intercuenca recibe las aguas o el drenaje de las cinco microcuencas anteriormente mencionadas. Abarca una superficie de 79.468 Km² que representa el 10.922 % de la superficie total de la cuenca del río Tonosí.

Río Guaniquito

El río Guaniquito considerado como unidad hidrográfica secundaria (subcuenca), abarca una superficie de 193.290 Km² con un perímetro de 78.276 Km. Representa el 26.565 % de la superficie total de la cuenca del río Tonosí. Su cauce principal nace a los 756 msnm con una longitud de 29.596 Km y su red de drenaje es de orden cinco. Los principales tributarios a mencionar en esta subcuenca son: Qda. Marroquinillo, Qda. Los Chigueros, Qda. La Pintada, Qda. La Zapatoza y otros.

4.2.6 Capacidad Agrológica de los Suelos

Los suelos de la cuenca del río Tonosí se clasifican o agrupan en cuatro clases, según el sistema de evaluación de clases agrológicas USDA, teniendo en cuenta los siguientes parámetros y variables necesarios para su evaluación: (1) pendiente, (2) erosión, (3) características físicas y químicas del suelo, (4) drenaje, (5) clima y otros. A continuación, se describen las cuatro clases de suelo presentes en la cuenca del río Tonosí (Morales 1998, IGNTG 2007):

Suelo de Clase II

Los suelos de clase II representan el 9.613 % (69.944 Km²) de la superficie total de la cuenca, los cuales se ubican en el sector central y al sureste de la cuenca, específicamente en las planicies o llanuras de inundación del río Tonosí. Adicionalmente, estos suelos se sitúan en elevaciones menores de 100 msnm con pendientes que no sobrepasan el 3.00 %.

Estos suelos son originarios de los llanos fluviales, son arables con pocas limitaciones que restringen su uso y de vocación agrícola para arroz, maíz, principalmente. Su textura es de arcilla fina, son planos, muy profundos, no erosionables, sin piedras, presenta colores pardos en la superficie, en áreas más húmedas el subsuelo es grisáceo y son considerados los suelos más fértiles de la cuenca y de la provincia de Los Santos.

Suelos de Clase IV

Los suelos de clase IV representan el 3.504 % (25.497 Km²) de la superficie total de la cuenca, los cuales se ubican al norte y sureste de la cuenca. Estos suelos situados en elevaciones menores de los 400 msnm, son originados a partir de viejas terrazas fluviales y otros de piedra caliza, y son de formación del Eoceno y Oligoceno. Son arables, con fuertes limitaciones solas o combinadas, las cuales restringen su uso a vegetaciones semipermanente y permanente, y requiere un manejo muy cuidadoso o ambas cosas. Adicionalmente, estos suelos están entre bien a moderadamente drenados, son profundos, a excepción de los suelos calizos que son de profundidad moderada y pedregosos.

Suelos de Clase VI

Los suelos de clase VI representan el 21.909 % (159.408 Km²) de la superficie total de la cuenca, los cuales se ubican en el sector central y al sureste de la cuenca. Estos suelos situados en elevaciones menores de los 400 msnm, son originados a partir de piedra sedimentaria, terrazas fluviales y rocas ígneas extrusivas. No son arables, con limitaciones severas, aptos para pastos, bosques, tierras de reserva, los mismos son muy usados para ganadería, en los cuales el

sobrepastoreo, las quemas y la erosión mantienen a estos suelos dentro de los más degradados en la cuenca y de la provincia de Los Santos, además de que son muy frágiles (susceptibilidad a la degradación), y requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas.

Suelos de Clase VII

Los suelos de clase VII, considerada como la clase de capacidad de uso de mayor superficie ocupada en la cuenca, representa el 64.974 % (472.759 Km²) de la superficie total. Estos suelos ubicados en diversos sectores de la cuenca y situados en elevaciones desde los 200 hasta 1400 msnm, no son arables tienen limitaciones muy severas, y son aptos para bosques, tierras de reserva y protección de cuencas hidrográficas. Generalmente son arcillosos rojizos y en parte pedregosos, donde interactúan los procesos de meteorización física y química sobre la roca madre y se originan suelos zonales, del grupo ferrasoles.

Son extremadamente ácidos, bajos en capacidad de intercambio de bases y extremadamente deficientes en todos los nutrimentos de las plantas y de textura muy pesada. Una vez deforestada la región, los suelos quedan totalmente estériles, por lo tanto, no es un suelo para fines agropecuarios de ningún tipo, sino un medio ambiente forestal.

CUADRO XV. SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LAS CLASES DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA.

Clases de Capacidad de Uso	Superficie	
	Km ²	%
II	69.944	9.613
IV	25.497	3.504
VI	159.408	21.909
VII	472.759	64.974
Total	727.608	100.000

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7 Cobertura y Uso Actual de la Tierra

El uso actual de la tierra de la cuenca del río Tonosí, se divide en seis grupos de cobertura y usos, resaltando al grupo de uso agropecuario como el de mayor superficie ocupada con el 55.018 % (400.318 Km²) del total de la cuenca. El resto de la superficie de la cuenca está conformada por los siguientes grupos de cobertura y uso actual de la tierra: (1) bosque, (2) vegetación arbustiva y herbácea, (3) área abierta sin o con poca vegetación, (4) superficies de agua y (5) áreas culturales; los cuales representan el 44.982 % (327.290 Km²) de la superficie total. A continuación, se describen los grupos de cobertura y usos de la tierra más relevantes desde el punto de vista de superficie ocupada en la cuenca (ANAM 2015):

El uso agropecuario como se mencionó anteriormente es considerado como el grupo de mayor superficie ocupada en la cuenca, el mismo está conformado por tres categorías: cultivos permanentes, cultivos anuales y pastos. Sin embargo, es conveniente señalar a la categoría de pastos, ya que el 51.830 % (377.120 Km²)

de la superficie total de la cuenca pertenece a esta categoría solamente, lo cual indica que la mitad de superficie de la cuenca se dedica a la actividad ganadera (uso agropecuario).

La cobertura boscosa, considerada como el segundo grupo de mayor superficie ocupada con el 28.033 % (203.965 Km²) del total de la cuenca, está conformado por las siguientes categorías: (1) bosque natural, (2) bosque secundario, (3) bosque de mangle, (4) bosque plantado de coníferas, (5) bosque plantado latifoliado. Es importante señalar, que el índice de cobertura boscosa de 28.033 %, desde el punto de vista hidrológico es muy negativo, ya que los procesos de regulación y almacenamiento de la escorrentía que se dan en la cuenca para las diferentes épocas del año, no se realizan de la mejor forma a causa de la poca cobertura boscosa.

CUADRO XVI. SUPERFICIE TERRITORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ, SEGÚN LA COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA.

Grupo de Cobertura y Usos	Categoría de Cobertura y Uso de la Tierra	Superficie	
		Km²	%
Bosques	Bosque natural	53.020	7.287
	Bosque secundario	134.087	18.429
	Bosque de mangle	10.217	1.404
	Bosque plantado de coníferas	0.100	0.014
	Bosque plantado latifoliado	6.541	0.899
	Subtotal	203.965	28.033
Vegetación Arbustiva Y Herbácea	Rastrojo	107.454	14.768
	Subtotal	107.454	14.768
Área Abierta sin o con Poca Vegetación	Afloramiento rocoso y suelo desnudo	2.986	0.410
	Playas y arenal natural	0.304	0.042
	Subtotal	3.290	0.452
Agropecuario	Cultivos permanente	1.063	0.146
	Arroz	22.032	3.028
	Maíz	0.103	0.014
	Pasto	377.120	51.830
	Subtotal	400.318	55.018
Superficie de Agua	Lagos, ríos, quebradas y otros.	4.222	0.580
	Subtotal	4.222	0.580
Área Cultural	Áreas pobladas	0.813	0.112
	Infraestructuras	2.528	0.347
	Explotación minera	0.317	0.044
	Estanque de acuicultura	1.645	0.226
	Salineras	3.056	0.420
	Subtotal	8.359	1.149
Total		727.608	100.000

Fuente: ANAM (2015).

4.2.8 Clima

El clima en la cuenca del río Tonosí, al igual que el de la península de Azuero y el resto del país, se caracteriza por presentar dos épocas, la seca y la lluviosa. La primera de ellas, la seca, se extiende desde el mes de diciembre hasta el mes de abril, y la húmeda, desde el mes mayo hasta el mes de noviembre. Estas dos épocas influyen notablemente en la variación estacional de diversas variables climáticas como lo son: precipitación, temperatura, humedad relativa y otras; generando así comportamientos muy heterogéneos o desiguales a lo largo del transcurso del año.

Según la clasificación climática del Doctor Alberto McKay, tomando como referencia la tipología climática de Emmanuel de Martonne, la cuenca del río Tonosí presenta tres tipos de clima los cuales se mencionan a continuación (ANAM 2010):

- Clima Subecuatorial con Estación Seca: este tipo de clima representa el 54.606 % (397.316 Km²) de la superficie total de la cuenca y se manifiesta en el sector occidental y septentrional de la cuenca. Se caracteriza por presentar temperaturas de 26.50 a 27.50 °C en las tierras bajas (menores a 20 msnm), en tanto que para las tierras altas (aprox. 1000 msnm) la temperatura puede llegar a 20 °C. Los niveles de precipitación anual son cercanos a los 2500 mm y la estación seca presenta una duración de tres a cuatro meses.
- Clima Tropical con Estación Seca Prolongada: este tipo de clima representa el 40.758 % (296.560 Km²) de la superficie total de la cuenca y se manifiesta en el sector oriental de la cuenca. Se caracteriza por presentar temperaturas

medias de 27 a 28 °C. Los totales pluviométricos anuales, siempre son inferiores a los 2500 mm, considerados los más bajos de todo el país. La estación seca presenta fuertes vientos, con predominio de nubes medias y altas; hay baja humedad relativa y fuerte evaporación.

- **Clima Oceánico de Montaña Baja:** este tipo de clima representa el 4.636 % (33.732 Km²) de la superficie total de la cuenca y se manifiesta en el sector occidental de la cuenca, en las proximidades del cerro Cambutal. Se caracteriza por ser un clima fresco, muy lluvioso y sin estación seca, salvo algunas semanas en febrero.

4.2.8.1 Precipitación

La precipitación promedio anual en la cuenca del río Tonosí de forma muy general es de 2075.25 mm. La distribución temporal de las lluvias es muy desigual a lo largo del año, en los meses que conforman la época seca (diciembre a abril) solo se registra el 8.03 % de lo que anualmente llueve, el restante 91.97 %, se registra en los meses de la época lluviosa (mayo a noviembre). Según el CUADRO XVII, el mes de mayor precipitación registrada en el año es octubre con el 17.92 % (369.73 mm) de lo que anualmente llueve y el mes de menor precipitación registrada en el año es febrero con el 0.29 % (5.97 mm) de lo que anualmente llueve.

Por otra parte, la distribución espacial de la precipitación es muy heterogénea. En el sector central – oriental de la cuenca se registran precipitaciones anuales entre los 1800 a 3500 mm. A partir del centro de la cuenca, las precipitaciones

disminuyen hacia la costa hasta llegar a valores más o menos a los 2000 mm anuales.

CUADRO XVII. PRECIPITACIONES MENSUALES REGISTRADAS POR LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS UBICADAS DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Estación	Unidad	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total Anual
124-002	mm	17.47	7.12	13.54	65.16	262.72	308.33	263.72	336.22	360.75	413.91	301.99	87.92	2438.85
	%	0.72	0.29	0.56	2.67	10.77	12.64	10.81	13.79	14.79	16.97	12.38	3.60	100.00
124-004	mm	7.22	3.68	2.46	39.76	171.66	190.60	176.99	211.30	195.48	306.81	245.34	83.16	1634.46
	%	0.44	0.23	0.15	2.43	10.50	11.66	10.83	12.93	11.96	18.77	15.01	5.09	100.00
124-005	mm	13.20	5.10	11.83	70.62	245.67	270.68	254.35	294.68	328.18	393.74	268.13	90.45	2246.63
	%	0.59	0.23	0.53	3.14	10.94	12.05	11.32	13.12	14.61	17.53	11.93	4.03	100.00
124-006	mm	5.43	7.97	12.54	62.03	237.15	245.03	197.86	249.98	296.04	364.45	243.07	59.50	1981.05
	%	0.27	0.40	0.63	3.13	11.97	12.37	9.99	12.62	14.94	18.40	12.27	3.00	100.00
Promedio General	mm	10.83	5.97	10.09	59.39	229.30	253.66	223.23	273.05	295.11	369.73	264.63	80.26	2075.25
	%	0.50	0.29	0.47	2.84	11.05	12.18	10.74	13.11	14.08	17.92	12.90	3.93	100.00

Fuente: Elaboración propia.

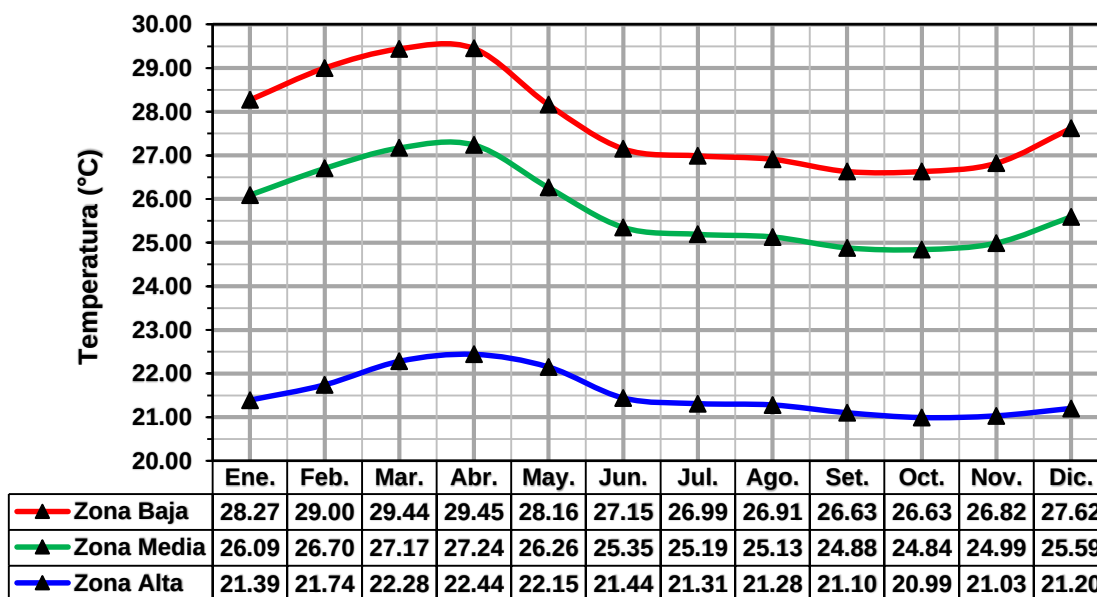
4.2.8.2 Temperatura del Aire Superficial

La temperatura del aire superficial en la cuenca del río Tonosí considerando sus tres zonas funcionales (parte baja, parte media y parte alta de la cuenca) se describen a continuación:

Temperatura promedio (ver FIGURA 3)

- Zona Baja (0 – 100 msnm): la temperatura promedio anual es de 27.76 °C. El mes de mayor temperatura en el año es abril con 29.45 °C y los meses de menor temperatura en el año son septiembre y octubre con 26.63 °C cada uno.
- Zona Media (100 – 680 msnm): la temperatura promedio anual es de 25.79 °C. El mes de mayor temperatura en el año es abril con 27.24 °C y el mes de menor temperatura en el año es octubre con 24.84 °C.
- Zona Alta (680 – 1400 msnm): la temperatura promedio anual es de 21.53 °C. El mes de mayor temperatura en el año es abril con 22.44 °C y el mes de menor temperatura en el año es octubre con 20.99 °C.

FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA PROMEDIO, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

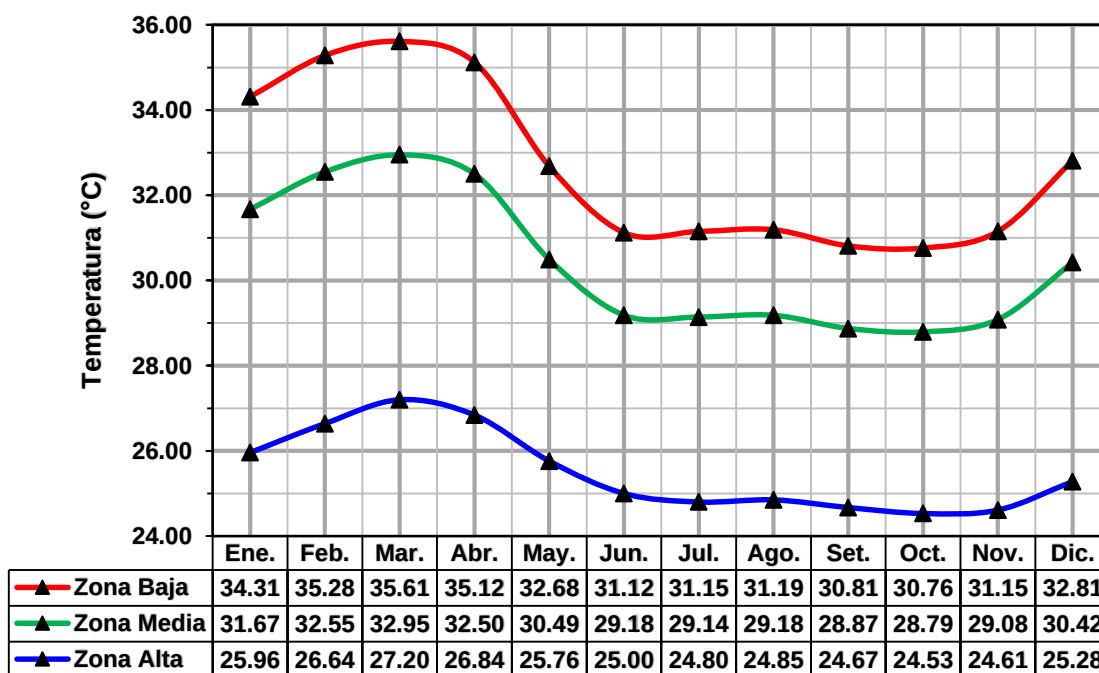


Fuente: Elaboración propia.

Temperatura máxima promedio (ver FIGURA 4)

- Zona Baja (0 – 100 msnm): la temperatura máxima promedio anual es de 32.67 °C. El mes de mayor temperatura en el año es marzo 35.61 °C y el mes de menor temperatura en el año es octubre con 30.76 °C.
- Zona Media (100 – 680 msnm): la temperatura máxima promedio anual es de 30.40 °C. El mes de mayor temperatura en el año es marzo con 32.95 °C y el mes de menor temperatura en el año es octubre con 28.79 °C.
- Zona Alta (680 – 1400 msnm): la temperatura máxima promedio anual es de 25.51 °C. El mes de mayor temperatura en el año es marzo con 27.20 °C y el mes de menor temperatura en el año es octubre con 24.53 °C.

FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

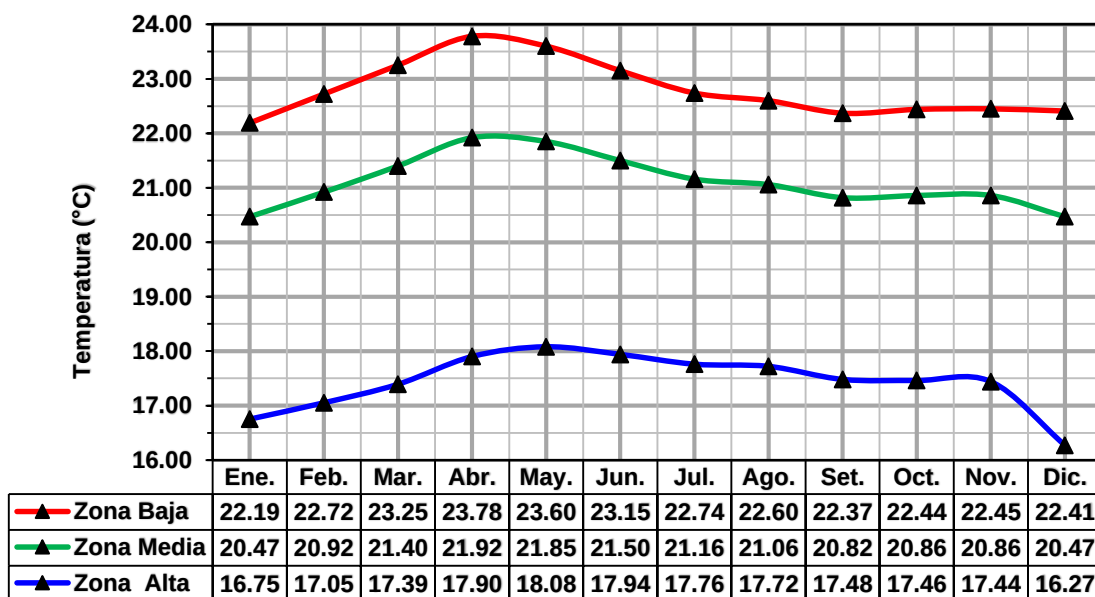


Fuente: Elaboración propia.

Temperatura mínima promedio (ver FIGURA 5)

- Zona Baja (0 – 100 msnm): la temperatura mínima promedio anual es de 22.81 °C. El mes de mayor temperatura en el año es abril con 23.78 °C y el mes de menor temperatura en el año es enero con 22.19 °C.
- Zona Media (100 – 680 msnm): la temperatura mínima promedio anual es de 21.11 °C. El mes de mayor temperatura en el año es abril con 21.92 °C y los meses de menor temperatura en el año son diciembre y enero con 20.47 °C cada uno.
- Zona Alta (680 – 1400 msnm): la temperatura mínima promedio anual es de 17.44 °C. El mes de mayor temperatura en el año es mayo con 18.08 °C y el mes de menor temperatura en el año es diciembre con 16.27 °C.

FIGURA 5.. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



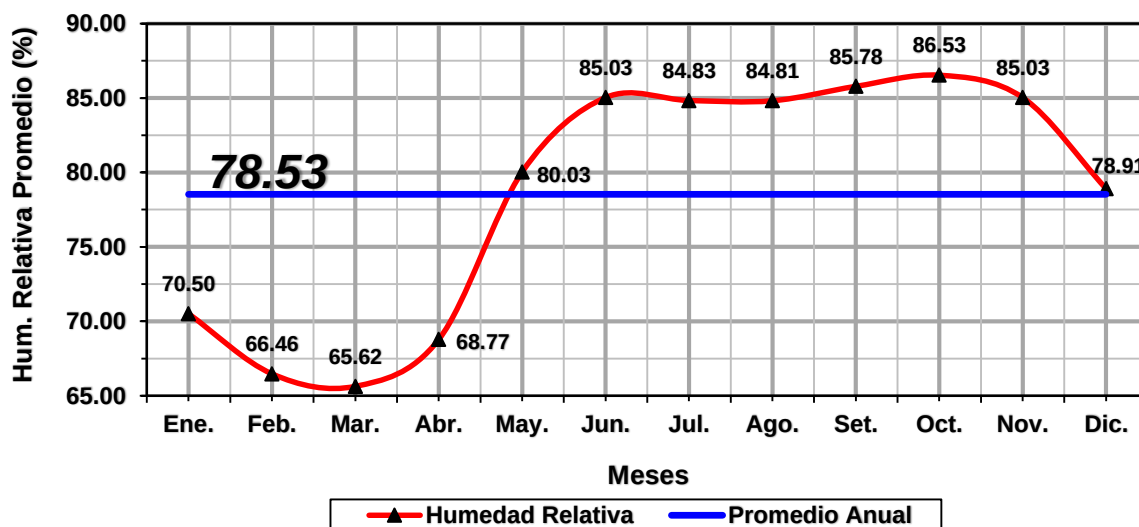
Fuente: Elaboración propia.

4.2.8.3 Humedad Relativa

La humedad relativa en la cuenca del río Tonosí considerando únicamente la parte baja de la misma, presenta un promedio anual de 78.53 %, resaltando al mes de octubre como el de mayor humedad relativa en el año con 86.53 % y al mes de marzo como el de menor humedad relativa en el año con 65.62 % (ver FIGURA 6).

Los meses que conforman la época seca presentan los porcentajes de humedad relativa promedio más bajos durante todo el año, los cuales oscilan entre valores del 65.62 % (mes de marzo) al 78.91 % (mes de diciembre). En referencia a los meses que conforman la época lluviosa presentan los porcentajes de humedad relativa promedio más alto durante todo el año, los cuales oscilan entre valores del 80.03 % (mes de mayo) al 86.53 % (mes de octubre).

FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA HUMEDAD RELATIVA EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PARTE BAJA).



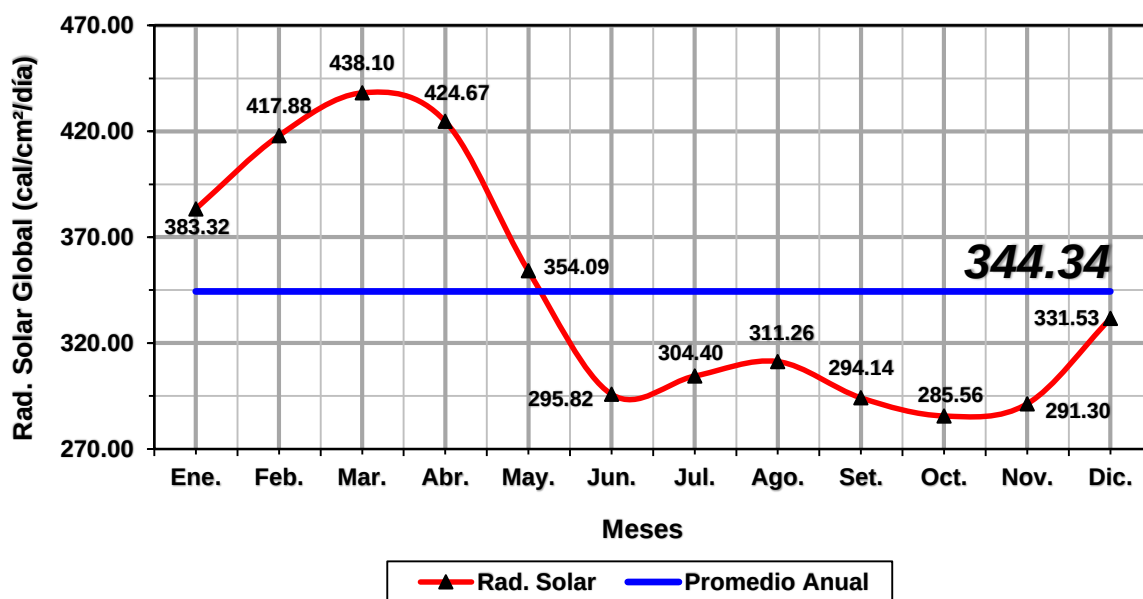
Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, Estación Tonosí 2 (124 – 004).

4.2.8.4 Radiación Solar (Global)

La radiación solar en la cuenca del río Tonosí de manera aproximada, presenta un promedio anual de $344.34 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$, resaltando al mes de marzo como el de mayor radiación solar en el año con $438.10 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ y al mes de octubre como el de menor radiación solar en el año con $285.56 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ (ver FIGURA 7).

Los meses que conforman la época seca presentan las radiaciones solares promedio más altas durante todo el año, las cuales oscilan entre valores de $331.53 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ (mes de diciembre) a $438.10 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ (mes de marzo). En referencia a los meses que conforman la época lluviosa presentan las radiaciones solares promedio más bajas durante todo el año, las cuales oscilan entre valores de $285.56 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ (mes de octubre) a $354.09 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ (mes de mayo).

FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



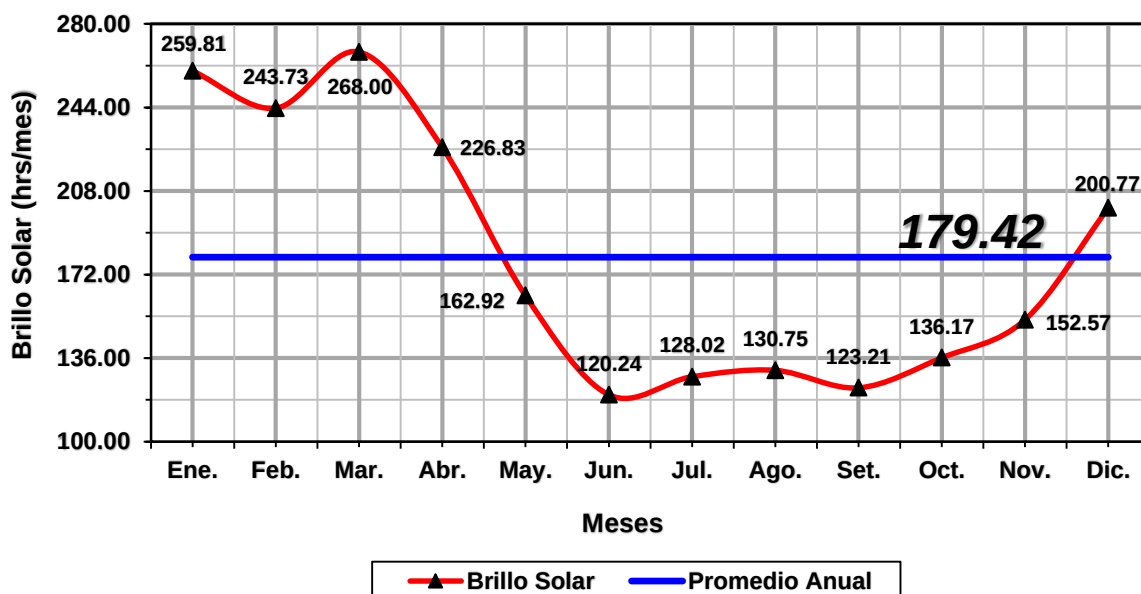
Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, Estación Los Santos (128 – 001).

4.2.8.5 Brillo Solar

Las horas de brillo solar en la cuenca del río Tonosí de manera aproximada, presentan un total anual de 2153.02 horas, resaltando al mes de marzo como el de mayor horas de brillo solar en el año con 268.00 horas y al mes de junio como el de menor horas de brillo solar en el año con 120.24 horas (ver FIGURA 8).

Los meses que conforman la época seca presentan las horas de brillo solar más altas durante todo el año, las cuales oscilan entre valores de 200.77 horas (mes de diciembre) a 268.00 horas (mes de marzo). En referencia a los meses que conforman la época lluviosa presentan las horas de brillo solar más bajas durante todo el año, las cuales oscilan entre valores de 120.24 horas (mes de junio) a 162.92 horas (mes de mayo).

FIGURA 8.. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL BRILLO SOLAR EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



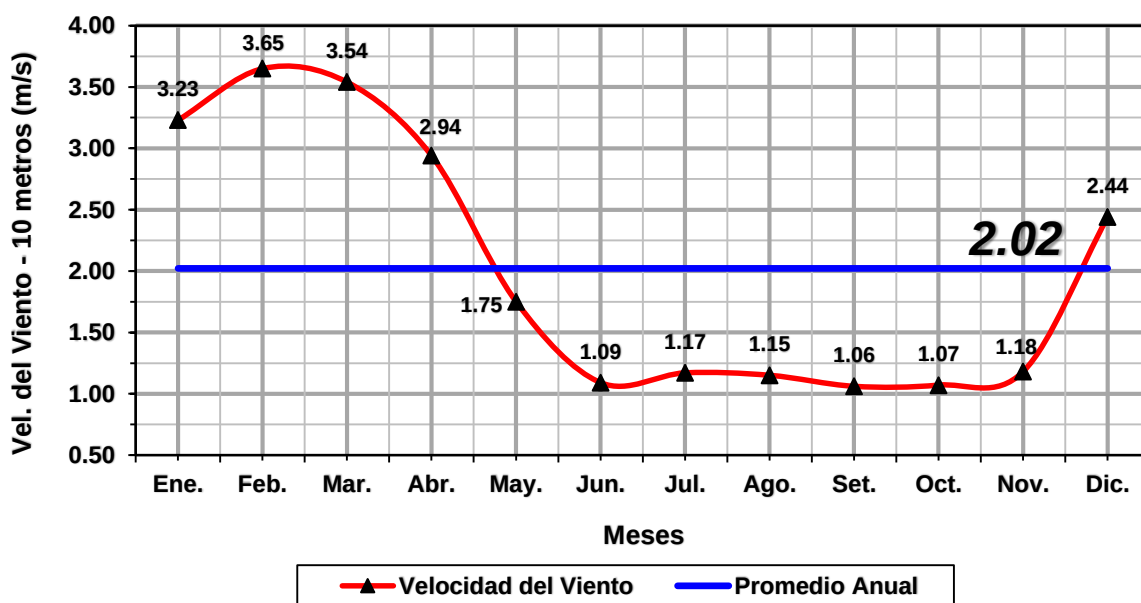
Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, Estación Los Santos (128 – 001).

4.2.8.6 Viento – 10 metros (velocidad)

La velocidad del viento en la cuenca del río Tonosí de manera aproximada, presentan un promedio anual de 2.20 m/s, resaltando al mes de febrero como el de mayor velocidad en el año con 3.65 m/s y al mes de septiembre como el de menor velocidad en el año con 1.06 m/s (ver FIGURA 9).

Los meses que conforman la época seca presentan las velocidades del viento promedio más altas durante todo el año, las cuales oscilan entre valores de 2.44 m/s (mes de diciembre) a 3.65 m/s (mes de febrero). En referencia a los meses que conforman la época lluviosa presentan las velocidades del viento promedio más bajas durante todo el año, las cuales oscilan entre valores de 1.06 m/s (mes de septiembre) a 1.75 m/s (mes de mayo).

FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO – 10 METROS DEL ALTURA EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



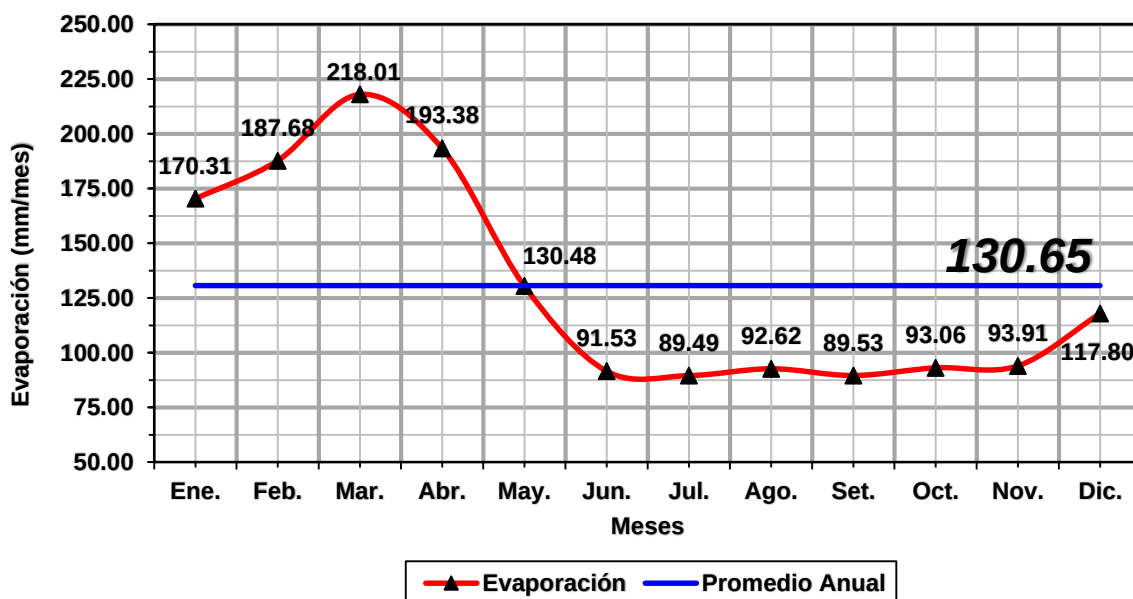
Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, Estación Los Santos (128 – 001).

4.2.8.7 Evaporación

La evaporación en la cuenca del río Tonosí considerando únicamente la parte baja de la misma, presenta un total anual de 1567.80 mm, resaltando al mes de marzo como el de mayor evaporación en el año con 218.01 mm y al mes de julio como el de menor evaporación en el año con 89.49 mm (ver FIGURA 10).

Los meses que conforman la época seca presentan las tasas de evaporación más altas durante todo el año, las cuales oscilan entre valores de 117.80 mm (mes de diciembre) a 218.01 mm (mes de marzo). En referencia a los meses que conforman la época lluviosa presentan las tasas de evaporación más bajas durante todo el año, las cuales oscilan entre valores de 89.49 mm (mes de julio) a 130.48 mm (mes de mayo).

FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA EVAPORACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PARTE BAJA).



Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, Estación Tonosí (124 – 004).

CUADRO XVIII. RESUMEN DE DATOS CLIMÁTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Año	Humedad Relativa (%) [*]	Radiación Solar (cal/cm ² /día) ^{**}	Brillo Solar (horas) ^{**}		Viento 10 metros (m/s) ^{**}	Evaporación (mm) [*]	
			Total	Diario		Total	Diario
Ene.	70.50	383.32	259.81	8.38	3.23	170.31	5.49
Feb.	66.46	417.88	243.73	8.70	3.65	187.68	6.70
Mar.	65.62	438.10	268.00	8.65	3.54	218.01	7.03
Abr.	68.77	424.67	226.83	7.56	2.94	193.38	6.45
May.	80.03	354.09	162.92	5.26	1.75	130.48	4.21
Jun.	85.03	295.82	120.24	4.01	1.09	91.53	3.05
Jul.	84.83	304.40	128.02	4.13	1.17	89.49	2.89
Ago.	84.81	311.26	130.75	4.22	1.15	92.62	2.99
Set.	85.78	294.14	123.21	4.11	1.06	89.53	2.98
Oct.	86.53	285.56	136.17	4.39	1.07	93.06	3.00
Nov.	85.03	291.30	152.57	5.09	1.18	93.91	3.13
Dic.	78.91	331.53	200.77	6.48	2.44	117.80	3.80
Promedio	78.53	344.34	-	5.92	2.02	-	4.31
Total	-	-	2153.02	-	-	1567.80	-

Fuente: Elaboración propia.

* Datos climáticos registrados por la estación meteorológica Tonosí 2 (124 – 004).

** Datos climáticos registrados por la estación meteorológica Los Santos (128 – 001).

4.3 Morfometría de Cuencas

4.3.1 Parámetros de Forma

La forma de una cuenca influye sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación dada. Así, en una cuenca de forma alargada el agua escurre en general por un solo cauce, mientras que en otra cuenca de forma ovalada los escurrimientos recorren cauces secundarios hasta

llegar a uno principal, por lo que la duración del escurrimiento es superior (MMA *et al.* 1998).

4.3.1.1 Factor de Forma (F_f)

El factor de forma, es un índice numérico con el que se puede expresar la forma y la mayor o menor tendencia hacia crecientes rápidas y muy intensas, a lentas y sostenidas de una cuenca. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor de forma tiende a uno (Ortiz 2004, MA 2010). De manera general, una cuenca con factor de forma bajo, está sujeta a menos crecientes que otra del mismo tamaño, pero con un factor de forma mayor. Los valores obtenidos a partir del factor de forma, pueden interpretarse como se muestra en el siguiente cuadro:

CUADRO XIX. FORMAS DE LA CUENCA, SEGÚN EL FACTOR DE FORMA.

Factor de Forma	Forma de la Cuenca
> 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.30	Alargada
0.30 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Ordoñez (2011).

La cuenca del río Tonosí presentó un factor de forma de 0.306, clasificándola con una forma ligeramente alargada. Las unidades hidrográficas secundarias

(subcuencas) presentaron los siguientes factores de forma: río Güera (0.552) y río Guaniquito (0.610), clasificando a la primera subcuenca con una forma ligeramente ensanchada y a la segunda con una forma ensanchada.

Generalizando la cuenca del río Tonosí presentó dos formas que enmarcar su clasificación como una cuenca de forma ligeramente alargada. Las subcuencas del río Güera y Guaniquito si fuesen analizadas como una sola unidad hidrográfica, representaría el 73.084 % (531.764 Km²) de la superficie total de la cuenca y se consideraría como una cuenca de forma muy ensanchada con un factor de forma hipotético de 0.867; caso contrario sería para la intercuenca del Tonosí Abajo, la cual representaría la superficie faltante de la cuenca con un valor de 26.916 % (195.844 Km²), clasificándola como una cuenca de forma alargada (0.274), a pesar de que no sea considerada realmente como una cuenca hidrográfica. En vista de lo antes mencionado, es de notar la influencia de la intercuenca del Tonosí Abajo, en la clasificación de la forma de la cuenca.

Desde el punto de vista de la susceptibilidad a generar crecidas respecto a la forma de la cuenca, la cuenca del río Tonosí al tener una forma ligeramente alargada atravesada por el cauce principal, debería tener una menor susceptibilidad a generar crecidas por los diversos factores que engloban a cuencas con esta forma. Sin embargo, esta situación no se da de ningún modo en la cuenca, debido a que las subcuencas del río Güera y Guaniquito al tener ambas formas ensanchadas, tienen una mayor susceptibilidad a generar crecidas, ya que el tiempo total empleado por el agua y su distancia recorrida son mucho más

cortas, provocando una mayor rapidez para la concentración del flujo superficial del agua en la red de canales. Además, es característico de cuencas con esta forma, tener cauces secundarios (microcuencas), que confluyen en un punto en común con posibilidades de sincronizar los caudales punta procedentes de sus áreas parciales, generando caudales máximos de descarga muy súbitos. Este punto en común donde confluyen los caudales picos por parte de las dos subcuencas cuando se dan eventos de máxima precipitación, es en el río el cual lleva de nombre de “*Tonosí*”; último trayecto recorrido por parte del cauce principal de la cuenca del río Tonosí, perteneciente a la intercuenca del Tonosí Abajo. Esto nos indica que la parte baja de cuenca puede ser afectada significativamente por las crecidas provenientes de ambas subcuencas ubicadas en la parte media y alta de la cuenca.

4.3.1.2 Relación de Elongación (R_e)

La relación de elongación o alargamiento, es un índice que permite establecer la forma de la cuenca hidrográfica al igual que el factor de forma. Varía entre 0.60 a 1.00 para una amplia variedad de climas y geologías. Además, parece estar fuertemente correlacionado con el relieve de la cuenca, de manera que los valores cercanos a la unidad son típicos de regiones de relieve bajo, en cambio donde varía de 0.60 a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno (Campos Aranda 1983). Los valores obtenidos de la relación de elongación se interpretan como se muestra en el siguiente cuadro:

CUADRO XX. FORMAS DE LA CUENCA, SEGÚN LA RELACIÓN DE ELONGACIÓN.

Relación de Elongación	Forma de la Cuenca
< 0.50	Muy alargada
0.50 - 0.70	Alargada
0.70 - 0.80	Menos alargada
0.80 - 0.90	Oval
0.90 - 1.00	Circular

Fuente: Pareta y Pareta (2011).

La cuenca del río Tonosí presentó una relación de elongación de 0.624, clasificándola con una forma alargada. Las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas) presentaron las siguientes relaciones de elongación: río Güera (0.838) y río Guaniquito (0.881), clasificando a ambas subcuencas con una forma oval.

4.3.1.3 Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelius (K_c)

El coeficiente de Gravelius o índice de compacidad, trata de expresar la influencia del perímetro y el área de la cuenca en la escurrimiento. Cuencas de forma alargada reducen las probabilidades de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en el río. En cualquier caso, el índice será mayor que la unidad mientras más irregular sea la cuenca y tanto más próximo a ella cuando la cuenca se aproxime más a la forma circular, alcanzando valores próximos a tres en cuencas muy alargadas (MA 2010). La forma de las unidades hidrográficas, en concordancia con los valores obtenidos por el coeficiente de Gravelius, se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO XXI. FORMAS DE LA CUENCA, SEGÚN EL COEFICIENTE DE GRAVELIUS.

Coeficiente de Gravelius	Forma de la Cuenca
1.00 a 1.25	Casi redonda a oval - redonda
1.25 a 1.50	Oval – redonda a oval - oblonga
1.50 a 1.75	Oval – oblonga a rectangular - oblonga
> 1.75	Rectangular – oblonga a rectangular alargada

Fuente: Ortiz (2004), modificado.

La cuenca del río Tonosí presentó un coeficiente de Gravelius de 1.939, clasificándola con una forma rectangular – oblonga a rectangular alargada. Las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas) presentaron los siguientes coeficientes de Gravelius: río Güera (1.759) y río Guaniquito (1.576), clasificando a la primera subcuenca con una forma rectangular – oblonga a rectangular alargada y a la segunda subcuenca con una forma oval – oblonga a rectangular - oblonga.

4.3.2 Parámetros de Relieve

El relieve entendido como la tercera dimensión de una cuenca hidrográfica, tiene una incidencia más fuerte sobre la escorrentía (hidrograma), que la forma misma de la cuenca. A una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal (MMA *et al.* 1998).

4.3.2.1 Pendiente Media de la Cuenca (I_p)

Según Campos Aranda (1983), la pendiente media de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas. El valor calculado de la pendiente media de la cuenca permite clasificar el relieve o topografía del terreno, según el siguiente cuadro:

CUADRO XXII. CLASIFICACIÓN DEL TERRENO, SEGÚN LA PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA.

Pendiente (%)	Tipo de Terreno
0 - 3	Llano
3 - 7	Suave
7 - 12	Medianamente accidentado
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuertemente accidentado
35 - 50	Muy fuertemente accidentado
50 - 75	Escarpado
> 75	Muy Escarpado

Fuente: Villodas (2008).

Para la estimación de la pendiente media de las unidades hidrográficas estudiadas, se presentan tres criterios utilizados, estos son: (1) criterio de J.W. Alvord, (2) criterio del rectángulo equivalente y (3) criterio índice de pendiente (M. Roche). Sin embargo, los dos primeros criterios presentaron valores muy altos y

pocos significativos, no acordes con las características reales del relieve de las unidades hidrográficas. En vista de esta situación, se decidió seleccionar el criterio índice de pendiente (M. Roche), para clasificar la pendiente media de las unidades hidrográficas analizadas, ya que los valores obtenidos por este criterio son más coherentes y se aproximan significativamente a las características reales del relieve.

La cuenca del río Tonosí presentó una pendiente media de 10.615 % (106.15 m/Km), clasificándola con una topografía medianamente accidentada. Las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas) presentaron los siguientes porcentajes de pendiente media: río Güera con 13.130 % (131.30 m/Km) y río Guaniquito con 17.732 % (177.32 m/Km), clasificando a ambas subcuencas con una topografía accidentada.

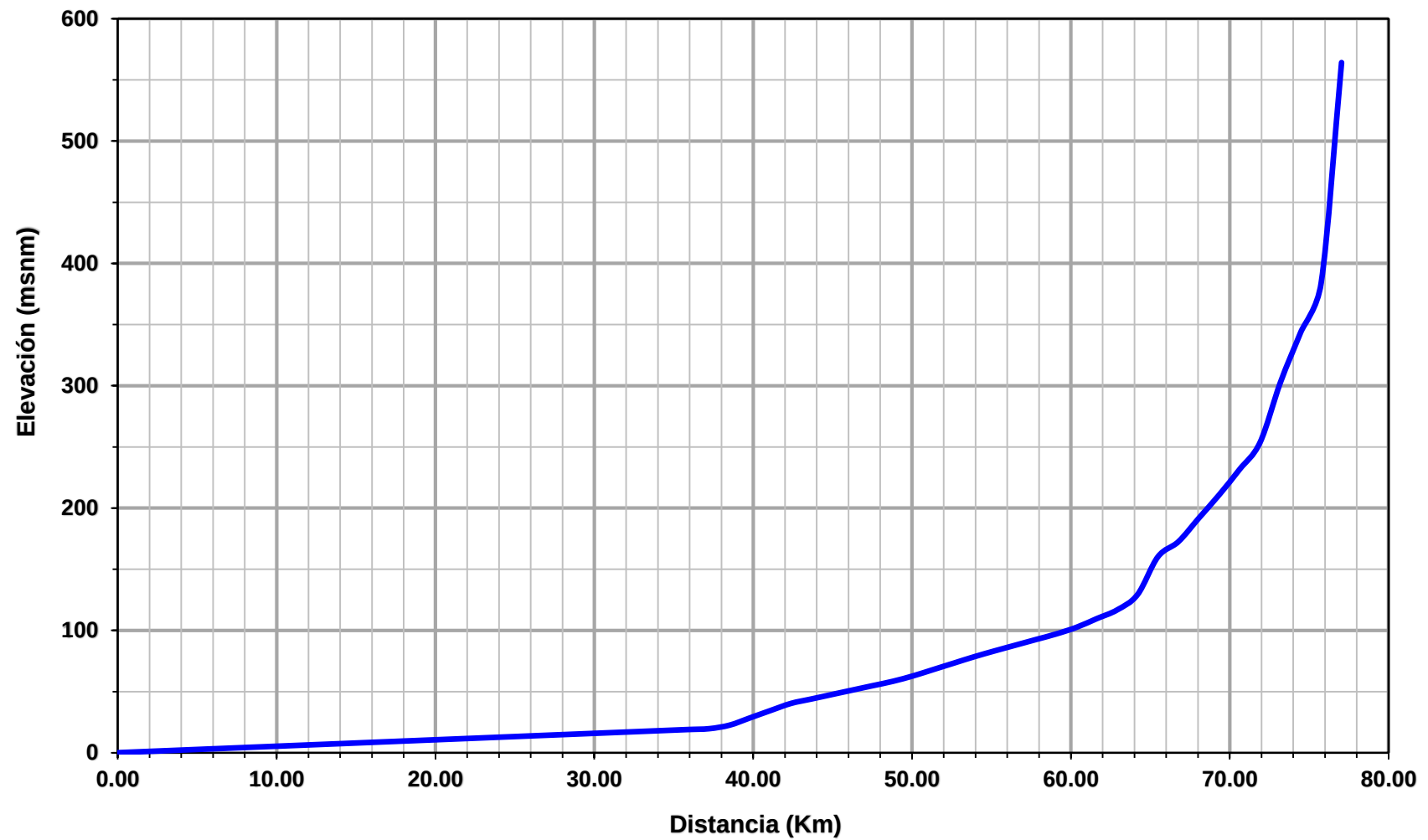
4.3.2.2 Perfil y Pendiente Media del Cauce Principal (I_c)

La pendiente media del cauce principal es un parámetro importante que influye sobre la velocidad de flujo, en la forma del hidrograma y en el estudio del comportamiento del recurso hídrico; por ejemplo, para la determinación de las características óptimas de su aprovechamiento hidroeléctrico (Villón 2004). Dependiendo de la pendiente existirán tramos críticos de erosión y tramos críticos de sedimentación, los primeros relacionados con las mayores pendientes y la segunda con las mínimas (Ortiz 2004). Para la estimación de la pendiente media del cauce principal de las unidades hidrográficas analizadas, se presentan dos criterios utilizados, estos son: (1) criterio Taylor y Schwarz y (2) criterio de la

pendiente uniforme. El criterio seleccionado para definir la pendiente media del cauce principal, fue el de Taylor y Schwarz, ya que permitió determinar la pendiente de cada uno de los segmentos que conforman el cauce, dándole mayor representatividad al valor de pendiente calculado.

La cuenca del río Tonosí presentó una pendiente media del cauce principal de 0.128 % (1.28 m/Km). Las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas) presentaron los siguientes porcentajes de pendiente media del cauce principal: río Güera con 0.587 % (5.87 m/Km) y río Guaniquito con 0.889 % (8.89 m/Km). A continuación, se presenta el perfil del cauce principal de la cuenca del río Tonosí (ver FIGURA 11).

FIGURA 11. PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.3 Análisis Hipsométrico (Área – Altitud)

4.3.2.3.1 Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica, es la representación gráfica del relieve de una cuenca; es decir la curva hipsométrica indica el porcentaje de área o superficie de la cuenca que existe por encima de una cota o elevación determinada (Cahuana y Yugar 2009). La representación gráfica de la curva hipsométrica de la cuenca del río Tonosí, se muestra en la FIGURA 12.

4.3.2.3.2 Curva o Polígono de Frecuencias Altimétricas

La curva o polígono de frecuencias altimétricas, es la representación gráfica de la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes altitudes a partir desde el punto más bajo hasta el más alto de la cuenca (Cahuana y Yugar 2009). La representación gráfica de las curvas o polígonos de frecuencias altimétricas de la cuenca del río Tonosí, se muestra en la FIGURA 13.

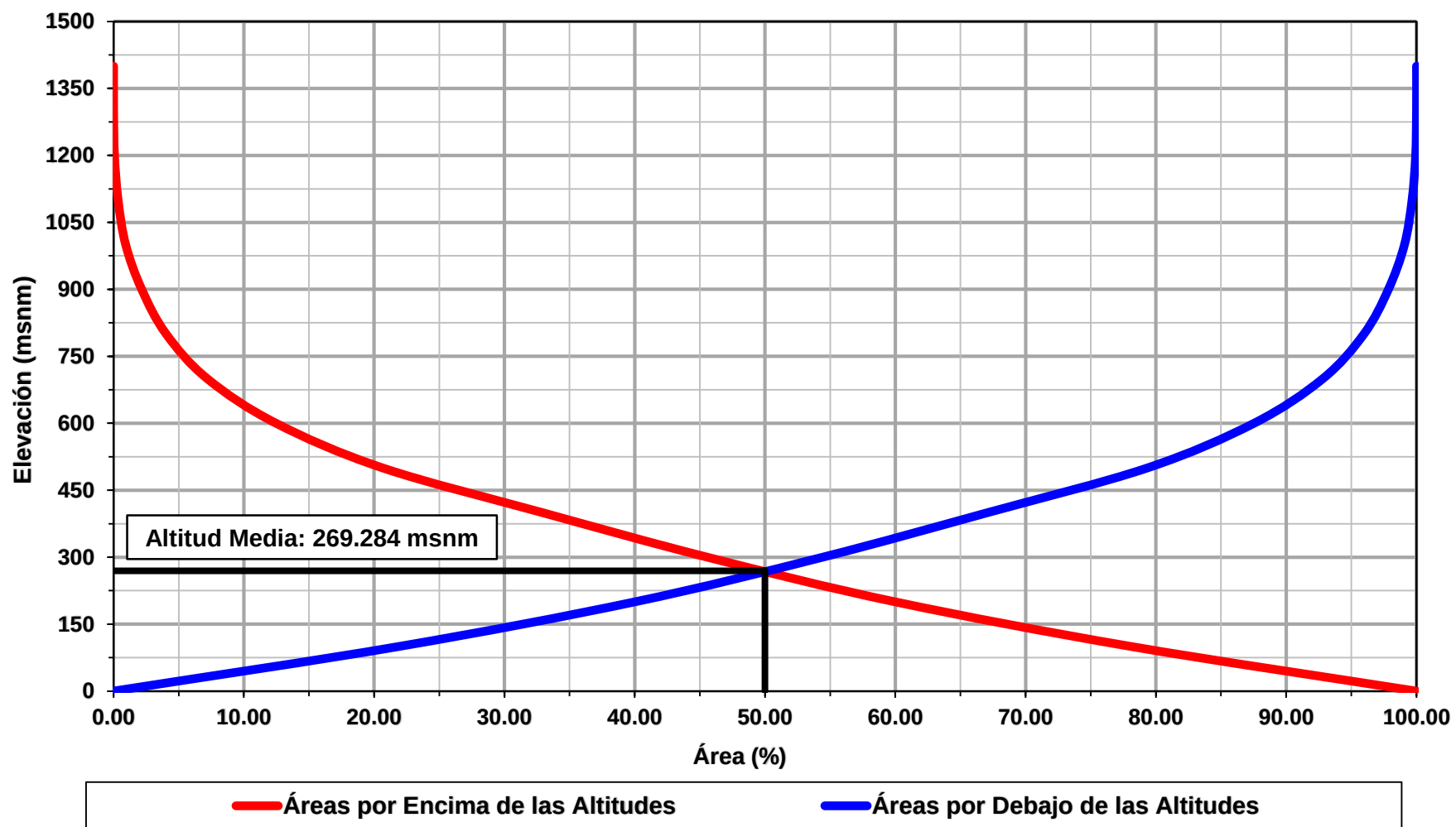
4.3.2.3.3 Altitudes Características

4.3.2.3.3.1 Altitud Media ($\bar{H}$) y Altitud Más Frecuente ($\bar{H}_f$)

La altitud media, es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50 % del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50 % está situado por debajo de ella. Respecto a la altitud más frecuente, se define como el máximo valor en porcentaje de la curva o polígono de frecuencias altimétricas (Cahuana y Yugar 2009).

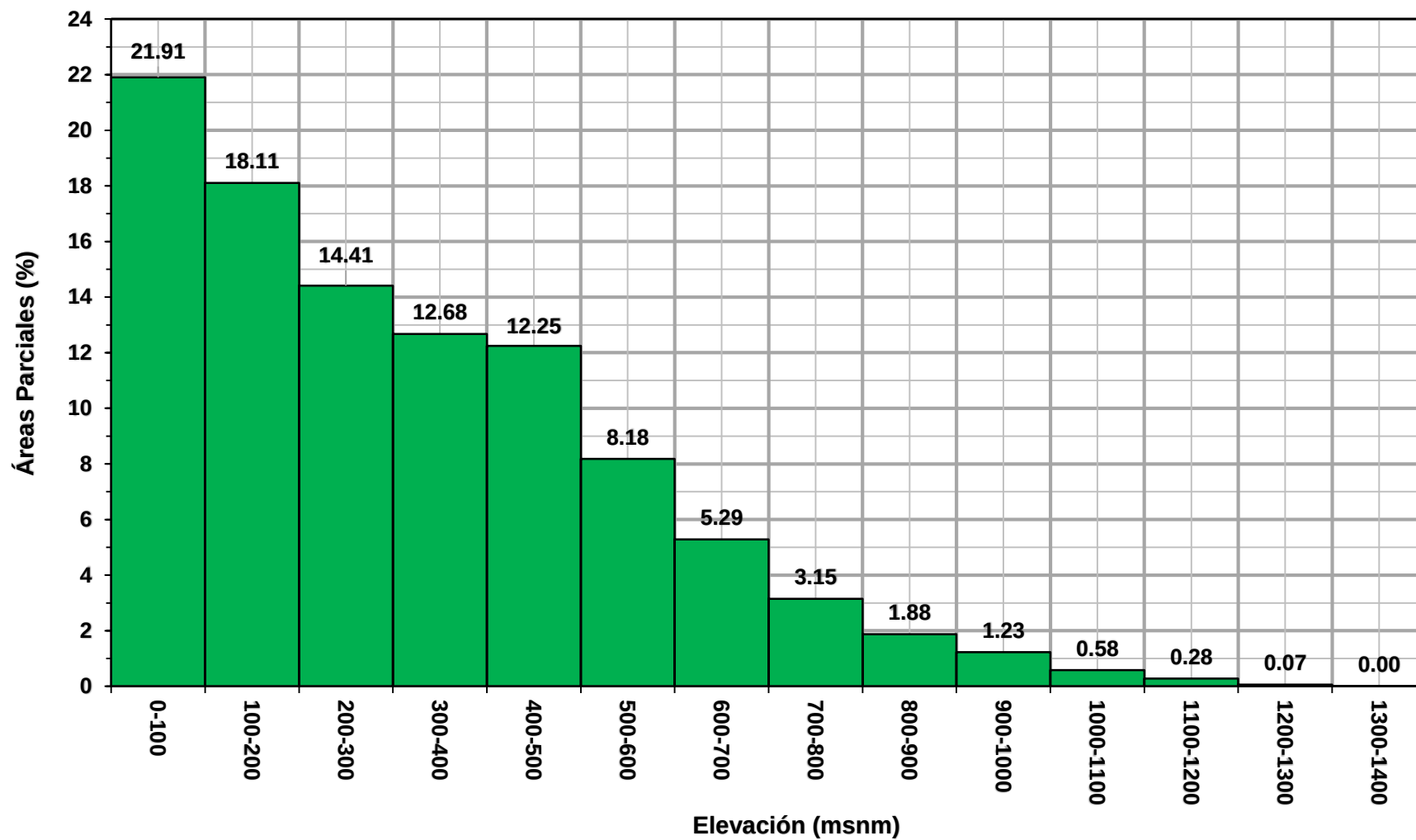
La cuenca del río Tonosí presentó una altitud media de 269.284 msnm y una altitud más frecuente entre los 0 – 100 msnm, con un porcentaje de área parcial de 21.91 %. Las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas) presentaron las siguientes altitudes características: río Güera: altitud media de 347.695 msnm y la altitud más frecuente entre 200 – 300 msnm con un porcentaje de área parcial de 19.14 % y río Guaniquito: altitud media de 307.689 msnm y la altitud más frecuente entre los 100 – 200 msnm, con un porcentaje de área parcial de 26.61 %.

FIGURA 12. CURVA HIPSONÉTICA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 13. CURVA O POLÍGONO DE FRECUENCIAS ALTIMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia

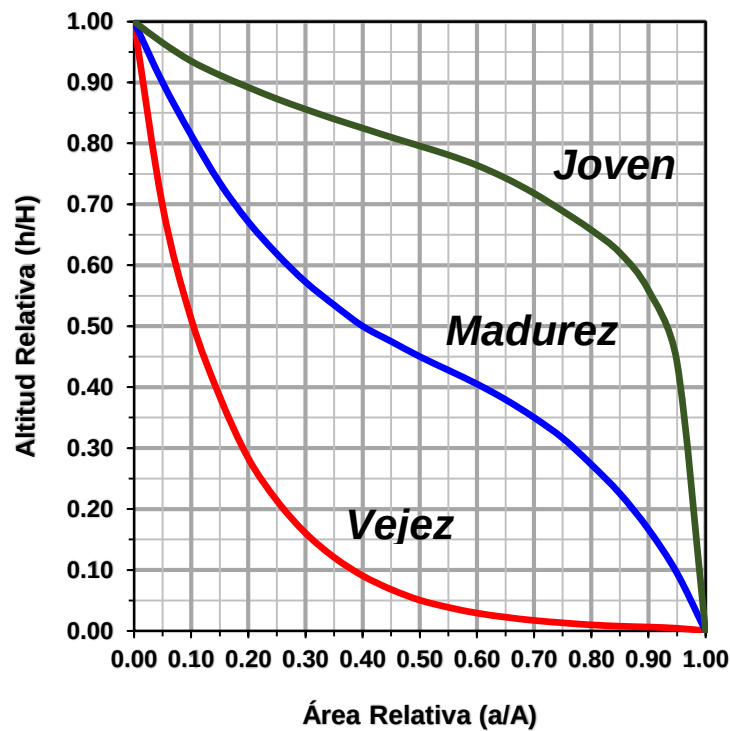
4.3.2.3.4 Curva Hipsométrica Adimensional e Integral Hipsométrica (IH)

Para fines comparativos entre cuencas y para determinar la etapa de desarrollo, y el ciclo erosivo de la misma, es conveniente utilizar la curva hipsométrica adimensional, la cual muestra las diferencias entre la sinuosidad y la proporción del área bajo dicha curva. La curva hipsométrica adimensional está compuesta por dos ejes, la ordenada representada por la altura relativa (h/H) y la abscisa representada por el área relativa (a/A), en donde h : altura de cada contorno o curva de nivel, medido por encima de la elevación de mínima de la cuenca, H : desnivel total de la cuenca, a : área entre curva de nivel y A : área total de cuenca (García 2014).

La curva hipsométrica adimensional se correlaciona de la siguiente forma con las curvas hipsométricas adimensionales teóricas: (1) curva convexa: etapa de desequilibrio, cuenca geológicamente joven (cuenca de meseta), y con un gran potencial erosivo; (2) curva con forma de S: etapa de equilibrio, cuenca geológicamente madura (cuenca de pie de montaña) y (3) curva cóncava: fase de senectud (vejez), cuenca sedimentaria (cuenca de valle), (Campos Aranda 1983). A continuación, en la FIGURA 14, se presentan las curvas hipsométricas adimensionales anteriormente explicadas.

Cuando las curvas hipsométricas adimensionales presentan variaciones, ya sea por apartarse de las curvas hipsométricas adimensionales teóricas o por presentar más de un punto de inflexión, ello puede relacionarse con controles tectónicos o litológicos.

FIGURA 14. CURVAS HIPSONÉTICA ADIMENSIONALES TEÓRICAS, CARACTERÍSTICAS DEL CICLO EROSIVO Y TIPO DE CUENCA.



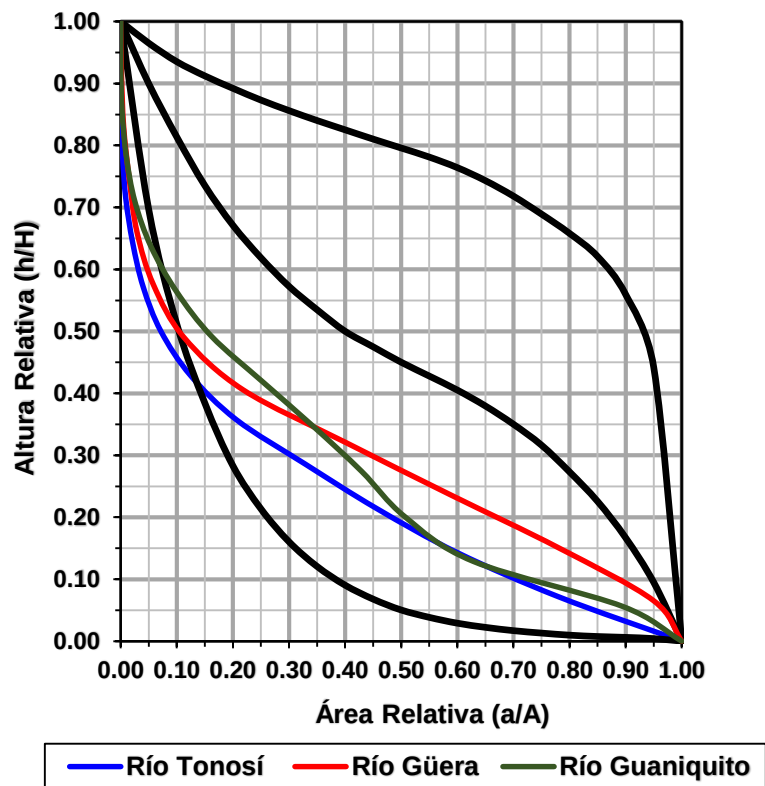
Fuente: Campos Aranda (1983).

Por otra parte, la integral hipsométrica, es definida como el área bajo la curva hipsométrica adimensional y presenta valores comprendidos entre cero y uno. El valor de la integral hipsométrica es usado para identificar el estado o etapa de desarrollo de la cuenca, al igual que la curva hipsométrica adimensional. Con valores cercanos a uno de la integral hipsométrica, estaríamos ante curvas convexas las cuales indican etapa de equilibrio (juventud), mientras que con valores de la integral hipsométrica cercanos a cero, encontramos curvas cóncavas que se asocia a una cuenca sedimentaria (vejez). Strahler, citado por García (2014), clasifica la integral hipsométrica de la siguiente forma:

- Valores superiores al 60 %: la cuenca se caracteriza por un desequilibrio en el funcionamiento de la misma (juventud).
- Valores entre el 35 – 60 %: representan una cuenca en equilibrio (madurez).
- Valores inferiores al 35 %: implican fase de senectud (cuenca sedimentaria).

La cuenca del río Tonosí presentó su curva hipsométrica adimensional (ver FIGURA 15), adaptada a la curva en fase de senectud. Las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas) presentaron sus curvas hipsométricas adimensionales, adaptadas igualmente a la curva en fase de senectud (vejez).

FIGURA 15. CURVA HIPSONÉTICA ADIMENSIONAL DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.

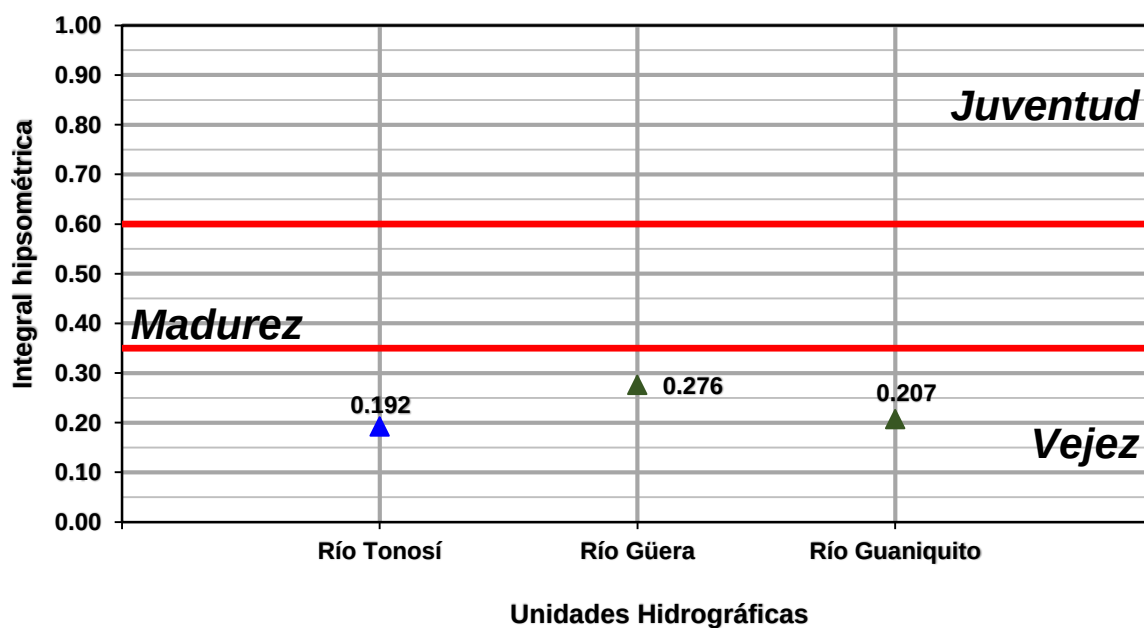


Fuente: Elaboración propia.

De forma similar a lo anteriormente planteado, el estado o fase de desarrollo para cada unidad hidrográfica, se determinó igualmente a través de la integral hipsométrica. En la FIGURA 16, se muestra la integral hipsométrica de cada unidad hidrográfica analizada, tomando en cuenta los límites de cada estado de desarrollo establecido.

La cuenca del río Tonosí presentó la integral hipsométrica con un valor de 0.192, clasificándola en una fase de senectud (vejez). Las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas) presentaron las siguientes integrales hipsométricas: río Güera (0.276) y río Guaniquito (0.207), clasificando a ambas subcuencas en una fase de senectud (vejez).

FIGURA 16. INTEGRALES HIPSONÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.4 Tiempo de Concentración (T_c)

El tiempo de concentración conocido también como tiempo de respuesta o de equilibrio, se define como el tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, se alcance el estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el sitio de desagüe. Comúnmente, el tiempo de concentración se atribuye al tiempo que tarda una gota de agua caída en el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de desagüe, lo cual no siempre se corresponde con el fenómeno real, pues pueden existir lugares en la cuenca en los que el agua caída tarde más en llegar al desagüe que el más alejado. Además, debe tenerse claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante ya que depende ligeramente de las características de la lluvia y de la cuenca (Vélez y Botero 2010).

Es importante señalar, que los resultados de la estimación del tiempo de concentración para cada unidad hidrográfica analizada, fueron muy diferentes entre sí, puesto que cada autor estima su fórmula para una cuenca con características muy particulares, por lo que se tuvo mucho cuidado en la selección del valor (fórmula), más adecuado que defina el tiempo de concentración de cada unidad hidrográfica. Esta selección del valor (fórmula) más adecuado para la estimación del tiempo de concentración, se realizó a través del tiempo de concentración promedio e intervalos de confianza de 95 % de las seis fórmulas utilizadas, permitiendo eliminar los valores extremos y determinar los valores que mayor proximidad presentaron a el valor promedio en cada unidad hidrográfica.

La cuenca del río Tonosí presentó un tiempo de concentración promedio de 19.826 horas (ver CUADRO XXIII y FIGURA 17). La única fórmula descartada de las seis utilizadas fue la de Passini, debido a que su valor de 42.665 horas excedía el intervalo de confianza mayor (33.274 horas). De las cinco fórmulas restantes ubicadas dentro de los intervalos o límites de confianza de 95 %, se seleccionó la fórmula de Témez para definir el tiempo de concentración de la cuenca, cuyo valor estimado presentó la mayor proximidad respecto al promedio con un valor de 20.059 horas, seguido de la fórmula de Bransby – Williams con 25.148 horas.

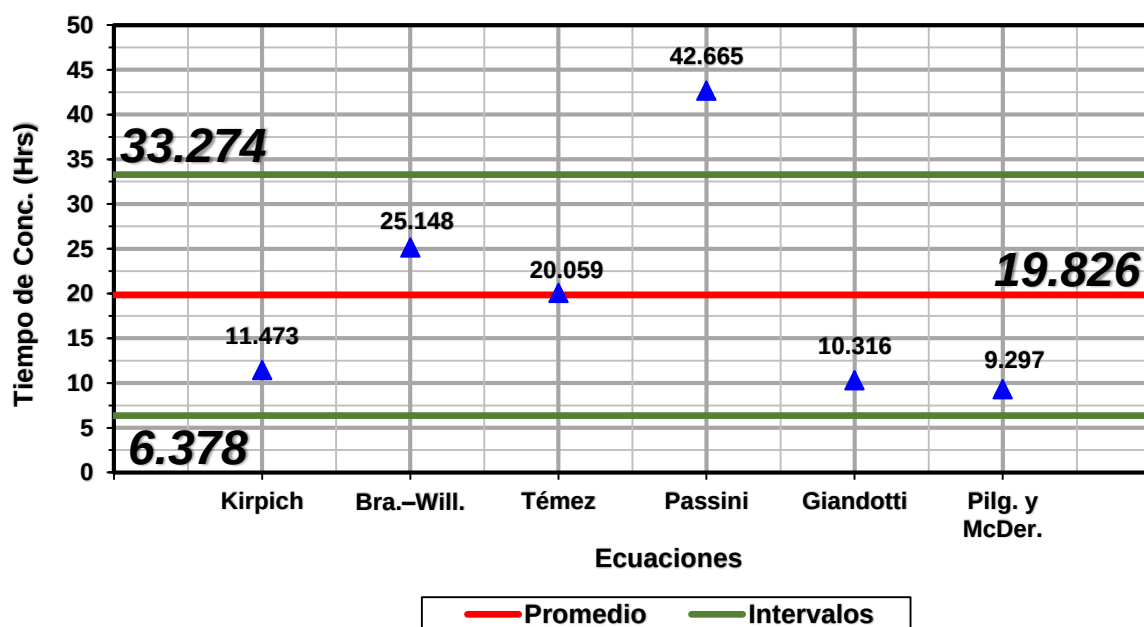
En relación a las unidades hidrográficas secundarias(subcuenas), el río Güera presentó un tiempo de concentración promedio de 10.081 horas, seleccionando a la fórmula de Témez para definir el tiempo de concentración de la subcuenca con un valor de 10.647 horas. El río Guaniquito presentó un tiempo de concentración promedio de 6.457 horas, seleccionando a la fórmula de Pilgrim y McDermott para definir el tiempo de concentración de la subcuenca con un valor de 5.618 horas.

CUADRO XXIII. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.

Fórmula	Símbolo	Unidad	Unidad Hidrográfica Principal	Unidades Hidrográficas Secundarias	
			Río Tonosí	Río Güera	Río Guaniquito
Kirpich	T_c	Hrs	11.473	5.337	3.288
Bransby y Williams	T_c	Hrs	25.148	12.182	8.887
Témez	T_c	Hrs	20.059	10.647	7.771
Passini	T_c	Hrs	42.665	19.164	9.681
Giandotti	T_c	Hrs	10.316	6.205	3.499
Pilgrim y McDermott	T_c	Hrs	9.297	6.951	5.618
Promedio			19.826	10.081	6.457
Desviación Estándar			12.815	5.188	2.739

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 17. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Parámetros de la Red Hidrográfica

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca. La red de drenaje es probablemente uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio.

Diversos autores coinciden en afirmar que mientras mayor sea el grado de bifurcación del sistema de drenaje de una cuenca, es decir, entre más corrientes tributarias presente, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al presentar una densa red de drenaje, una gota de lluvia deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad del escurrimiento es mayor (Universidad de Talca 2012).

4.3.3.1 Jerarquización de la Red Drenaje – Sistema Strahler

La jerarquización de la red de drenaje o en otras palabras la asignación del número de orden de las corrientes (U), consiste en subdividir los cursos de agua que forman dicha red de drenaje superficial en segmentos de cauce clasificados en función del orden de la magnitud de los mismos. Tal clasificación utilizando el sistema Strahler se realizó mediante la asignación de valores numéricos y de colores a cada corriente (segmentos de cauce) de la siguiente manera (ver FIGURA 18):

- Las corrientes que no tienen ningún tributario serán consideradas de primer (1°) orden.

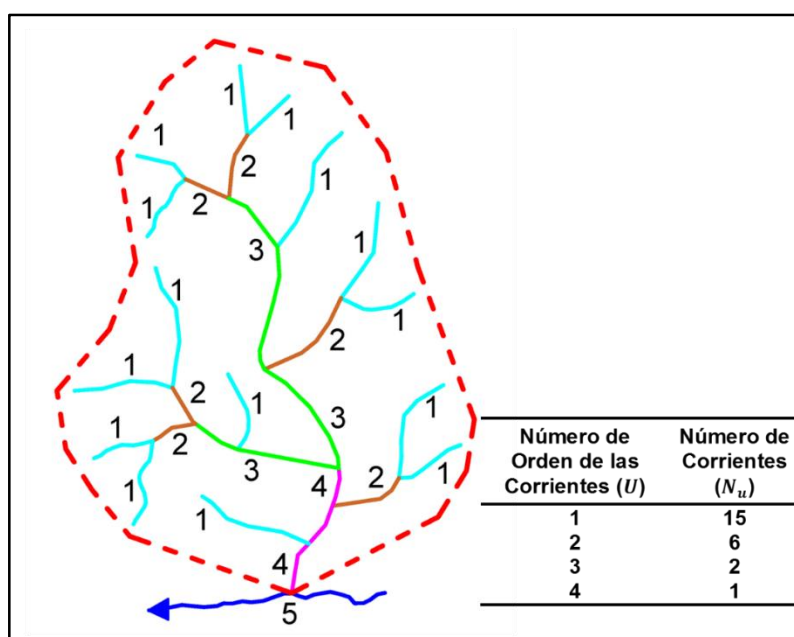
- La unión de dos corrientes de primer (1°) orden implica un aumento de orden de magnitud en el curso resultante de la confluencia. Ese curso resultante será considerado como una corriente de segundo (2°) orden.
- Si se encuentran dos corrientes de segundo (2°) orden, la magnitud vuelve a incrementarse en el curso resultante, siendo el valor tras la confluencia, tres. Es decir, cuando confluyan dos cursos de orden de magnitud " U ", el curso resultante tras la confluencia obtendrá el valor " $U+1$ ". Este proceso deberá continuarse hasta culminar con la última corriente de la red de drenaje de la cuenca.

El encuentro de un curso de orden inferior con otro de orden superior no significa un cambio de orden de magnitud. Es decir, si se origina una confluencia entre un curso de primer (1°) orden y otro de tercer (3°) orden, el curso resultante continúa siendo de tercer (3°) orden. Solo aumenta cuando se da la confluencia entre dos cursos de idéntica magnitud. Es conveniente señalar que el orden de la cuenca estará dado por la corriente de mayor orden que por lo general coincide con la del cauce principal, el cual será un indicador de la magnitud de bifurcación y de la extensión de la red de drenaje dentro de la cuenca.

En la jerarquización de la red de drenaje de la cuenca del río Tonosí, solo se consideraron las corrientes intermitentes y perennes, debido a la escala de los mapas topográficos utilizados, siendo extremadamente sensitivo para esta clasificación. Por otra parte, las corrientes intermitentes marcadas fueron

establecidas en su totalidad por la topografía (vaguadas)⁷ existente dentro de la cuenca y no por lo que realmente expresa su definición, lo cual será conveniente realizar comprobaciones en campo para verificar la existencia de tales corrientes (ver ANEXO XXV).

FIGURA 18. DESIGNACIÓN DEL NÚMERO ORDEN DE LAS CORRIENTES.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.2 Patrón de Drenaje

El patrón de drenaje desarrollado por un sistema de corrientes y tributarios depende de la pendiente de las laderas, área de drenaje, cobertura vegetal, naturaleza de las rocas subyacentes, caudal, permeabilidad del suelo, nivel e

⁷ Líneas que unen los puntos más deprimidos del relieve o el valle y es por donde se canaliza el agua que escurre en la superficie, principalmente en la época lluviosa.

intensidad de lluvias y en parte de la historia de las corrientes. Casi todas las corrientes siguen una especie de ramificaciones, hacia el sentido en que reciben sus tributarios; estos tributarios tienen, a su vez, otros más pequeños; pero la forma en que se desarrolla la ramificación varía sensiblemente y es lo que se llama patrón de drenaje (Universidad del Cauca s.f.).

El estudio del patrón de drenaje es muy importante ya que la erosión de las corrientes produce muchos tipos de valles, que exhiben características topográficas, que generalmente pueden revelar la litología, las estructuras geológicas (como fallas, pliegues, diaclasamiento o fracturamientos fuertes, diques, domos y otros), así como la historia geomórfica de un área durante la erosión (Universidad del Cauca s.f.).

La cuenca del río Tonosí presentó un solo tipo de patrón de drenaje, que corresponde a un patrón de tipo dendrítico conformado por un conjunto de corrientes pequeñas, cortas e irregulares que se asemejan a las ramificaciones de un árbol frondoso y que tienen una orientación en todas las direcciones, llegando al cauce principal formando cualquier ángulo.

Por otra parte, este patrón de drenaje pone en evidencia o manifiesto, la existencia de una baja cobertura vegetal provocando la erosión en las capas superficiales del suelo, altas velocidades de la escorrentía superficial, poco recargamiento de los acuíferos, mala regulación de la descarga (caudales) de los afluentes en las épocas del año y otros.

4.3.3.3 Número de Corrientes, Según el Orden (N_u)

La cuenca del río Tonosí presentó una red drenaje de orden seis con un total de 3678 corrientes. Según el grado de bifurcación se determinó que la cuenca tiene 3239 corrientes de primer (1°) orden que representan el 88.064 % del total, 363 corrientes de segundo (2°) orden que representan el 9.869 % del total, 57 corrientes de tercer (3°) orden que representan el 1.550 % del total, 14 corrientes de cuarto (4°) orden que representan el 0.381 % del total, cuatro corrientes de quinto (5°) orden que representan el 0.109 % del total y una corriente de sexto (6°) orden que representa el 0.027 % del total.

En referencia a las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas), el río Güera presentó una red de drenaje de orden seis con un total de 2169 corrientes y el río Guaniquito presentó una red de drenaje de orden cinco con un total de 1062 corrientes.

4.3.3.4 Longitud Total de las Corrientes, Según el Orden (L_u)

La longitud total de las corrientes de diferentes órdenes de la cuenca del río Tonosí, tiene un valor de 2585.973 Km. Las corrientes de primer (1°) orden tienen una longitud total de 1770.080 Km que representan el 68.449 % de total, las corrientes de segundo (2°) orden tienen una longitud 471.378 Km que representan el 18.228 % del total, las corrientes de tercer orden (3°) tienen una longitud de 187.126 Km que representan el 7.236 %, las corrientes de cuarto (4°) orden tienen una longitud 76.704 Km que representan el 2.966 % del total, las corrientes de quinto (5°) orden tienen una longitud 22.291 Km que representan el 0.862 % del

total y la corriente de sexto (6°) orden tienen una longitud 58.394 Km que representa el 2.258 % del total.

En referencia a las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas), el río Güera tiene una longitud total de las corrientes de diferentes órdenes de 1399.868 Km y el río Guaniquito tiene una longitud total de las corrientes de diferentes órdenes de 733.688 Km.

CUADRO XXIV. CLASIFICACIÓN ORDINAL DE LAS CORRIENTES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.

Número de Orden de las Corrientes	Unidad Hidrográfica Principal	Unidades Hidrográficas Secundarias		
	Río Tonosí	Río Güera	Río Guaniquito	Tonosí Abajo
1	3239	1911	948	380
2	363	219	92	52
3	57	29	16	12
4	14	6	5	3
5	4	3	1	-
6	1	1	-	1*
Total	3678	2169	1062	448

Fuente: Elaboración propia.

* No fue considerada como corriente en la unidad hidrográfica principal, por tratarse del mismo río y mismo orden.

CUADRO XXV. LONGITUD TOTAL DE LAS CORRIENTES (Km) DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS SECUNDARIAS.

Número de Orden de las Corrientes	Unidad Hidrográfica Principal	Unidades Hidrográficas Secundarias		
	Río Tonosí	Río Güera	Río Guaniquito	Tonosí Abajo
1	1770.08	985.771	512.749	271.56
2	471.378	245.837	131.132	94.409
3	187.126	89.545	54.989	42.592
4	76.704	54.678	16.743	5.283
5	22.291	4.216	18.075	-
6	58.394	19.821	-	38.573
Total	2585.973	1399.868	733.688	452.417

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.5 Densidad de Drenaje (D_d)

La densidad de drenaje es uno de los índices de mayor importancia en el análisis de la red de drenaje de una cuenca y ha sido reconocido por la mayoría de investigadores como una característica topográfica de significación fundamental, al mismo tiempo que ha sido ampliamente aceptada por su facilidad de comprensión, simplicidad y utilidad. La densidad de drenaje se define como longitud de canales por unidad de área, es un parámetro que se asocia con materiales impermeables a nivel subsuperficial, vegetación dispersa y relieves montañosos (Strahler 1964). La densidad de drenaje no es una constante para una cuenca, porque aumenta y merma durante períodos lluviosos y secos respectivamente.

Una cuenca bien drenada generaría poca oportunidad de darle tiempo a la escorrentía superficial de infiltrarse y percolar a nivel subterráneo, de allí que los acuíferos de estas regiones son de bajos rendimientos o en su defecto el volumen de recarga es muy pobre (Ruiz, citado por Delgadillo y Moreno 2012). Por el contrario, una densidad de drenaje baja refleja una cuenca pobremente drenada con una respuesta hidrológica muy lenta.

Desde otro punto de vista, en sitios donde los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables, coberturas vegetales densas y donde el relieve es bajo, ocurren densidades de drenaje bajas. Los valores altos de la densidad reflejan generalmente áreas con suelos fácilmente erosionables o relativamente impermeables, con pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal (Linsley *et al.* 1977). Los valores obtenidos a partir de la densidad de drenaje se pueden interpretar como lo muestra el siguiente cuadro:

CUADRO XXVI. VALORES INTERPRETATIVOS DE LA DENSIDAD DE DRENAJE.

Densidad de Drenaje	Categoría
<1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
>3	Muy alta

Fuente: Delgadillo y Páez, citado por Delgadillo y Moreno (2012).

La cuenca del río Tonosí presentó una densidad de drenaje de 3.554 Km/Km², calificándola con una densidad muy alta. En referencia a las

unidades hidrográficas secundarias (subcuencas) presentaron las siguientes densidades de drenaje: río Güera (4.136) y río Guaniquito (3.796), clasificando a ambas subcuencas con una densidad muy alta.

4.3.3.6 Relación de Bifurcación (R_b)

La relación de bifurcación se define como el cociente entre el número de corrientes de cualquier orden (N_u) y el número de corrientes del orden superior (N_{u+1}), en otras palabras, manifiesta el número de corrientes bifurcadas o ramificadas de cualquier orden a partir de la corriente del orden superior. Por ejemplo, por cada corriente de segundo (2°) orden, se bifurcan o dividen cuatro corrientes de primer (1°) orden. La relación de bifurcación se expresa de la siguiente forma:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

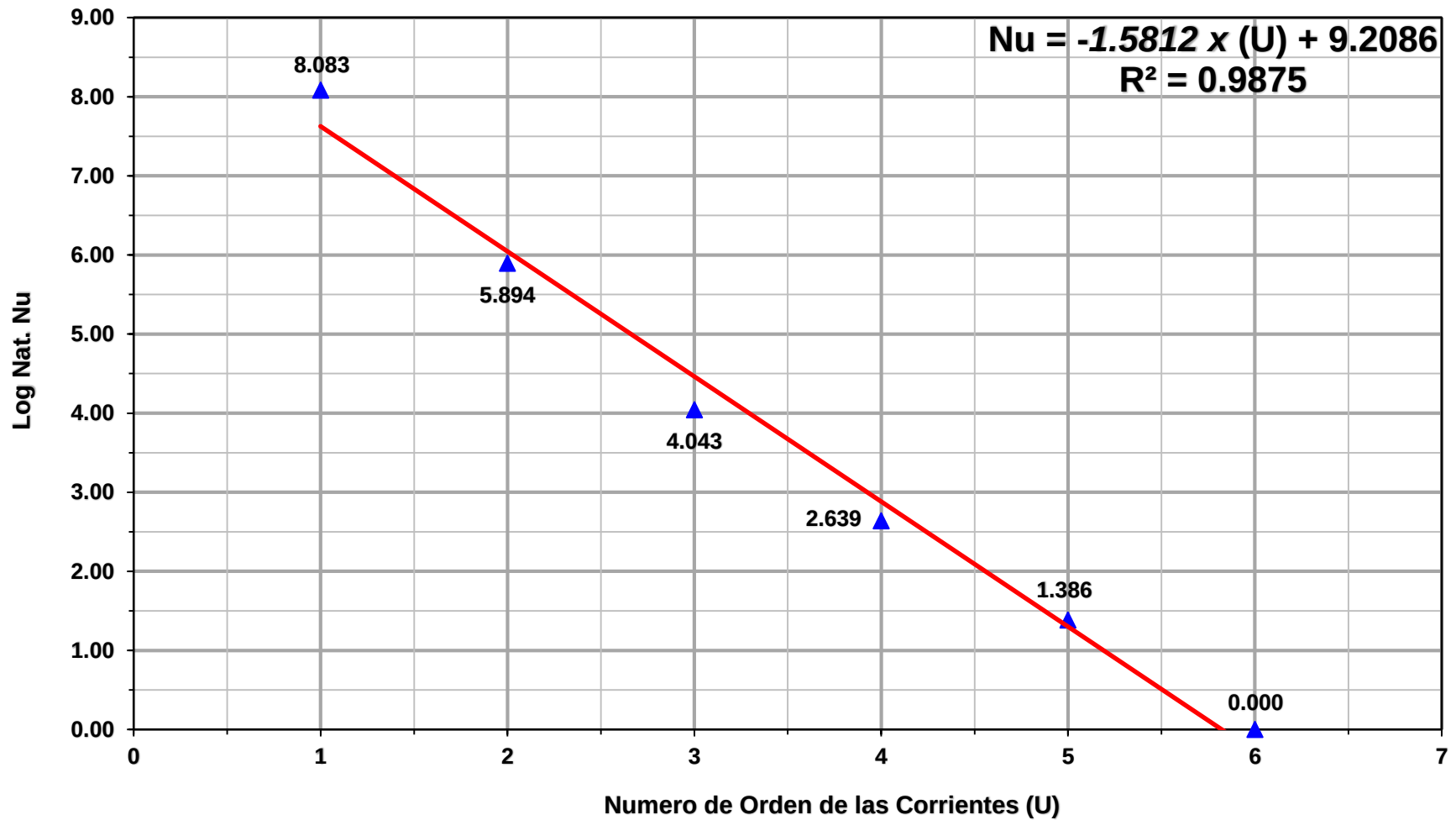
Según Strahler (1964), la relación de bifurcación expresada a través de esta fórmula no será precisamente la misma de un orden cualquiera al orden superior siguiente, resultando estimaciones erróneas en la relación de bifurcación promedio, a causa de variaciones aleatorias en la geometría de la cuenca. En vista de esta situación Strahler (1964), propuso un criterio numérico para la obtención de la relación bifurcación promedio a través del antilogaritmo natural de la pendiente de la recta de regresión lineal, ya que la gran mayoría de las redes de drenaje muestran una relación lineal con una pequeña desviación en línea recta. La recta de regresión lineal expresada mediante un gráfico (ver FIGURA 19), está conformada por dos ejes, la ordenada representada por el

logaritmo natural del número de corrientes de cada orden (N_u) y la abscisa representada por el número de orden de las corrientes (U).

Valores de bifurcación próximos a dos nos indican cuencas con escaso relieve, valores entre tres y cinco definen a cuencas de montaña, pero en las cuales las estructuras geológicas no influyen demasiado en la forma del drenaje, estando por lo general formados sobre rocas homogéneas. Los valores superiores a cinco y sobre todo aquellos que exceden de 10, indican cuencas donde los caracteres estructurales, condicionan fuertemente la instalación de cuencas estrechas y alargadas (Romero y López 1987).

La cuenca del río Tonosí presentó una relación de bifurcación promedio de 4.861, lo que significa que, por cada corriente de orden superior, se bifurcan aproximadamente cinco corrientes en el orden inferior. En referencia a las unidades hidrográficas secundarias (subcuencas) presentaron las siguientes relaciones de bifurcación promedio: río Güera (4.446) y río Guaniquito (5.270).

FIGURA 19. REGRESIÓN LINEAL DEL NÚMERO DE CORRIENTES DE DIFERENTES ÓRDENES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSI.



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO XXVII. PARAMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS.

Parámetros e Índices		Símbolo	Unidad	Unidad Hidrográfica	Unidades Hidrográficas	
				Principal	Secundarias	
				Río Tonosí	Río Güera	Río Guaniquito
Generales	Área total	A	Km ²	727.608	338.474	193.290
	Perímetro	P	Km	186.837	115.569	78.276
	Longitud del cauce principal	L_c	Km	77.047	38.473	29.596
	Longitud de máximo recorrido	L_m	Km	78.751	40.177	32.909
	Longitud axial	L_a	Km	48.781	24.761	17.807
	Elevación máxima de la cuenca	E_{max}	msnm	1400	1200	1400
	Elevación mínima de la cuenca	E_{min}	msnm	0	23	23
	Desnivel total de la cuenca	D_t	msnm	1400	1177	1377
Forma	Ancho medio	A_m	Km	14.916	13.670	10.855
	Factor de forma	F_f	1	0.306	0.552	0.610
	Relación de elongación	R_e	1	0.624	0.838	0.881
	Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius	K_c	1	1.939	1.759	1.576
	Relación de circularidad	R_{ci}	1	0.262	0.318	0.396
	Rectángulo equivalente	lado mayor	L	Km	84.082	50.703
		lado menor	l	Km	8.654	6.676
Relieve	Pendiente media de la cuenca	Criterio Alvord	I_p	%	34.520	39.925
		criterio Rectángulo Equivalente	I_p	%	16.177	17.630
		Índice de Pendiente (M. Roche)	I_p	%	10.615	13.130
	Pendiente del cauce principal	criterio Taylor y Schwarz	I_c	%	0.128	0.587
		criterio Pendiente Uniforme	I_c	%	0.732	1.406
	Altitud media de la cuenca	$\bar{H}$	msnm	269.284	347.695	307.689
	Integral hipsométrica	I_H	1	0.192	0.276	0.207
	Longitud total de curvas de nivel (Equidistancia 100 m)	L_n	Km	2511.714	1351.361	787.239

Continúa

CONTINUACIÓN: CUADRO XXVII. PARAMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS.

	Parámetros e Índices		Símbolo	Unidad	Unidad Hidrográfica Principal	Unidades Hidrográficas Secundarias	
					Río Tonosí	Río Güera	Río Guaniquito
Red Hidrográfica	Número de corrientes de un orden	Orden 1	N_u	1	3239	1911	948
		Orden 2		1	363	219	92
		Orden 3		1	57	29	16
		Orden 4		1	14	6	5
		Orden 5		1	4	3	1
		Orden 6		1	1	1	-
	Número total de corrientes de todos los órdenes		N_{ut}	1	3678	2169	1062
	Longitud total de las corrientes de un orden	Orden 1	L_u	Km	1770.080	985.771	512.749
		Orden 2		Km	471.378	245.837	131.132
		Orden 3		Km	187.126	89.545	54.989
		Orden 4		Km	76.704	54.678	16.743
		Orden 5		Km	22.291	4.216	18.075
		Orden 6		Km	58.394	19.821	-
	Longitud total de corrientes de todos los órdenes		L_{ut}	Km	2585.973	1399.868	733.688
	Relación de bifurcación		R_b	1	4.861	4.446	5.270
	Frecuencias de corrientes		F_r	Cauces/Km ²	5.055	6.408	5.494
	Densidad de drenaje		D_d	Km/Km ²	3.554	4.136	3.796
	Sinuosidad del cauce principal		S_i	1	1.436	1.376	1.245
	Textura de drenaje		T_d	1	19.686	18.768	13.567
	Longitud promedio del flujo superficial		L_o	m	140.697	121.011	131.883

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Análisis Pluviométrico

4.4.1 Homogeneización de Series Pluviométricas

4.4.1.1 Relleno de Datos Faltantes

El proceso de relleno de datos faltantes a nivel diario o mensual utilizando únicamente el método de la relación normalizada y no el del promedio aritmético simple, se realizó mediante grupos de estaciones pluviométricas las cuales estuviesen situadas en una zona pluviométricamente homogénea, es decir que se encuentren ubicadas en una zona sometida al mismo régimen de precipitaciones sin tener en consideración la cuenca la cual pertenecen dichas estaciones. En total fueron tres grupos de estaciones, por lo que cada estación sin excepción de ninguna fue sometida a dicho proceso de relleno. A continuación, se mencionan los grupos de estaciones pluviométricas:

- Grupo de estaciones N°1: Macaracas (128 - 004), La Mesa de Macaracas (128 – 005), Llano de Piedra (128 – 011) y Pitaloza Arriba (128 – 012).
- Grupo de estaciones N°2: La Llana (124 – 002), El Cortezo (124 – 005) y Altos de Güera (124 – 006).
- Grupo de estaciones N°3: Guánico Abajo (122 - 005), La Llana (124 – 002) y Tonosí 2 (124 – 004).

4.4.1.2 Análisis de Consistencia de los Registros

4.4.1.2.1 Estimación de la Calidad de los Datos

La estimación de la calidad de los datos utilizando como indicador el coeficiente de variación calculado para los períodos históricos de las nueve estaciones pluviométricas se presentan en el Cuadro XXVIII.

De acuerdo a los valores de los coeficientes de variación, se deduce que las estaciones Altos de Güera, 124 – 006 (Cv: 0.27) y La Mesa de Macaracas, 128 – 005 (Cv: 0.27); sobrepasan el límite permisible de 0.25, considerándolas como dudosas.

CUADRO XXVIII. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS ESTACIONES EN ESTUDIO.

Código	Estación	Coeficiente de Variación (CV)
122-005	Guánico Abajo	0.20
124-002	La Llana	0.14
124-004	Tonosí 2	0.17
124-005	El Cortezo	0.25
124-006	Altos de Güera	0.27
128-004	Macaracas	0.22
128-005	La Mesa de Macaracas	0.27
128-011	Llano de Piedra	0.21
128-012	Pitaloza Arriba	0.21

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.2.2 Curva Doble Acumulada (CDA)

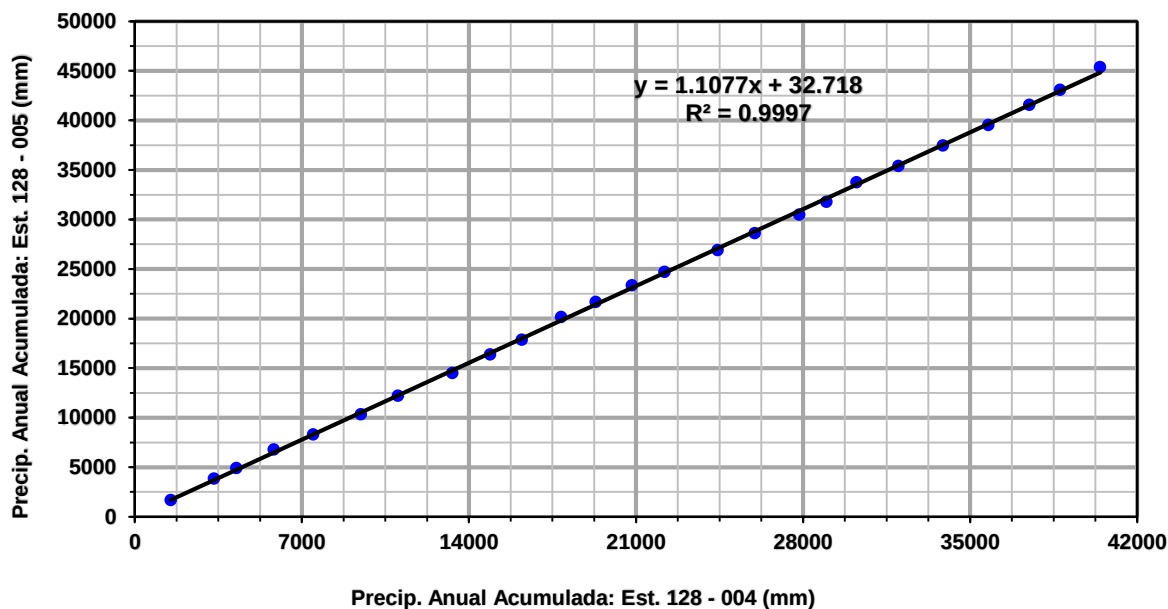
Posteriormente al cálculo del coeficiente de variación, se continuó con el proceso de verificación de la consistencia de los registros pluviométricos utilizando de forma generalizada el análisis de la curva doble acumulada o doble masa a las estaciones pluviométricas agrupadas previamente en el relleno de datos faltantes. En cada grupo de estaciones se seleccionó una estación base o patrón asumiendo que sus datos fueran consistentes, representativos de la zona y que tuviesen un período de registro más extenso que el de la estación en estudio (dudosa). A

continuación, se menciona la estación base y las estaciones a verificar sus datos, de cada grupo:

- Grupo de estaciones N°1. estación base: Macaracas (128 - 004); estaciones en estudio: La Mesa de Macaracas (128 – 005), Llano de Piedra (128 – 011) y Pitaloza Arriba (128 – 012).
- Grupo de estaciones N°2. estación: La Llana (124 – 002); estaciones en estudio: El Cortezo (124 – 005) y Altos de Güera (124 – 006).
- Grupo de estaciones N°3. estación base: Tonosí 2 (124 – 004); estación en estudio: Guánico Abajo (122 - 005).

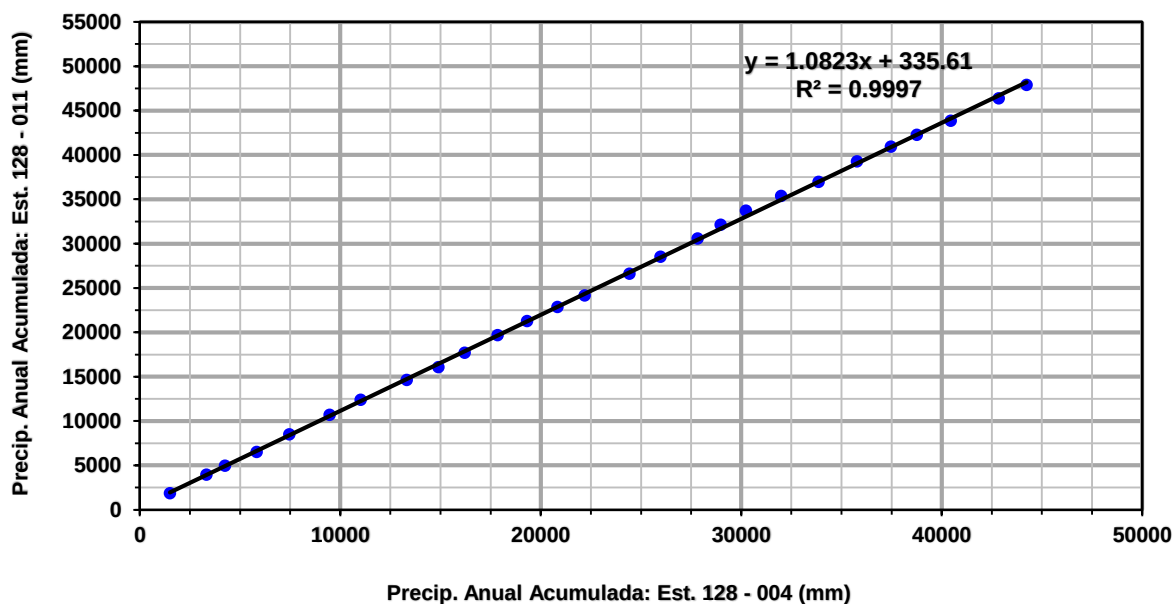
Aplicando el análisis doblemente acumulativo al primer grupo de estaciones pluviométricas, se deduce que los datos originales y rellenados de las estaciones La Mesa de Macaracas, Llano de Piedra y Pitaloza Arriba; son consistentes para los períodos en estudio. Como se aprecia en la FIGURA 20 a la FIGURA 22, todas las estaciones presentan una línea de tendencia en la cual toda la nube de puntos se ajusta a dicha línea sin ningún cambio de pendiente significativo, resaltando la proporcionalidad de los datos entre estaciones.

FIGURA 20. ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 - 004) VERSUS LA MESA DE MACARACAS (128 - 005), PERÍODO 1974 - 1998.



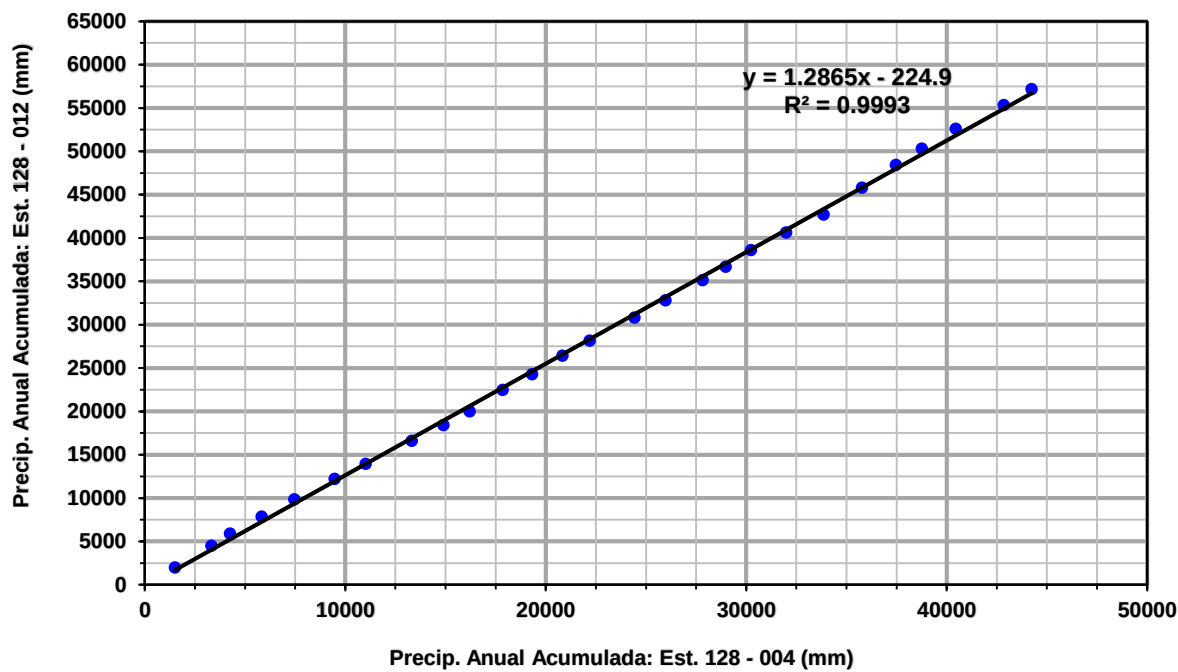
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 21. ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 - 004) VERSUS LLANO DE PIEDRA (128 - 011), PERÍODO 1974 - 2000.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 22. ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 - 004) VERSUS PITALOZA ARRIBA (128 - 012), PERÍODO 1974 - 2000.



Fuente: Elaboración propia.

En referencia, al segundo grupo de estaciones pluviométricas, se deduce que los datos originales y rellenados de la estación El Cortezo son consistentes para el período en estudio (ver FIGURA 25). Esta deducción no fue la misma para la estación Altos de Güera, ya que presentó inconsistencia de sus datos anuales (cambio de pendiente) para el período 1991 - 1994. En vista de esta situación, fue necesario realizar una corrección de los datos a través de un factor obtenido a partir de la relación de la pendiente de la recta de regresión del período 1974 - 1990 (consistente) y la pendiente del período 1991 - 1994 (inconsistente), expresado de la siguiente forma:

$$P_a = \frac{b_a}{b_o} * P_o$$

P_a : Precipitación ajustada.

P_o : Precipitación observada o inconsistente.

b_a : Pendiente del gráfico al que se ajustan los registros.

b_o : Pendiente del gráfico en el momento que se observa la precipitación inconsistente.

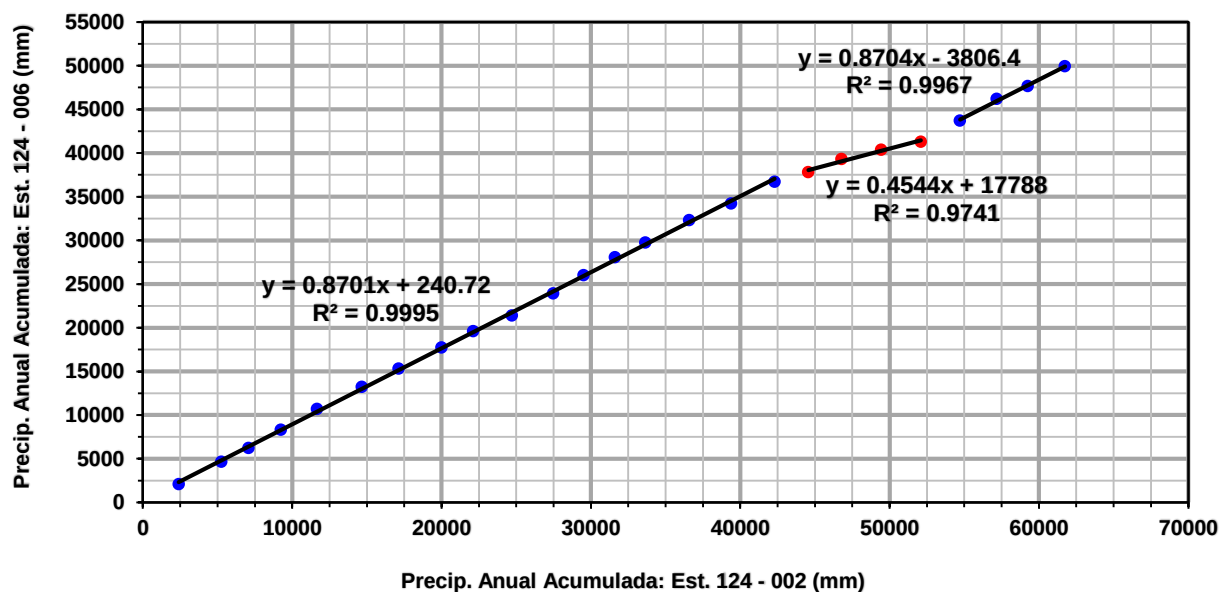
CUADRO XXIX. PRECIPITACIÓN ANUAL AJUSTADA PARA LA ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA, PERÍODO 1991 – 1994.

Año	P_o (mm)	P_a (mm)*
1991	1078.40	2065.03
1992	1529.00	2927.88
1993	1049.20	2009.11
1994	922.70	1766.88

Fuente: Elaboración propia.

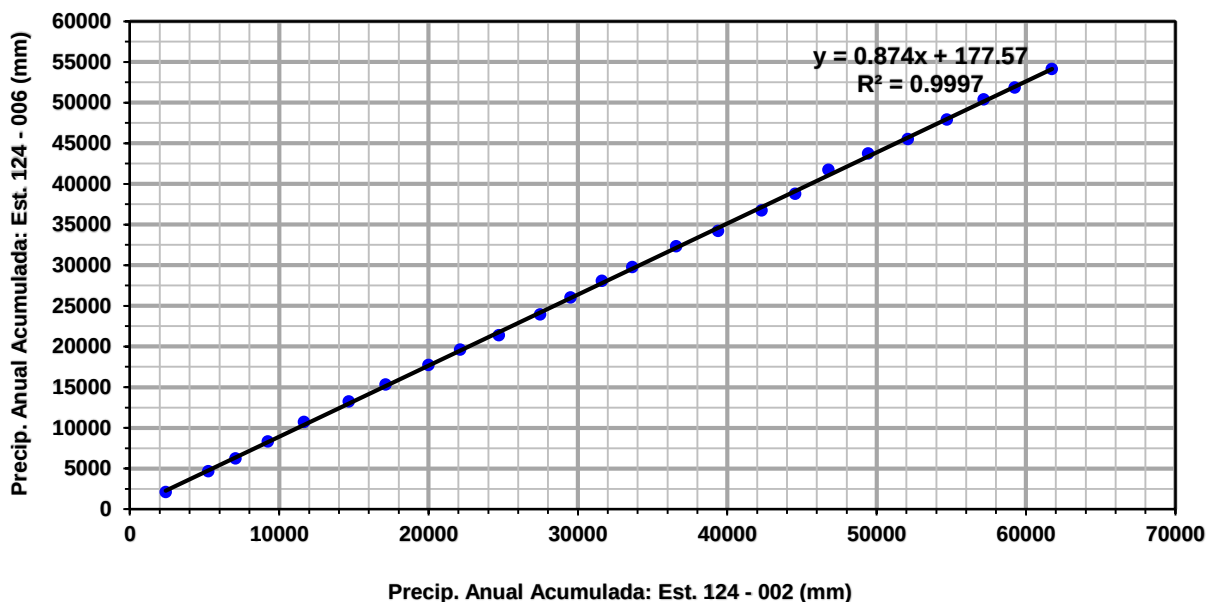
* (b_a/b_o) como (0.8701/0.4544).

FIGURA 23. ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002) VERSUS ALTOS DE GÜERA (124 – 006), PERÍODO 1974 – 1998.



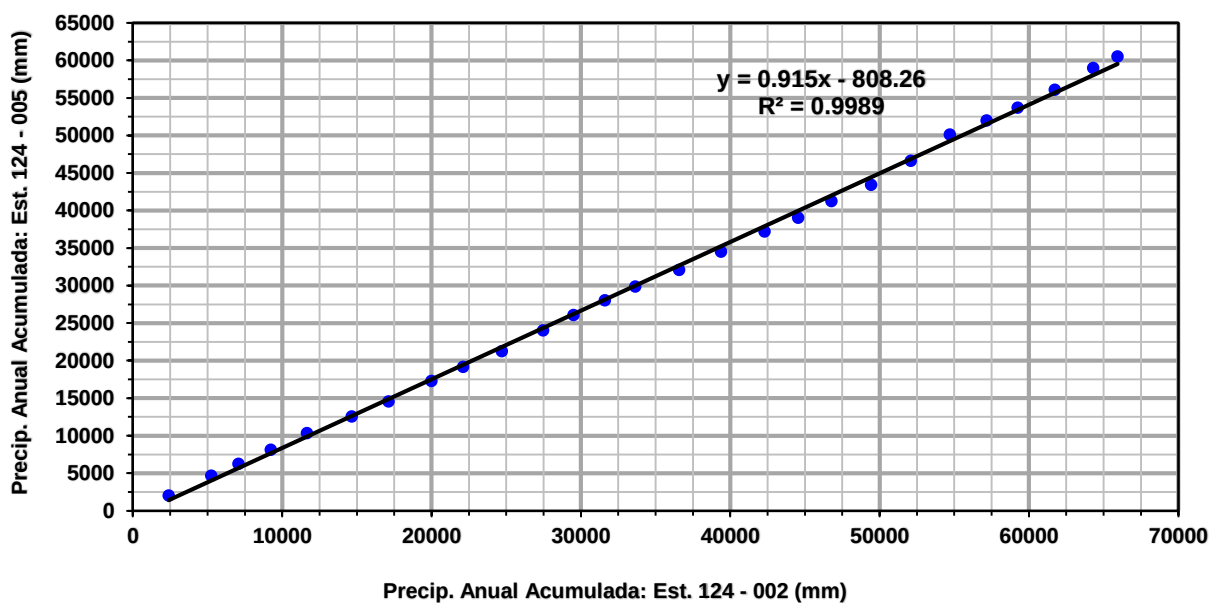
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 24. ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO CORREGIDO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002) VERSUS ALTOS DE GÜERA (124 – 006), PERÍODO 1974 – 1998.



Fuente: Elaboración propia.

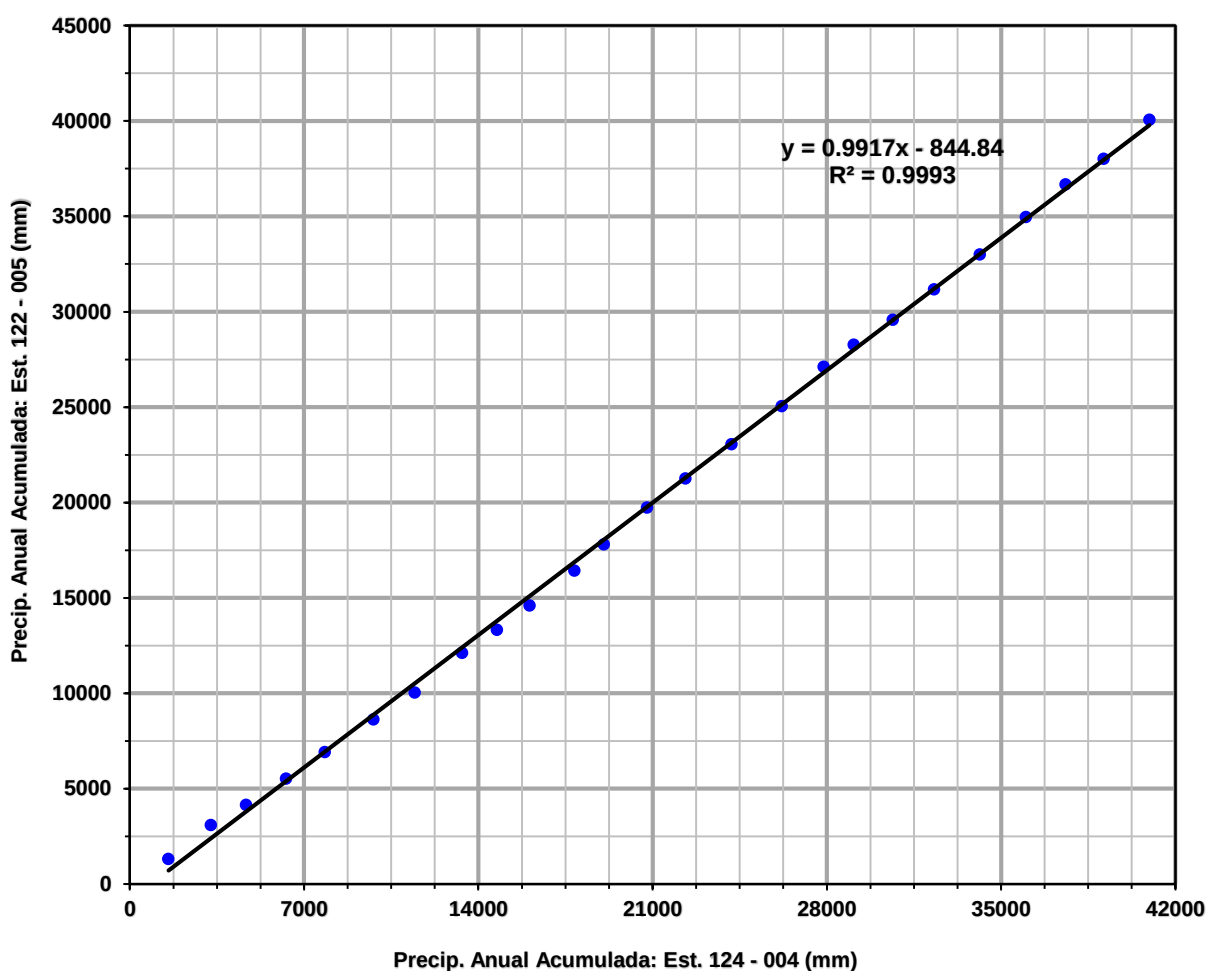
FIGURA 25. ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002) VERSUS EL CORTEZO (124 – 005), PERÍODO 1974 – 2000.



Fuente: Elaboración propia.

Por último, el tercer grupo de estaciones pluviométricas, se deduce que los datos originales y rellenados de la estación Guánico Abajo son consistentes para el período en estudio (ver FIGURA 26), ya que su línea de tendencia y la nube de puntos presentan el mismo comportamiento del primer grupo de estaciones pluviométricas.

FIGURA 26. ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 - 004) VERSUS GUÁNICO ABAJO (122 - 005), PERÍODO 1974 - 1998.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.3 Extensión de Series

Posteriormente al relleno de datos faltantes y al análisis de consistencia realizado a los registros pluviométricos, se procedió a iniciar el proceso de extensión de series mensuales utilizando el análisis de regresión lineal, manteniendo los mismos grupos de las estaciones pluviométricas establecidas en el análisis de la curva de doble acumulada. A continuación, se mencionan las estaciones base o patrón y las estaciones a extender de cada grupo:

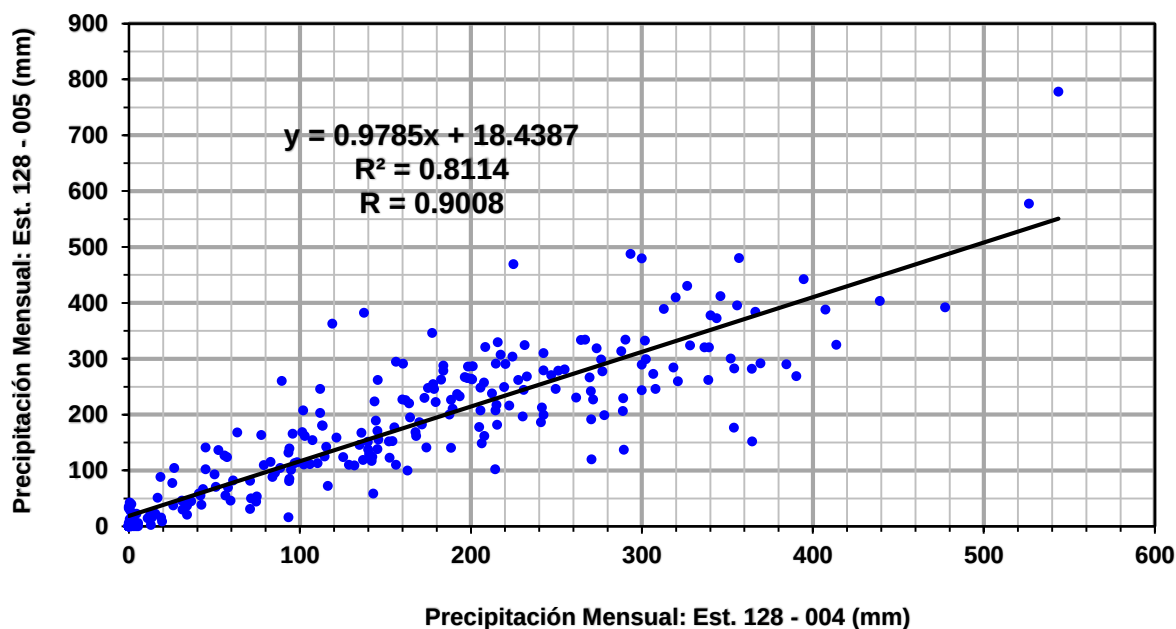
El análisis de regresión y correlación lineal mensual aplicado al primer grupo de estaciones pluviométricas (ver FIGURA 27 a la FIGURA 29), tomando como estación base Macaracas (128 – 004) y las estaciones a extender, tales como: La Mesa de Macaracas (128 – 005), período común 1974 – 1998; Llano de Piedra (128 – 011), período común 1974 – 2000 y Pitaloza Arriba (128 – 012), período común 1974 – 2000; permitiendo así, obtener las siguientes ecuaciones:

$$P_{La\ Mesa\ de\ Macaracas} = 0.9785 * P_{Macaracas} + 18.4387$$

$$P_{Llano\ de\ Piedra} = 0.9699 * P_{Macaracas} + 15.3592$$

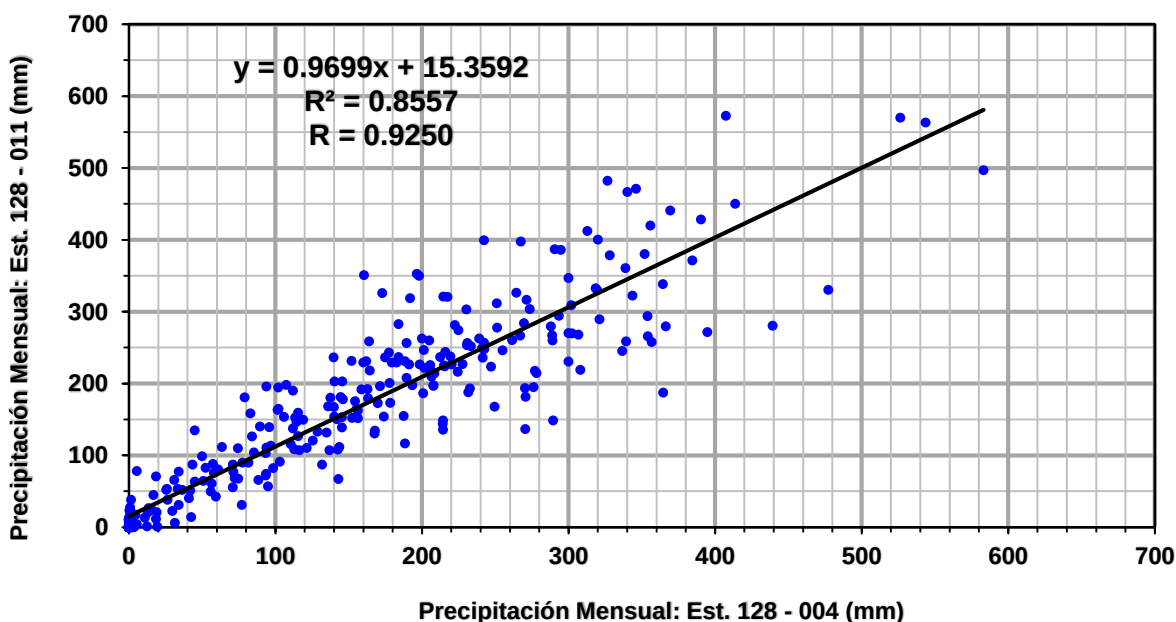
$$P_{Pitaloza\ Arriba} = 1.0845 * P_{Macaracas} + 27.0503$$

FIGURA 27. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004) VERSUS LA MESA DE MACARACAS (128 – 005), PERÍODO 1974 – 1998.



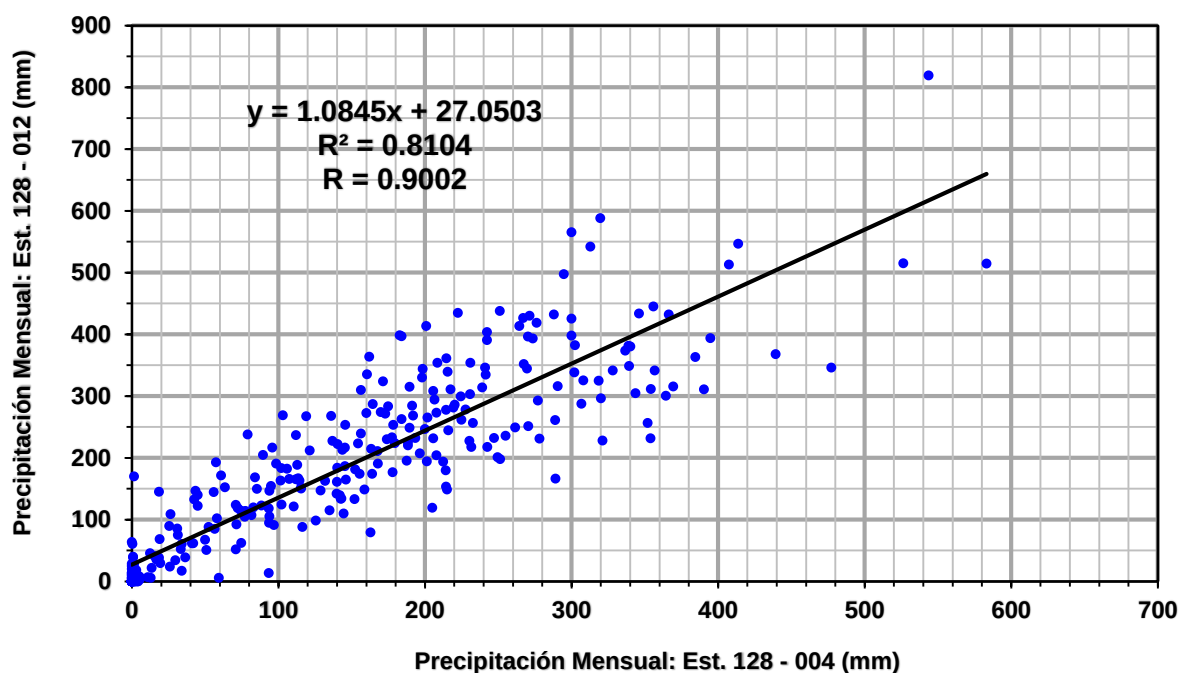
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 28. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004) VERSUS LLANO DE PIEDRA (128 – 011), PERÍODO 1974 – 2000.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 29. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004) VERSUS PITALOZA ARRIBA (128 – 012), PERÍODO 1974 – 2000.



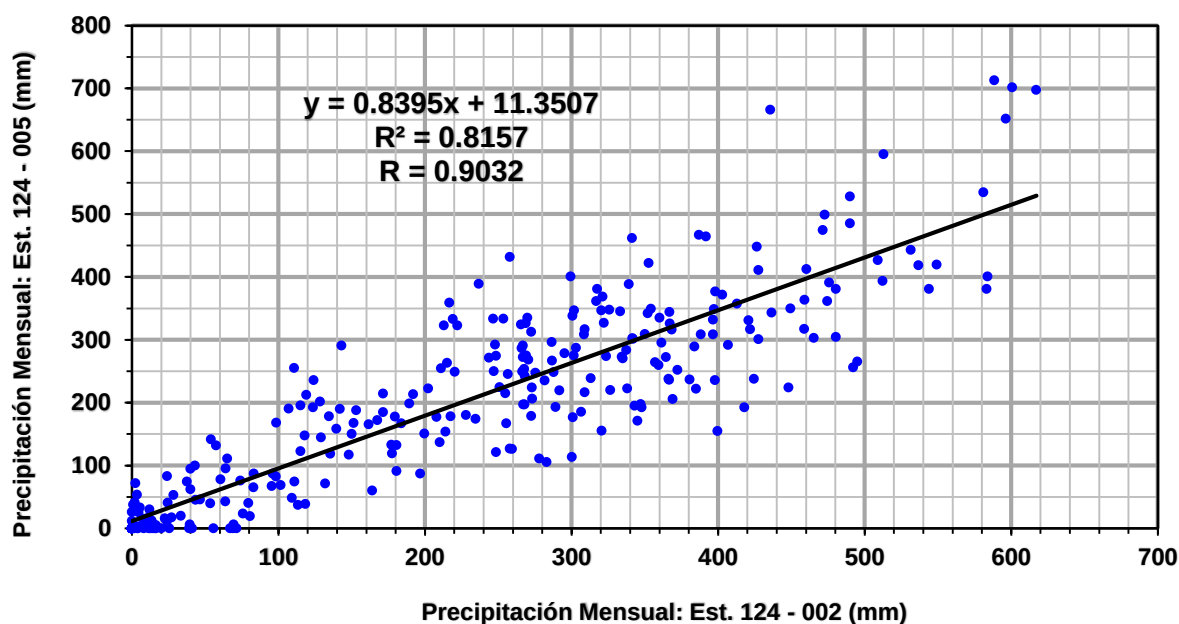
Fuente: Elaboración propia.

En referencia, al análisis de regresión y correlación lineal mensual aplicado para el segundo grupo de estaciones pluviométricas (ver FIGURA 30 y 31) se tomó como estación base La Llana (124 – 002) y las estaciones a extender, tales como: El Cortezo (124 – 005), período común 1974 - 2000 y Altos de Güera (124 – 006), período común 1974 – 1998; permitiendo así, obtener las siguientes ecuaciones:

$$P_{El\ Cortezo} = 0.8395 * P_{La\ Llana} + 11.3507$$

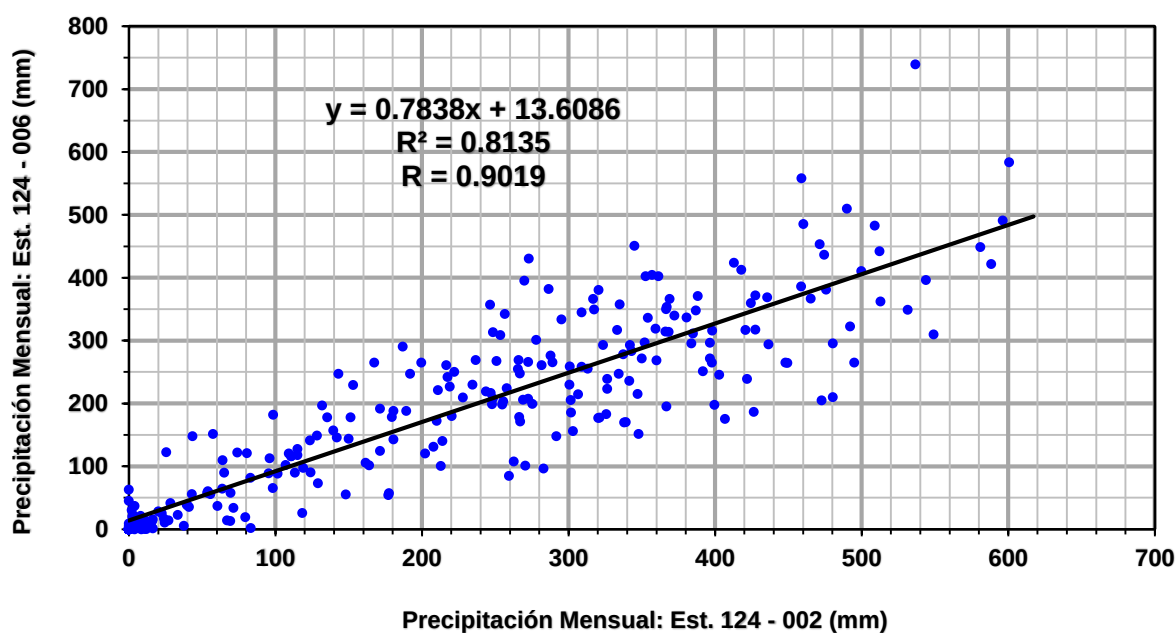
$$P_{Altos\ de\ Güera} = 0.7838 * P_{La\ Llana} + 13.6086$$

FIGURA 30. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 - 002) VERSUS EL CORTEZO (124 - 005), PERÍODO 1974 - 2000.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 31. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 - 002) VERSUS ALTOS DE GÜERA (124 - 006), PERÍODO 1974 - 1998.

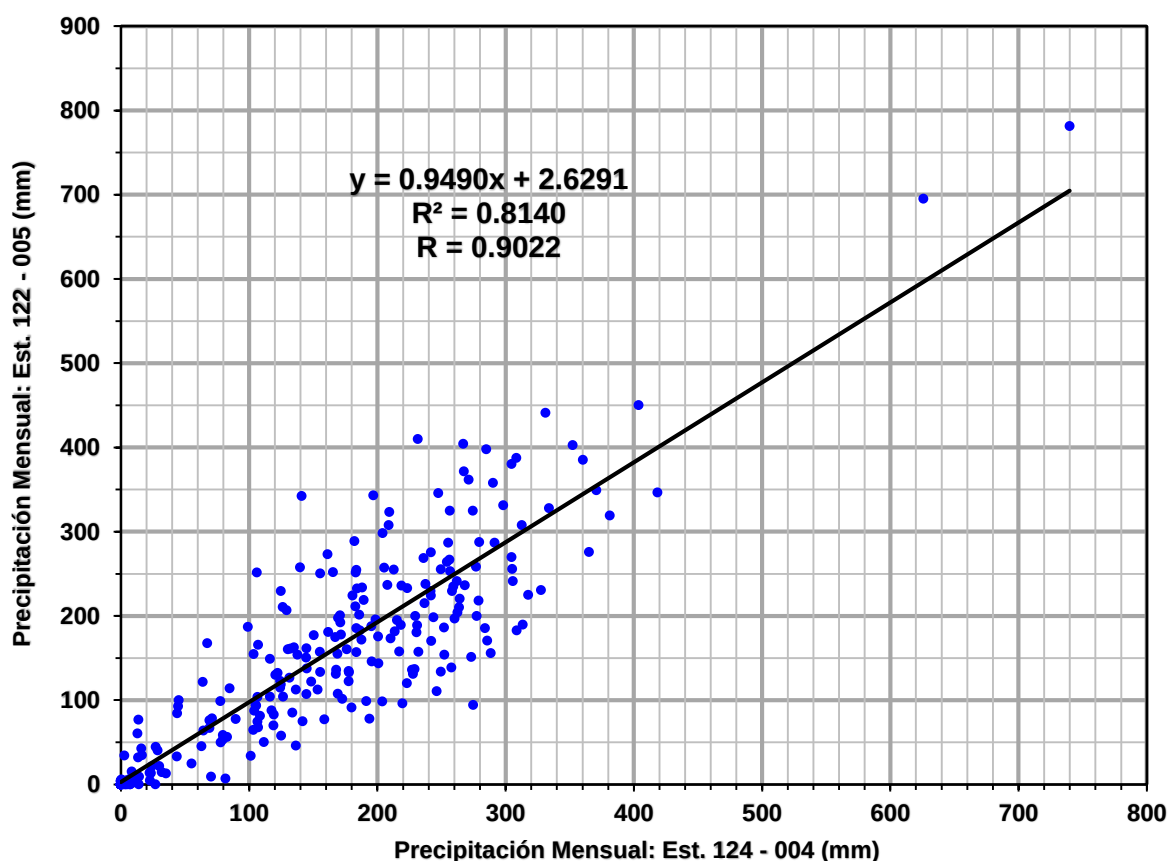


Fuente: Elaboración propia.

Con respecto, al análisis de regresión y correlación lineal mensual aplicado para el tercer grupo de estaciones pluviométricas (ver FIGURA 32) se tomó como estación base Tonosí 2 (124 – 002) y la estación a extender Guánico Abajo (122 - 005), período común 1974 – 1998; permitiendo así, obtener la siguiente ecuación:

$$P_{\text{Guánico Abajo}} = 0.9490 * P_{\text{Tonosí}} + 2.6291$$

FIGURA 32. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004) VERSUS GUÁNICO ABAJO (122 – 005), PERÍODO 1974 – 1998.



Fuente: Elaboración propia.

Por último, el período extendido para cada estación pluviométrica se detalla a continuación: La Mesa de Macaracas (128 – 005), período extendido 1999 – 2010; Llano de Piedra (128 – 011), período extendido 2001 – 2010 y Pitaloza Arriba (128 – 012), período extendido 2001 – 2010; El Cortezo (124 – 005), período extendido 2001 - 2010 y Altos de Güera (124 – 006), período extendido 1999 – 2010 y Guánico Abajo (122 - 005), período extendido 1999 – 2010. Es importante mencionar, que para todos los análisis de regresión lineal realizados el coeficiente de correlación (R) fue superior a 0.80, considerando así, aceptable las regresiones efectuadas.

4.4.2 Análisis Cronológico

4.4.2.1 Régimen Pluviométrico

La descripción de forma general del régimen o comportamiento pluviométrico decadal y mensual a lo largo de un año en la cuenca del río Tonosí utilizando el hietograma, se realizó primeramente agrupando las estaciones pluviométricas correspondientes a cada zona funcional de la cuenca, considerando solamente a la zona baja y media. La zona alta de la cuenca no fue considerada, ya que ninguna estación se sitúa por encima de los 680 msnm. A continuación, se mencionan las estaciones situadas en la zona baja y media de la cuenca:

- Zona Baja (0 – 100 msnm): Guánico Abajo (122 – 005), La Llana (124 – 002) y Tonosí 2 (124 – 004).
- Zona Media (100 – 680 msnm): El Cortezo (124 – 005), Altos de Güera (124 – 006), La Mesa de Macaracas (128 – 005), Llano de Piedra (128 – 011) y Pitaloza Arriba (128 – 012).

Posteriormente, a la agrupación de las estaciones según las zonas funcionales de la cuenca se procedió a promediar las precipitaciones mensuales y anuales de las estaciones de cada grupo, obteniendo así, promedios multianuales a nivel mensual y anual. Seguidamente, se separó en tres períodos decadales (1981 – 1990, 1991 – 2000 y 2001 – 2010) las precipitaciones promedios mensuales y anuales de cada zona, permitiendo así, una mejor comparación de las precipitaciones entre décadas.

La precipitación promedio anual para los 30 años en estudio fue de 1978.12 mm, considerando a las ocho estaciones pluviométricas. La precipitación promedio anual en la zona baja de la cuenca considerando las tres décadas en estudio fue de 1884.37 mm. La primera década (1981 – 1990) presentó una precipitación promedio anual de 1956.31 mm. La segunda década (1991 – 2000) presentó una precipitación promedio anual de 1832.42 mm y, por último, la tercera década (2001 – 2010) presentó una precipitación promedio anual de 1864.40 mm (ver CUADRO XXX y FIGURA 33).

La precipitación promedio anual en la zona media de la cuenca considerando las tres décadas en estudio fue de 2034.37 mm. La primera década (1981 – 1990) presentó una precipitación promedio anual de 2032.80 mm. La segunda década (1991 – 2000) presentó una precipitación promedio anual de 2053.52 mm. Por último, la tercera década (2001 – 2010) presentó una precipitación promedio anual de 2016.79 mm (ver CUADRO XXX y FIGURA 33).

Ahora bien, analizando la variabilidad de la precipitación promedio anual según las zonas funcionales de la cuenca y de las tres décadas en estudio se deduce que no existe variación significativa de la zona baja con respecto a la zona media, ya que sus proporciones van de 1:1.08 y su porcentaje de diferencia en promedio no sobrepasa el 10.00 %.

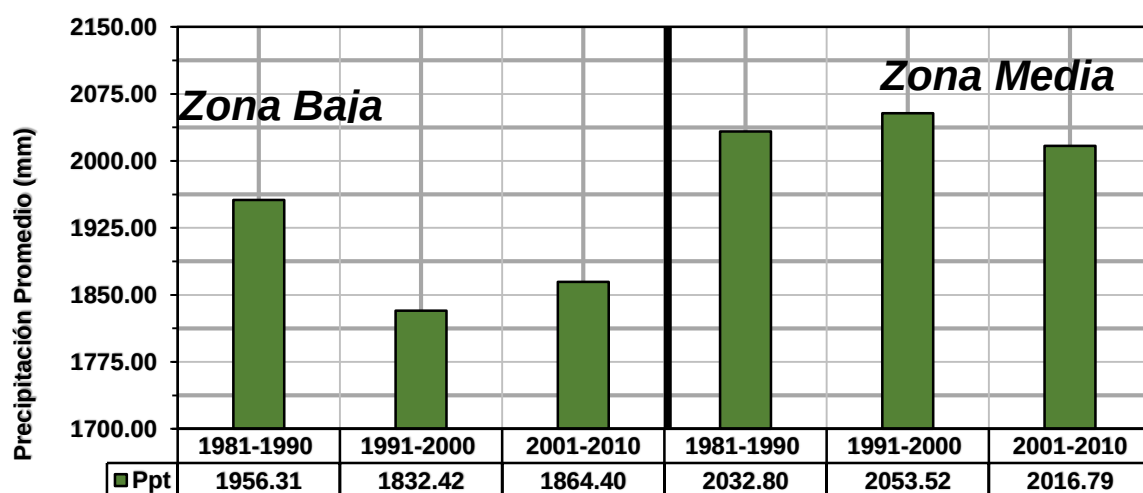
CUADRO XXX. COMPARACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO DECADAL, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Décadas	Zona Baja	Zona Media	Diferencia*	
			mm	%
1981-1990	1956.31	2032.80	76.49	3.76
1991-2000	1832.42	2053.52	221.10	10.77
2001-2010	1864.40	2016.79	152.39	7.56
Promedio	1884.37	2034.37	150.00	7.37

Fuente: Elaboración propia.

* Diferencia tomando como base a la zona media.

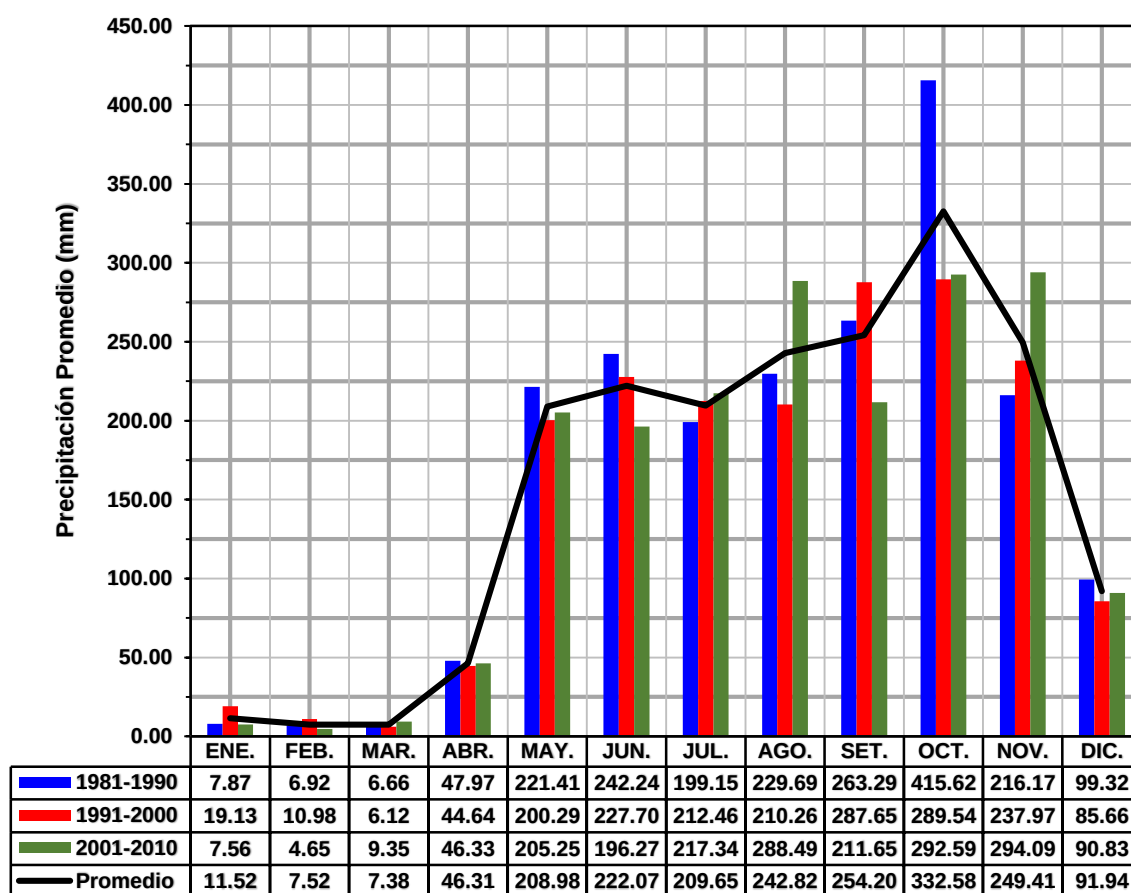
FIGURA 33. PRECIPITACIÓN PROMEDIO DECADAL, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

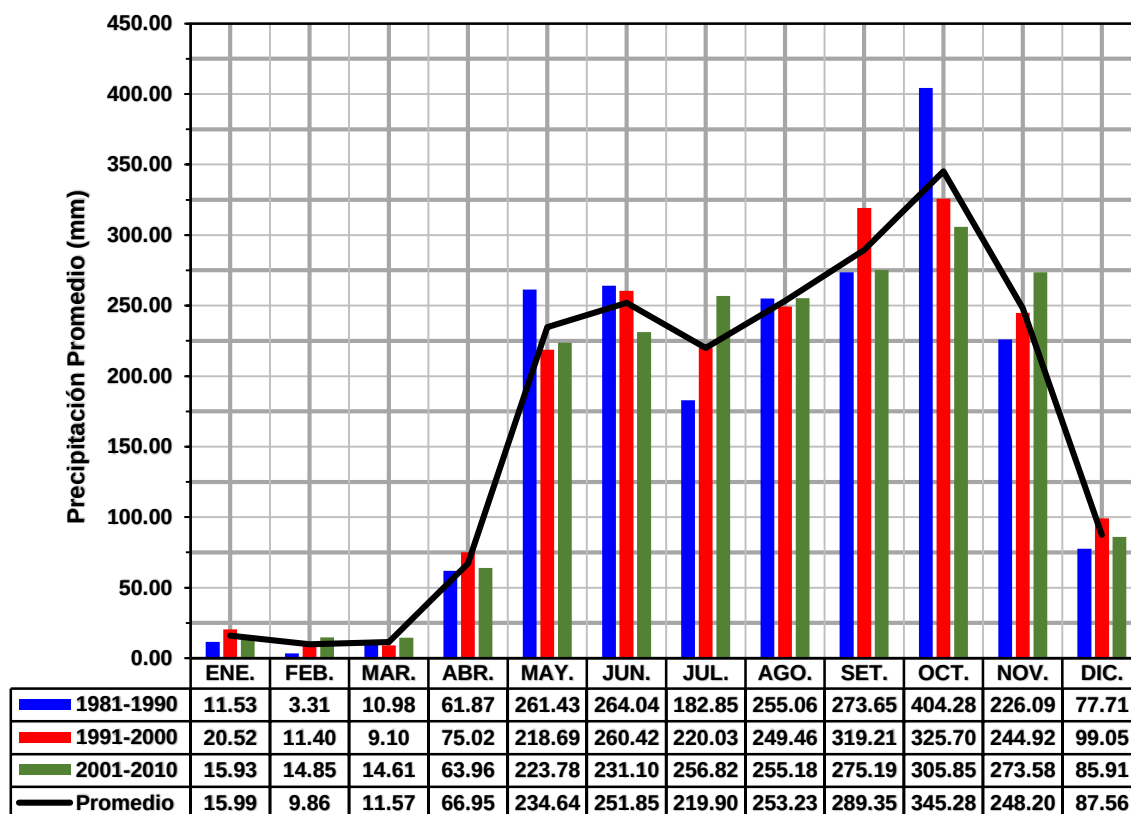
Adicional a lo anteriormente expresado, el comportamiento de la precipitaciones promedios mensuales multianuales a lo largo de un año para la zona baja y media de la cuenca según la FIGURA 34 y 35, resaltan que para las tres décadas en estudio se presenta el mismo comportamiento pluviométrico, con una distribución temporal de las lluvias muy desigual a lo largo del año, existiendo una marcada diferencia entre los meses de época seca (diciembre a abril) y los meses de época lluviosa (mayo a noviembre).

FIGURA 34. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PERÍODO 1981 – 2010).



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 35. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PERÍODO 1981 – 2010).



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.2 Desvíos (Años Normales, Húmedos y Secos)

La determinación de los años normales, húmedos y secos de las series pluviométricas en la cuenca del río Tonosí utilizando los desvíos se realizó inicialmente seleccionado una estación representativa de cada zona funcional de la cuenca y que a su vez se ubicara dentro de la misma. Las estaciones seleccionadas fueron las siguientes:

- Zona Baja (0 – 100 msnm): Tonosí 2 (124 – 004).
- Zona Media (100 – 680 msnm): Altos de Güera (124 – 006).

Es importante mencionar, que la zona alta de la cuenca no fue considerada para este análisis, ya que ninguna estación pluviométrica se ubica por encima de los 680 msnm. Posteriormente a la selección de las estaciones a ser analizadas se procedió a calcular la precipitación promedio anual del período 1981 – 2015 para cada estación. Seguidamente, se continuó con la clasificación de los años normales, húmedos y secos, estableciendo como límite o rango la desviación estándar ($\pm$) obtenida a partir de las precipitaciones totales anuales para el período considerado. Los años que presentaron desvíos dentro de los rangos de desviación estándar ($\pm$) fueron clasificados como normales, de igual manera, los años que presentaron desvíos superiores a la desviación estándar positiva fueron clasificados como húmedos y los años que presentaron desvíos inferiores a la desviación estándar negativa fueron clasificados como secos.

La zona baja de la cuenca del río Tonosí presentó una precipitación promedio anual de 1605.67 mm y una desviación estándar de ± 272.22 mm (ver FIGURA 37). Tomando en consideración la desviación estándar y los desvíos respecto al promedio anual de la serie, se clasificaron 23 años como normales, cinco años clasificados como húmedos y siete años clasificados como secos (ver CUADRO XXXI y XXXII).

Complementando lo dicho anteriormente, la máxima desviación positiva por parte de un año respecto a la precipitación promedio anual de la serie corresponde al año 2007 con una precipitación anual de 2109.10 mm y un desvío de +503.43 mm

(+31.35 %). El máximo desvío negativo corresponde al año 2015 con una precipitación anual de 1126.58 mm y un desvío de -479.09 mm (-29.84 %).

La zona media de la cuenca del río Tonosí presentó una precipitación promedio anual de 2044.77 mm y una desviación estándar de ± 350.68 mm (ver FIGURA 38). Tomando en consideración la desviación estándar y los desvíos respecto al promedio anual de la serie, se clasificaron 22 años como normales, siete años clasificados como húmedos y seis años clasificados como secos (ver CUADRO XXXI y XXXIII).

Adicionalmente a lo dicho, la máxima desviación positiva por parte de un año respecto a la precipitación promedio anual de la serie corresponde al año 1992 con una precipitación anual de 2927.88 mm y un desvío de +883.11 mm (+43.19 %). El máximo desvío negativo corresponde al año 2000 con una precipitación anual de 1417.96 mm y un desvío -626.81 mm (-30.65 %).

Analizando la distribución de los años normales, húmedos y secos, a lo largo de toda la serie de datos para las dos zonas funcionales de la cuenca, se deduce que existe un equilibrio entre los años húmedos y secos, y que existe una alta prevalencia de los años normales (22 a 23 años), poniendo en manifiesto que la serie pluviométrica para el período 1981 – 2015 presentó mucha regularidad, en otras palabras, no se identificó ninguna tendencia de déficit o exceso de precipitación en alguna de las zonas. Ahora bien, efectuando una comparación de los años húmedos y secos reflejados en ambas zonas de la cuenca con respecto a aquellos años donde se manifestó en Panamá y a nivel mundial el fenómeno

ENOS, conocido como niño (oscilación del Sur) y el fenómeno de la niña, se puede notar que estos fenómenos incidieron directamente en la clasificación de aquellos años húmedos y secos. Sin embargo, se hace la salvedad que dicha incidencia por cualquiera de los fenómenos mencionados en algún año en específico, no se dio paralelamente en ambas zonas de la cuenca y en algunos años se reflejó lo opuesto al fenómeno reinante. Por ejemplo, para el año 1988 en el cual se manifestó el fenómeno de la niña, en la parte baja de la cuenca se reflejó un año normal, caso contrario a la zona media donde sí se reflejó un año húmedo. Como ejemplo para la segunda mención se puede decir que, para el año el 2000 donde se manifestó el fenómeno de la niña para ambas zonas de la cuenca se reflejó un año seco.

Por otra parte, es importante mencionar la no coincidencia de los años normales, húmedos y secos reflejados para cada zona de la cuenca, es decir que, si en la zona baja para el año 1984 fue clasificado como normal, ese mismo año para la zona media fue clasificado como húmedo. Esta no coincidencia puede estar sujeta a diversos factores tales como el relieve o el mismo clima de la zona, sin embargo, resultó difícil atribuir tal comportamiento a un factor en particular.

CUADRO XXXI. RESUMEN DE AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Clasificación	Años	
	Zona Baja	Zona Media
Normal	1982	1982
	1984	1983
	1986	1985
	1987	1986
	1988	1989
	1990	1991
	1992	1993
	1993	1994
	1994	1998
	1995	1999
	1996	2001
	1997	2003
	1998	2004
	1999	2005
	2001	2006
	2003	2007
	2004	2008
	2005	2009
	2006	2010
	2009	2011
	2010	2012
	2012	2013
	2013	-
Subtotal	23 (65.71 %)	22 (62.86 %)
Húmedo	1981	1981
	1989	1984
	2007	1988
	2008	1990
	2011	1992
	-	1995
	-	1996
Subtotal	5 (14.29 %)	7 (20.00 %)
Seco	1983	1987
	1985	1997
	1991	2000
	2000	2002
	2002	2014
	2014	2015
	2015	-
Subtotal	7 (20.00 %)	6 (17.14 %)
Total General	35 (100.00 %)	35 (100.00 %)

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO XXXII. DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Año	Años Niño y Niña**	Precipitación Anual (mm)	Promedio Anual (mm)	Desvíos		
				mm	%	Clasificación
1981	-	1907.97	1605.67	302.30	18.83	Húmedo
1982	Niño	1400.00	1605.67	-205.67	-12.81	Normal
1983	Niño	1306.90	1605.67	-298.77	-18.61	Seco
1984	-	1794.30	1605.67	188.63	11.75	Normal
1985	Niña	1188.40	1605.67	-417.27	-25.99	Seco
1986	-	1734.40	1605.67	128.73	8.02	Normal
1987	Niño	1549.00	1605.67	-56.67	-3.53	Normal
1988	Niña	1845.40	1605.67	239.73	14.93	Normal
1989	Niña	2021.20	1605.67	415.53	25.88	Húmedo
1990	-	1684.90	1605.67	79.23	4.93	Normal
1991	Niño	1209.00	1605.67	-396.67	-24.70	Seco
1992	Niño	1564.00	1605.67	-41.67	-2.60	Normal
1993	-	1657.37	1605.67	51.70	3.22	Normal
1994	-	1840.71	1605.67	235.04	14.64	Normal
1995	Niña	1848.20	1605.67	242.53	15.10	Normal
1996	-	1591.37	1605.67	-14.30	-0.89	Normal
1997	Niño	1534.90	1605.67	-70.77	-4.41	Normal
1998	-	1833.88	1605.67	228.21	14.21	Normal
1999	Niña	1518.48	1605.67	-87.19	-5.43	Normal
2000	Niña	1178.86	1605.67	-426.81	-26.58	Seco
2001	-	1374.10	1605.67	-231.57	-14.42	Normal
2002	Niño	1209.30	1605.67	-396.37	-24.69	Seco
2003	-	1674.00	1605.67	68.33	4.26	Normal
2004	Niño	1495.30	1605.67	-110.37	-6.87	Normal
2005	-	1641.30	1605.67	35.63	2.22	Normal
2006	-	1600.43	1605.67	-5.24	-0.33	Normal
2007	Niña	2109.10	1605.67	503.43	31.35	Húmedo
2008	Niña	2070.10	1605.67	464.43	28.92	Húmedo
2009	Niño	1508.80	1605.67	-96.87	-6.03	Normal
2010	Niña	1771.10	1605.67	165.43	10.30	Normal
2011	Niña	1935.04	1605.67	329.37	20.51	Húmedo
2012	-	1563.60	1605.67	-42.07	-2.62	Normal
2013	-	1761.94	1605.67	156.27	9.73	Normal
2014*	-	1148.62	1605.67	-457.05	-28.46	Seco
2015*	Niño	1126.58	1605.67	-479.09	-29.84	Seco

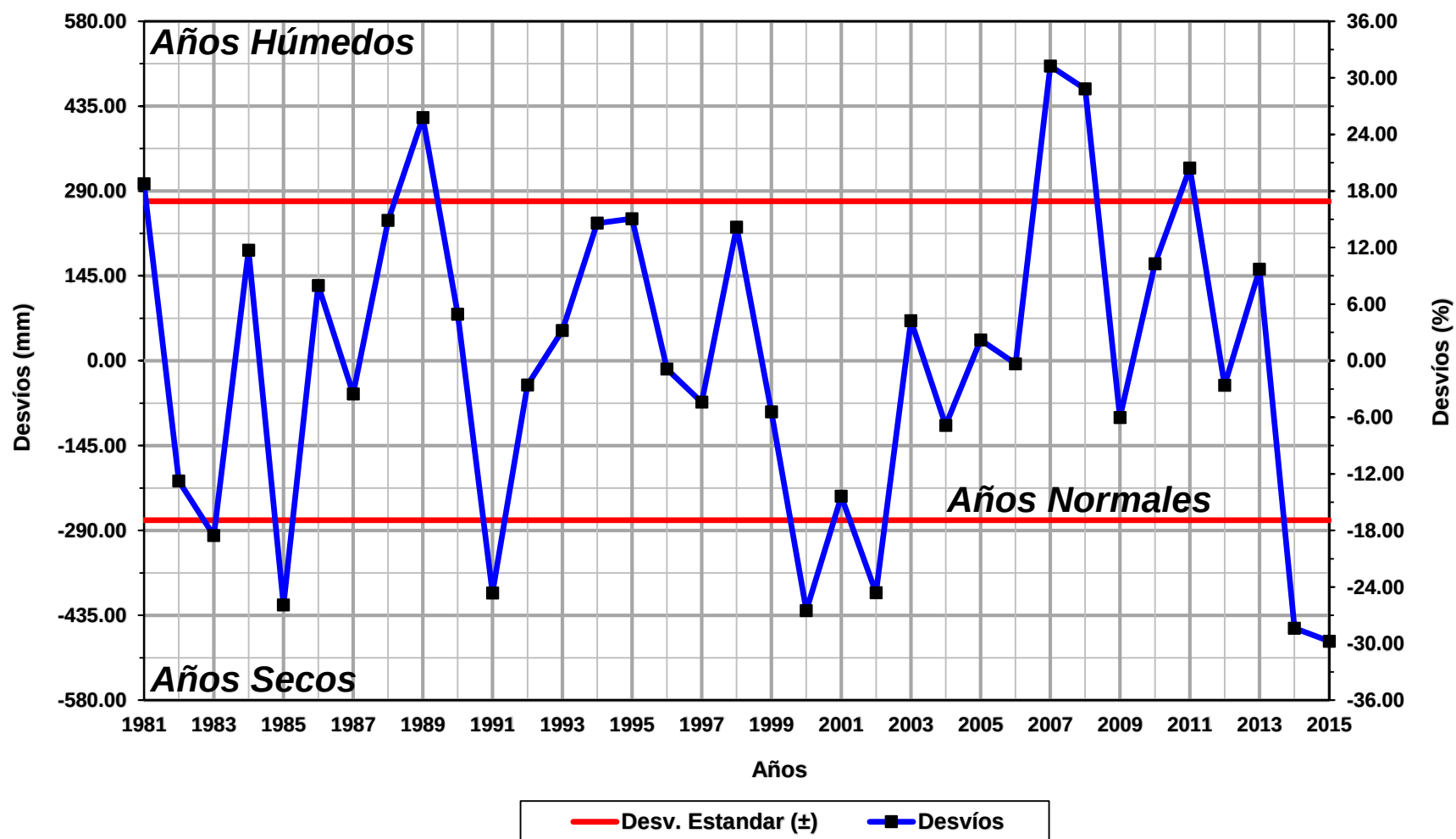
Fuente: Elaboración propia.

* Años extendidos a partir de la estación La Llana (124 – 002) mediante la curva doble acumulada.

** Años clasificados a criterio propio, solamente para tener una referencia general (NWS 2015).

Estadística Básica: Promedio: 1605.67 mm, Desviación Estándar: ± 272.22 mm, Coeficiente de Variación: 0.1695, Coeficiente de Asimetría: -0.15 y Coeficiente de Curtosis: 2.48.

FIGURA 36. DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO XXXIII. DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Año	Años Niño y Niña**	Precipitación Anual (mm)	Promedio Anual (mm)	Desvíos		
				mm	%	Clasificación
1981	-	2407.90	2044.77	363.13	17.76	Húmedo
1982	Niño	1860.40	2044.77	-184.37	-9.02	Normal
1983	Niño	1798.20	2044.77	-246.57	-12.06	Normal
1984	-	2526.80	2044.77	482.03	23.57	Húmedo
1985	Niña	2098.70	2044.77	53.93	2.64	Normal
1986	-	2055.80	2044.77	11.03	0.54	Normal
1987	Niño	1672.90	2044.77	-371.87	-18.19	Seco
1988	Niña	2564.80	2044.77	520.03	25.43	Húmedo
1989	Niña	1892.70	2044.77	-152.07	-7.44	Normal
1990	-	2515.40	2044.77	470.63	23.02	Húmedo
1991	Niño	2065.02	2044.77	20.25	0.99	Normal
1992	Niño	2927.88	2044.77	883.11	43.19	Húmedo
1993	-	2009.12	2044.77	-35.65	-1.74	Normal
1994	-	1766.87	2044.77	-277.90	-13.59	Normal
1995	Niña	2417.50	2044.77	372.73	18.23	Húmedo
1996	-	2463.90	2044.77	419.13	20.50	Húmedo
1997	Niño	1486.30	2044.77	-558.47	-27.31	Seco
1998	-	2255.48	2044.77	210.71	10.30	Normal
1999	Niña	2168.01	2044.77	123.24	6.03	Normal
2000	Niña	1417.96	2044.77	-626.81	-30.65	Seco
2001	-	1796.07	2044.77	-248.70	-12.16	Normal
2002	Niño	1573.65	2044.77	-471.12	-23.04	Seco
2003	-	2260.33	2044.77	215.56	10.54	Normal
2004	Niño	2038.64	2044.77	-6.13	-0.30	Normal
2005	-	2136.54	2044.77	91.77	4.49	Normal
2006	-	1997.43	2044.77	-47.34	-2.32	Normal
2007	Niña	2141.53	2044.77	96.76	4.73	Normal
2008	Niña	2174.78	2044.77	130.01	6.36	Normal
2009	Niño	1867.18	2044.77	-177.59	-8.68	Normal
2010	Niña	1929.78	2044.77	-114.99	-5.62	Normal
2011*	Niña	2225.67	2044.77	180.90	8.85	Normal
2012*	-	1915.43	2044.77	-129.34	-6.33	Normal
2013*	-	2185.41	2044.77	140.64	6.88	Normal
2014*	-	1496.12	2044.77	-548.65	-26.83	Seco
2015*	Niño	1456.67	2044.77	-588.10	-28.76	Seco

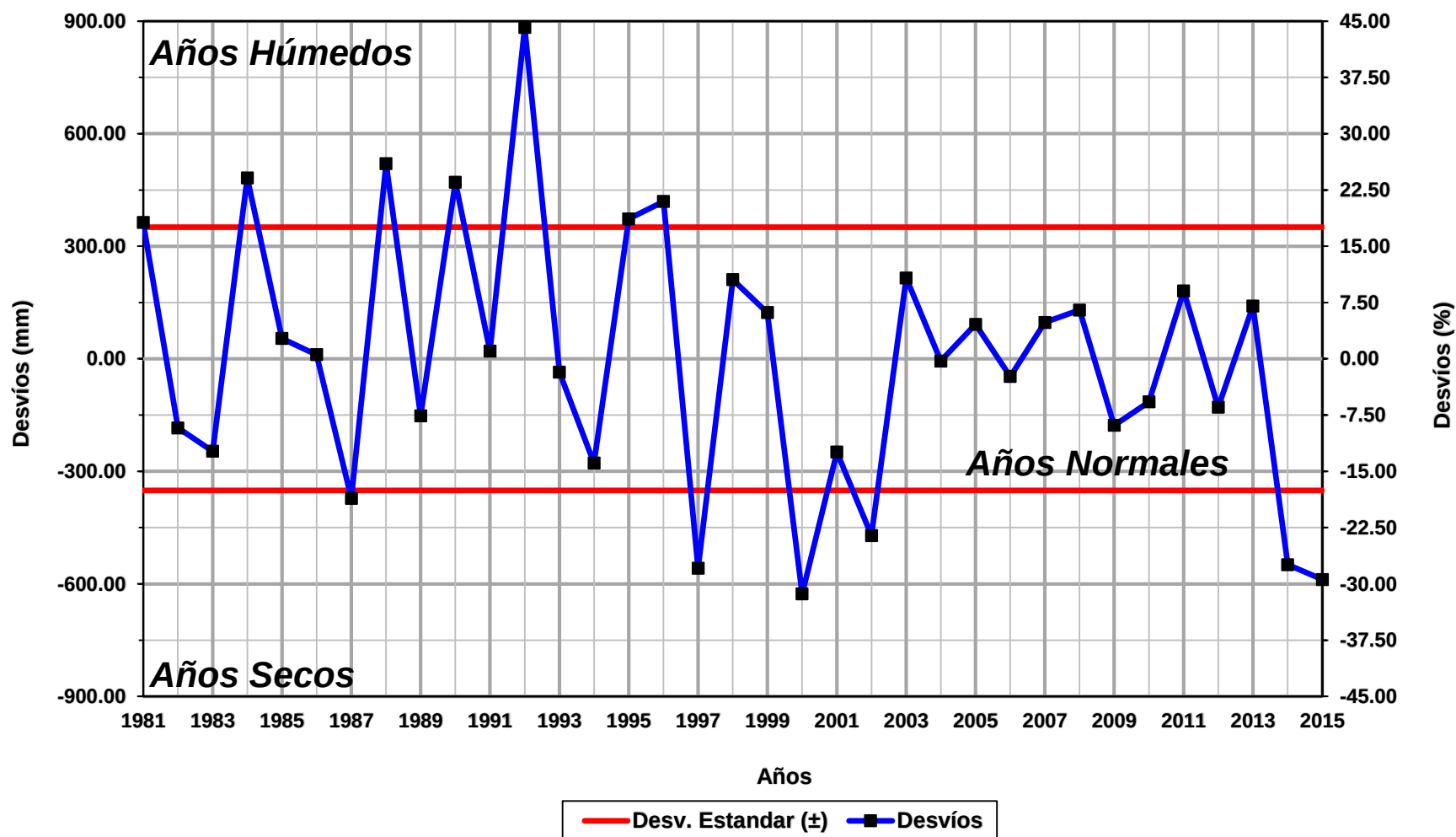
Fuente: Elaboración propia.

* Años extendidos a partir de la estación La Llana (124 – 002) mediante el análisis de regresión lineal.

** Años clasificados a criterio propio, solamente para tener una referencia general (NWS 2015).

Estadística Básica: Promedio: 2044.77 mm, Desviación Estándar: ± 350.68 mm, Coeficiente de Variación: 0.1715, Coeficiente de Asimetría: 0.17 y Coeficiente de Curtosis: 3.17.

FIGURA 37. DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.3 Promedios Móviles

La determinación de los períodos con tendencia normal, húmeda y seca de las series pluviométricas en la cuenca del río Tonosí utilizando los promedios móviles se realizó inicialmente seleccionando una estación representativa de cada zona funcional de la cuenca y que a su vez se ubicara dentro de la misma. Dichas estaciones fueron las mismas que se utilizaron en el análisis de los desvíos (años normales, húmedos y secos) y tampoco se tomó en consideración la zona alta de la cuenca por la ausencia de alguna estación en dicha zona.

Posteriormente a la selección de las estaciones a ser analizadas, se procedió a calcular la precipitación promedio anual del período 1981 – 2015 para cada estación y se continuó con la clasificación de los promedios móviles (normales, húmedos y secos), estableciendo como límite o rango la desviación estándar ($\pm$) obtenida a partir de los promedios móviles calculados. Los promedios móviles que presentaron desvíos dentro de los rangos de desviación estándar ($\pm$) fueron clasificados como normales, de igual forma, los promedios móviles que presentaron desvíos superiores a la desviación estándar positiva fueron clasificados como húmedos y los promedios móviles que presentaron desvíos inferiores a la desviación estándar negativa fueron clasificados como secos.

La zona baja de la cuenca del río Tonosí presentó una precipitación promedio anual de 1605.67 mm y una desviación estándar de ± 130.71 mm (ver FIGURA 38). Tomando en consideración la desviación estándar y los desvíos respecto a la precipitación promedio anual de la serie, se clasificaron 22 promedios móviles

como normales, seis promedios móviles clasificados como húmedos y tres promedios móviles clasificados como secos (ver CUADRO XXXIV y XXXV).

La máxima desviación positiva por parte de un promedio móvil respecto a la precipitación promedio anual corresponde al período 2007 – 2011 con una precipitación promedio de 1878.83 mm y un desvío de +273.16 mm (+17.01 %). El máximo desvío negativo corresponde al período 2000 - 2004 con una precipitación promedio de 1386.31 mm y un desvío de -219.36 mm (-13.66 %).

Desde otro punto de vista, los promedios móviles analizándolos como períodos principalmente de tendencia húmeda y seca reflejaron que para la zona baja de la cuenca del río Tonosí existieron dos períodos importantes. El primero de ellos catalogado como de tendencia seca, presentó una duración de siete años durante el período 1998 – 2004, poniendo en manifiesto la alta influencia de los años secos 2000 y 2002, los cuales provocaron que los promedios móviles que incluyeran estos años presentaran desviaciones negativas. El segundo período catalogado como de tendencia húmeda, presentó una duración de nueve años durante el período 2004 – 2012, poniendo en manifiesto la alta influencia de los años húmedos 2007, 2008 y 2011, los cuales provocaron que los promedios móviles que incluyeran estos años presentaran desviaciones positivas.

Ahora bien, analizando la FIGURA 39 específicamente el comportamiento de los promedios móviles a lo largo de toda la serie, se destaca la tendencia decreciente de los últimos cuatro promedios móviles desde 2008 – 2012 al 2011 – 2015 (situados en la FIGURA 39 a partir del año 2010 en adelante), lo cual nos indica

que los promedios móviles que continuaran a partir del 2012 – 2016 en adelante, estarán por debajo del promedio anual de toda la serie, existiendo la posibilidad de presentarse un período con tendencia seca. Por otra parte, la tendencia secular expresada a través de la pendiente de la recta de regresión demuestra una tendencia negativa (-1.0463), lo que significa que la precipitación a lo largo de los 35 años ha disminuido 1.0463 mm por año en esta zona de la cuenca.

La zona media de la cuenca del río Tonosí presentó una precipitación promedio anual de 2044.77 mm y una desviación estándar de ± 147.02 mm (ver FIGURA 40). Tomando en consideración la desviación estándar y los desvíos respecto a la precipitación promedio anual de la serie, se clasificaron 21 promedios móviles como normales, cinco promedios móviles clasificados como húmedos y cinco promedios móviles clasificados como secos (ver CUADRO XXXIV y XXXVI).

La máxima desviación positiva por parte de un promedio móvil respecto a la precipitación promedio anual corresponde al período 1988 - 1992 con una precipitación promedio de 2393.16 mm y un desvío de +348.39 mm (+17.04 %). El máximo desvío negativo corresponde al período 2000 - 2004 con una precipitación promedio de 1817.33 mm y un desvío de -227.44 mm (-11.12%).

Desde otro punto de vista, los promedios móviles analizándolos como períodos principalmente de tendencia húmeda y seca reflejaron que para la zona media de la cuenca del río Tonosí existieron dos períodos importantes. El primero de ellos catalogado como de tendencia húmeda, presentó una duración de nueve años

durante el período 1988 – 1996, poniendo en manifiesto la alta influencia de los años húmedos 1988, 1990, 1992, 1995 y 1996, los cuales provocaron que los promedios móviles que incluyeran estos años presentaran desviaciones positivas. El segundo período catalogado como de tendencia seca, presentó una duración de ocho años durante el período 1997 – 2004, poniendo en manifiesto la alta influencia de los años secos 2000 y 2002, los cuales provocaron que los promedios móviles que incluyeran estos años presentaran desviaciones negativas.

Ahora bien, analizando la FIGURA 41 específicamente el comportamiento de los promedios móviles a lo largo de toda la serie, se destaca la tendencia decreciente de los últimos tres promedios móviles desde 2009 – 2013 al 2011 – 2015 (situados en la FIGURA 41 a partir del año 2011 en adelante), lo cual nos indica que los promedios móviles que continuaran a partir del 2012 – 2016 en adelante, estarán por debajo del promedio anual de toda la serie, existiendo la posibilidad de presentarse un período con tendencia seca. Por otra parte, la tendencia secular expresada a través de la pendiente de la recta de regresión demuestra una tendencia negativa (-10.058), lo que significa que la precipitación a lo largo de los 35 años ha disminuido 10.058 mm por año, mucho más que en la zona baja de la cuenca.

CUADRO XXXIV. RESUMEN DE PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS, SEGÚN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Clasificación	Períodos (5 Años)	
	Zona Baja	Zona Media
Normal	1981-1985	1981-1985
	1982-1986	1982-1986
	1983-1987	1983-1987
	1984-1988	1984-1988
	1985-1989	1985-1989
	1987-1991	1986-1990
	1988-1992	1987-1991
	1989-1993	1993-1997
	1990-1994	1994-1998
	1991-1995	1995-1999
	1992-1996	1996-2000
	1993-1997	2001-2005
	1994-1998	2002-2006
	1995-1999	2003-2007
	1996-2000	2004-2008
	1997-2001	2005-2009
	2001-2005	2006-2010
	2002-2006	2007-2011
	2003-2007	2008-2012
	2009-2013	2009-2013
	2010-2014	2010-2014
	2011-2015	-
Subtotal	22 (70.97 %)	21 (67.74 %)
Húmedo	1986-1990	1988-1992
	2004-2008	1989-1993
	2005-2009	1990-1994
	2006-2010	1991-1995
	2007-2011	1992-1996
	2008-2012	-
Subtotal	6 (19.35 %)	5 (16.13 %)
Seco	1998-2002	1997-2001
	1999-2003	1998-2002
	2000-2004	1999-2003
	-	2000-2004
	-	2011-2015
Subtotal	3 (9.68 %)	5 (16.13 %)
Total General	31 (100.00 %)	31 (100.00 %)

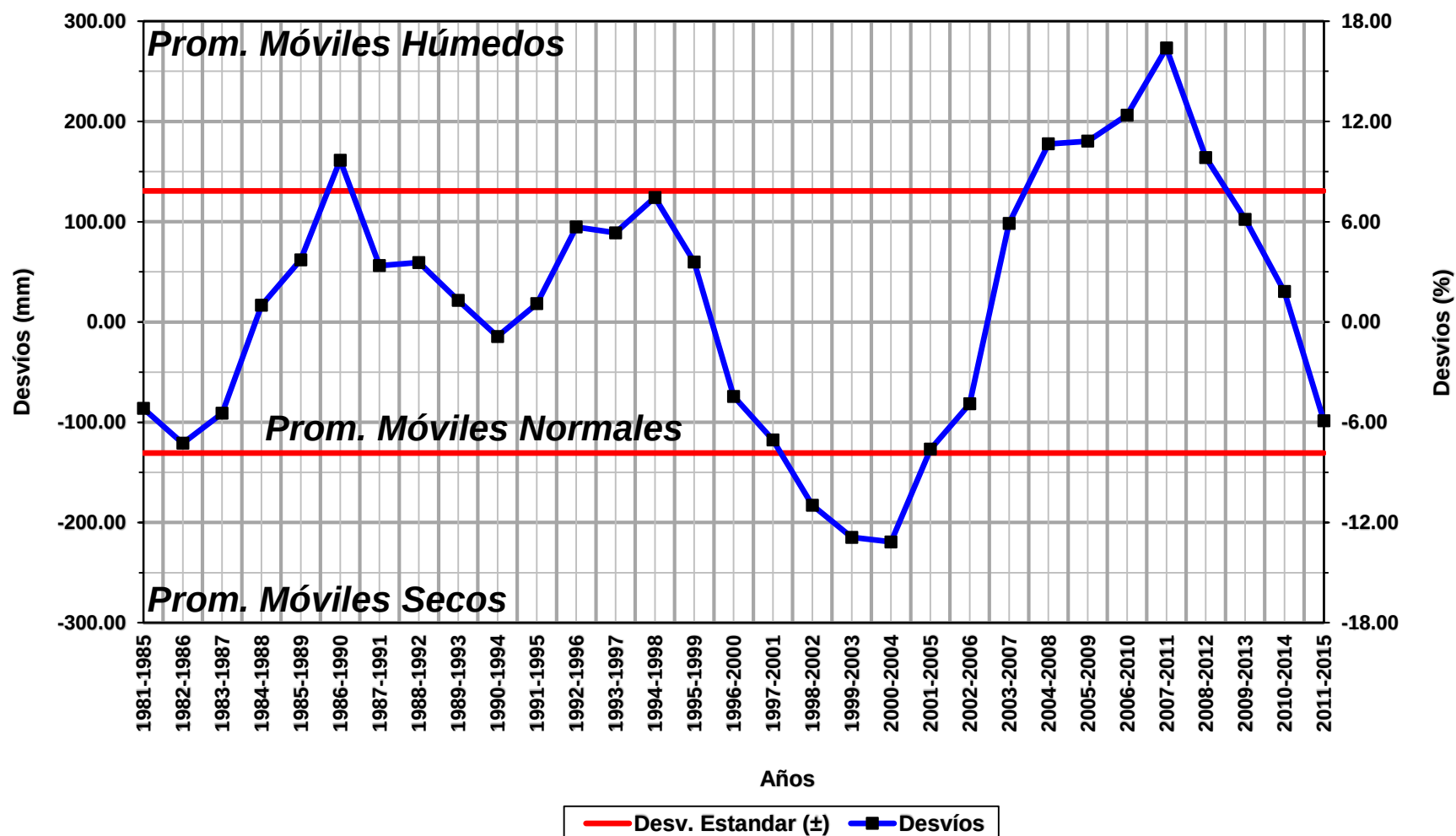
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO XXXV. DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Año	Períodos (5 Años)	Promedios Móviles (mm)	Promedio Anual (mm)	Desvíos		
				mm	%	Clasificación
1981	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-
1983	1981-1985	1519.51	1605.67	-86.16	-5.37	Normal
1984	1982-1986	1484.80	1605.67	-120.87	-7.53	Normal
1985	1983-1987	1514.60	1605.67	-91.07	-5.67	Normal
1986	1984-1988	1622.30	1605.67	16.63	1.04	Normal
1987	1985-1989	1667.68	1605.67	62.01	3.86	Normal
1988	1986-1990	1766.98	1605.67	161.31	10.05	Húmedo
1989	1987-1991	1661.90	1605.67	56.23	3.50	Normal
1990	1988-1992	1664.90	1605.67	59.23	3.69	Normal
1991	1989-1993	1627.29	1605.67	21.62	1.35	Normal
1992	1990-1994	1591.20	1605.67	-14.48	-0.90	Normal
1993	1991-1995	1623.86	1605.67	18.18	1.13	Normal
1994	1992-1996	1700.33	1605.67	94.66	5.90	Normal
1995	1993-1997	1694.51	1605.67	88.84	5.53	Normal
1996	1994-1998	1729.81	1605.67	124.14	7.73	Normal
1997	1995-1999	1665.37	1605.67	59.69	3.72	Normal
1998	1996-2000	1531.50	1605.67	-74.17	-4.62	Normal
1999	1997-2001	1488.04	1605.67	-117.63	-7.33	Normal
2000	1998-2002	1422.92	1605.67	-182.75	-11.38	Seco
2001	1999-2003	1390.95	1605.67	-214.72	-13.37	Seco
2002	2000-2004	1386.31	1605.67	-219.36	-13.66	Seco
2003	2001-2005	1478.80	1605.67	-126.87	-7.90	Normal
2004	2002-2006	1524.07	1605.67	-81.61	-5.08	Normal
2005	2003-2007	1704.03	1605.67	98.35	6.13	Normal
2006	2004-2008	1783.25	1605.67	177.57	11.06	Húmedo
2007	2005-2009	1785.95	1605.67	180.27	11.23	Húmedo
2008	2006-2010	1811.91	1605.67	206.23	12.84	Húmedo
2009	2007-2011	1878.83	1605.67	273.16	17.01	Húmedo
2010	2008-2012	1769.73	1605.67	164.06	10.22	Húmedo
2011	2009-2013	1708.10	1605.67	102.42	6.38	Normal
2012	2010-2014	1636.06	1605.67	30.39	1.89	Normal
2013	2011-2015	1507.16	1605.67	-98.52	-6.14	Normal
2014	-	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-	-

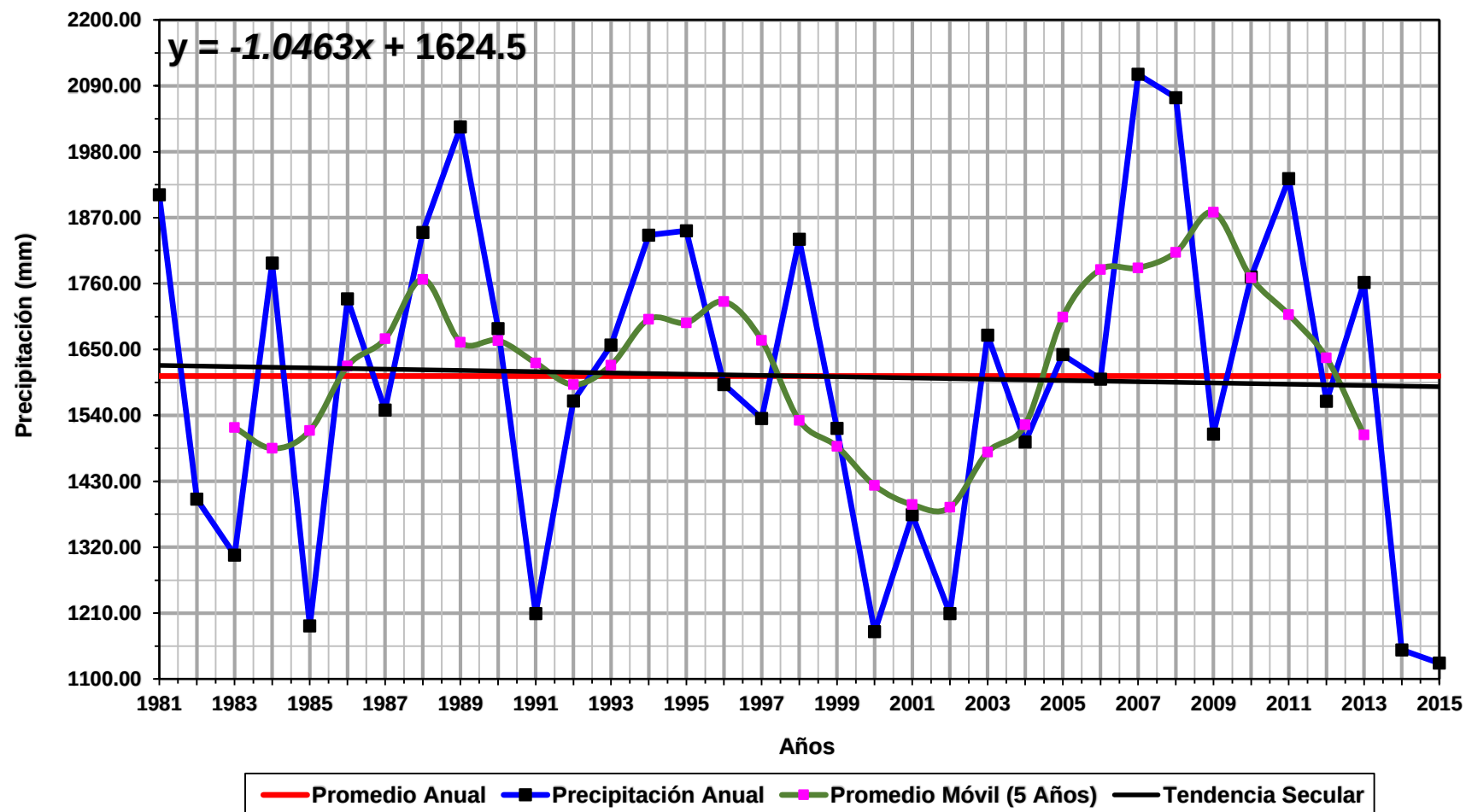
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 38. DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 39. COMPARACIÓN ENTRE LAS PRECIPITACIONES TOTALES ANUALES, PROMEDIO ANUAL Y PROMEDIOS MÓVILES EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



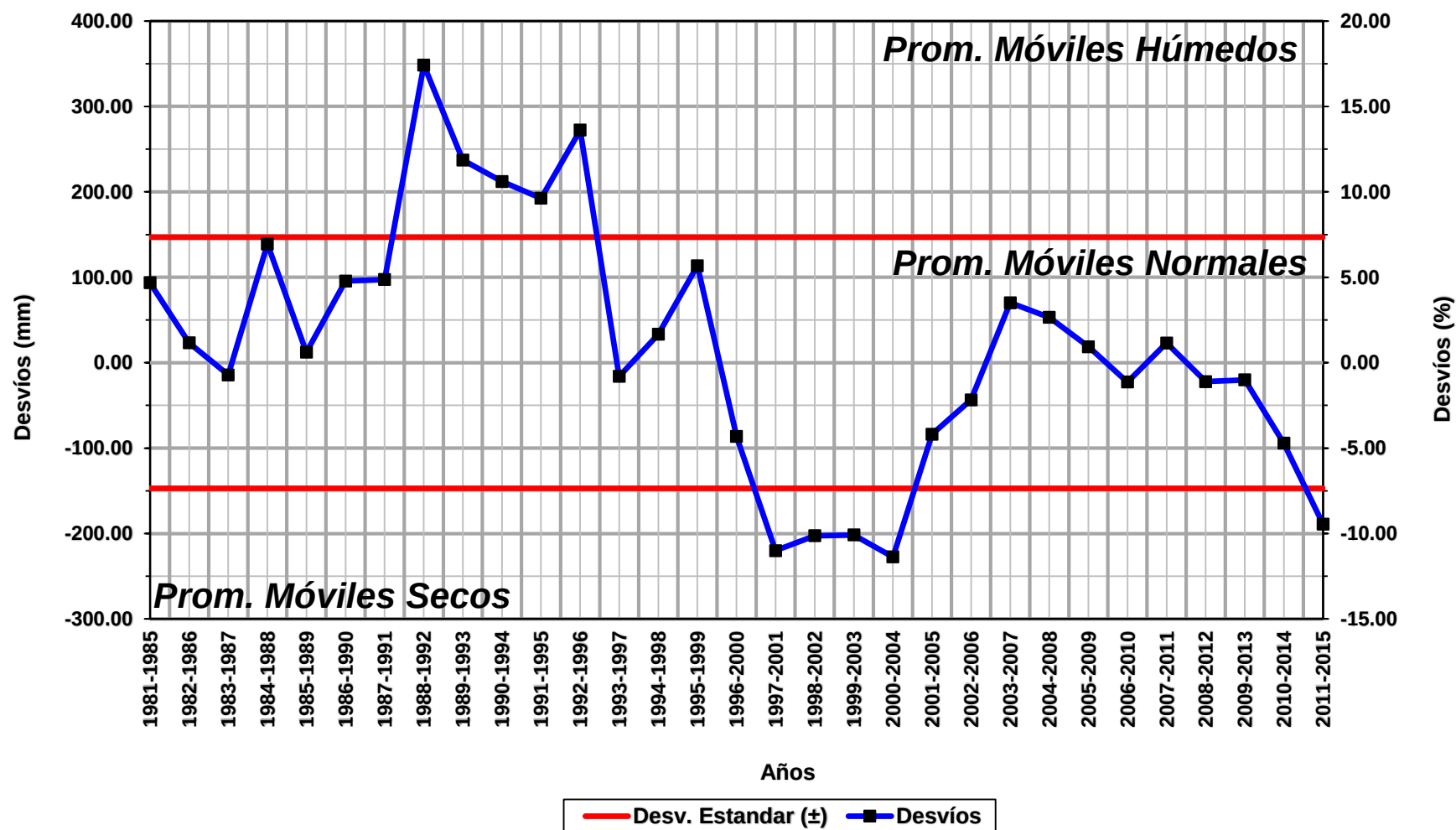
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO XXXVI. DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Año	Períodos (5 Años)	Promedios Móviles (mm)	Promedio Anual (mm)	Desvíos		
				mm	%	Clasificación
1981	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-
1983	1981-1985	2138.40	2044.77	93.63	4.58	Normal
1984	1982-1986	2067.98	2044.77	23.21	1.14	Normal
1985	1983-1987	2030.48	2044.77	-14.29	-0.70	Normal
1986	1984-1988	2183.80	2044.77	139.03	6.80	Normal
1987	1985-1989	2056.98	2044.77	12.21	0.60	Normal
1988	1986-1990	2140.32	2044.77	95.55	4.67	Normal
1989	1987-1991	2142.16	2044.77	97.40	4.76	Normal
1990	1988-1992	2393.16	2044.77	348.39	17.04	Húmedo
1991	1989-1993	2282.02	2044.77	237.26	11.60	Húmedo
1992	1990-1994	2256.86	2044.77	212.09	10.37	Húmedo
1993	1991-1995	2237.28	2044.77	192.51	9.41	Húmedo
1994	1992-1996	2317.05	2044.77	272.29	13.32	Húmedo
1995	1993-1997	2028.74	2044.77	-16.03	-0.78	Normal
1996	1994-1998	2078.01	2044.77	33.24	1.63	Normal
1997	1995-1999	2158.24	2044.77	113.47	5.55	Normal
1998	1996-2000	1958.33	2044.77	-86.44	-4.23	Normal
1999	1997-2001	1824.76	2044.77	-220.00	-10.76	Seco
2000	1998-2002	1842.23	2044.77	-202.53	-9.90	Seco
2001	1999-2003	1843.20	2044.77	-201.56	-9.86	Seco
2002	2000-2004	1817.33	2044.77	-227.44	-11.12	Seco
2003	2001-2005	1961.05	2044.77	-83.72	-4.09	Normal
2004	2002-2006	2001.32	2044.77	-43.45	-2.12	Normal
2005	2003-2007	2114.89	2044.77	70.13	3.43	Normal
2006	2004-2008	2097.78	2044.77	53.02	2.59	Normal
2007	2005-2009	2063.49	2044.77	18.72	0.92	Normal
2008	2006-2010	2022.14	2044.77	-22.63	-1.11	Normal
2009	2007-2011	2067.79	2044.77	23.02	1.13	Normal
2010	2008-2012	2022.57	2044.77	-22.20	-1.09	Normal
2011	2009-2013	2024.69	2044.77	-20.07	-0.98	Normal
2012	2010-2014	1950.48	2044.77	-94.29	-4.61	Normal
2013	2011-2015	1855.86	2044.77	-188.91	-9.24	Seco
2014	-	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-	-

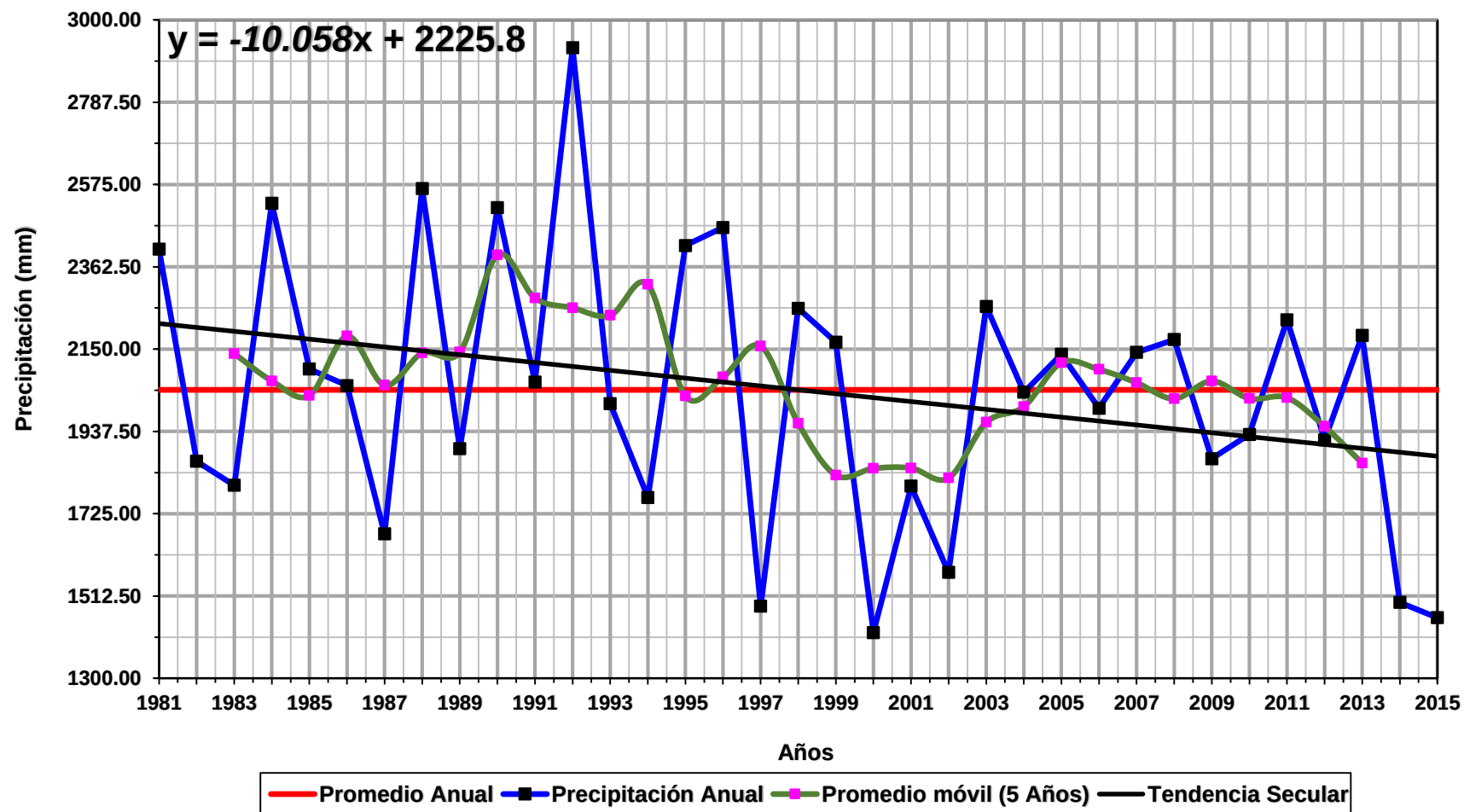
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 40. DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 41. COMPARACIÓN ENTRE LAS PRECIPITACIONES TOTALES ANUALES, PROMEDIO ANUAL Y PROMEDIOS MÓVILES EN LA ZONA MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Análisis Espacial de la Precipitación

4.4.3.1 Óptimo Pluviométrico

La relación de la precipitación con la altitud en la cuenca del río Tonosí utilizando el óptimo pluviométrico de antemano resultó difícil para no decir imposible. Primeramente, las cuatro estaciones pluviométricas situadas dentro de la cuenca no se encuentran ubicadas estratégicamente, es decir, no están distribuidas según las zonas funcionales de la misma. Segundo, las cuatro estaciones se concentran en las llanuras y planicies, y ninguna en la zona montañosa. Tercero, las cuatro estaciones ubicadas en las cercanías de la cuenca, con influencia en algún sector de la misma, no se ajustan gráficamente (forma parabólica) con las estaciones dentro de la cuenca, descartándolas en su totalidad. Por último, existen estaciones pluviométricas instaladas hace algunos años en la zona media de la cuenca, sin embargo, no se tuvo acceso a dicha información, excluyéndolas para este análisis.

En referencia a lo expuesto anteriormente y para establecer alguna relación de la precipitación promedio anual (período 1981 – 2010) con la altitud se decidió trabajar solamente con las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la cuenca del río Tonosí, ya que su ajuste gráfico se asemeja a lo esperado (forma parabólica). Las estaciones seleccionadas fueron las siguientes: La Llana (124 – 002), Tonosí 2 (124 – 004), El Cortezo (124 – 005) y Altos de Güera (124 – 006). Analizando la FIGURA 42 se puede resaltar que las precipitaciones tienden a aumentar en grandes proporciones a partir de elevaciones muy próximas al nivel del mar (Tonosí, 12 msnm), alcanzando su nivel óptimo entre La

Llana (60 msnm) con una precipitación promedio anual de 2413.83 mm y El Cortezo (150 msnm) con una precipitación promedio anual de 2232.50 mm. Por encima del óptimo los totales disminuyen. Una estación pluviométrica sirve para atestiguar la mengua de las lluvias, esta es Altos de Güera a 220 msnm con una precipitación promedio anual de 2076.25 mm.

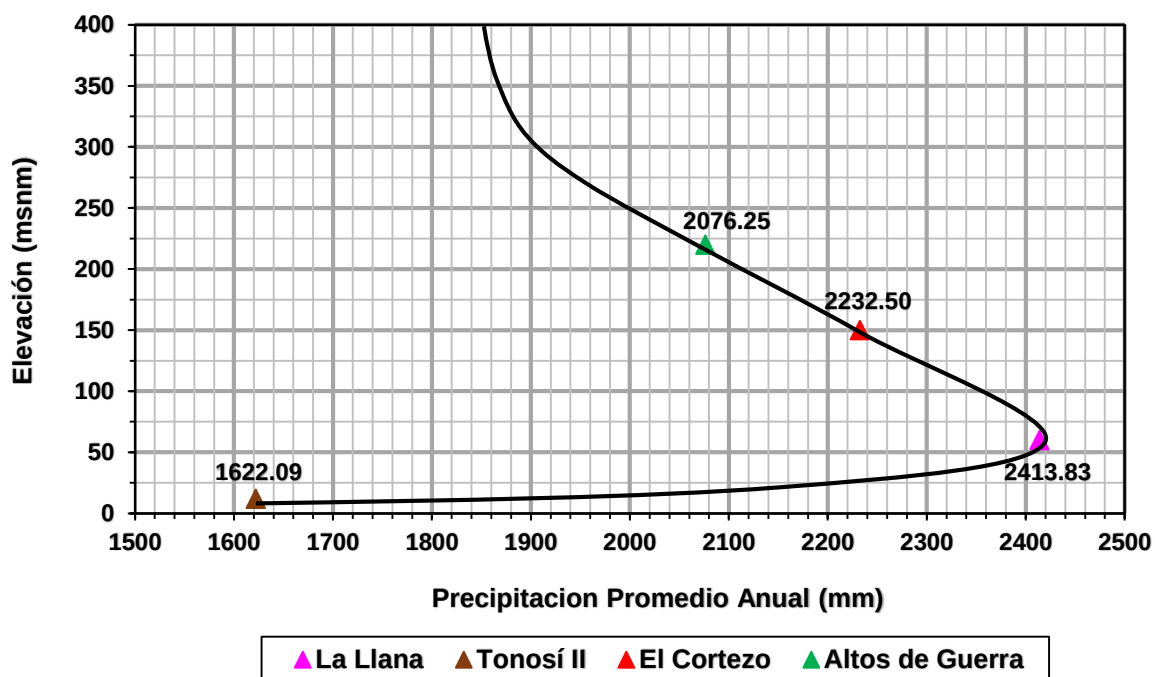
Es importante hacer la salvedad, de que existe incertidumbre si la precipitación disminuirá o aumentará a partir de los 220 msnm, teniendo en cuenta de que no existe ninguna estación pluviométrica a partir de esta elevación y que la cuenca culmina a los 1400 msnm. Por otra parte, la estación La Llana ubicada en la zona baja de la cuenca y con la mayor precipitación promedio anual registrada, recibe aportes pluviométricos no solamente de la zona baja de la cuenca, sino también de la zona media y alta, por tal motivo, no es tan cierto decir que en la zona baja de la cuenca se reciben los mayores aportes pluviométricos.

CUADRO XXXVII. RELACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN CON ALTITUD (ELEVACIÓN) EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ (PERÍODO 1981 – 2010).

Código	Estación	Elevación (msnm)	Precipitación Promedio Anual (mm)
124-004	Tonosí II	12	1622.09
124-002	La Llana	60	2413.83
124-005	El Cortezo	150	2232.50
124-006	Altos de Guerra	220	2076.25

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 42. RELACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN CON LA ALTITUD EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.2 Precipitación Promedio de la Cuenca

La estimación de la precipitación promedio anual (período 1981 – 2010) en la cuenca del río Tonosí utilizando el método isoyetas y considerado para este análisis las siguientes estaciones pluviométricas: Guánico Abajo (122 – 005), La Llana (124 – 002), Tonosí 2 (124 – 004), El Cortezo (124 – 005), Altos de Güera (124 – 006), La Mesa de Macaracas (128 – 005), Llano de Piedra (128 – 011) y Pitaloza Arriba (128 – 012); dio como resultado una precipitación promedio anual de 2049.45 mm. Adicionalmente, se trazaron un total de cinco isoyetas en la cuenca del río Tonosí, cada una de ellas con una diferencia entre isoyetas de 200 mm. Las isoyetas trazadas fueron las siguientes: 1600, 1800, 2000, 2200 y

2400 mm. Desde otro punto de vista, alrededor del 67.275 % (489.498 Km²) de la superficie total de la cuenca del río Tonosí recibe precipitaciones mayores a los 2000 mm anuales. El resto de la superficie total que equivale al 32.725 % (238.110 Km²), recibe precipitaciones menores a los 2000 mm anuales.

Por otra parte, la utilización del método isoyetas permitió de manera complementaria conocer los sectores en la cuenca donde se reciben los mayores y menores aportes de precipitación (ver ANEXO XXVI). El sector donde confluyen la subcuenca del río Güera y Guaniquito con la intercuenca del Tonosí Abajo (río Tonosí) se reciben los mayores aportes de precipitación promedio anual alcanzando valores de aproximadamente 2400 mm. Contrario a lo expresado anteriormente, el sector donde se recibe los menores aportes de precipitación promedio anual corresponden a la intercuenca del Tonosí Abajo. En dicha zona con cercanía al mar se estiman precipitaciones promedio anuales inferiores a los 1600 mm.

Es importante mencionar que en el sector occidental de la cuenca del río Tonosí (subcuenca del río Guaniquito) existen pocas estaciones pluviométricas las cuales no permitieron el trazado de más isoyetas, impidiendo una mejor estimación de la precipitación promedio anual en dicha área.

4.4.4 Curvas de Variación Estacional

La elaboración de las curvas de variación estacional utilizando las puntuaciones estandarizadas o tipificadas de la curva de probabilidad normal se realizó primeramente seleccionando las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la

cuenca del río Tonosí, las cuales son: La Llana (124 – 002), Tonosí (124 – 004), El Cortezo (124 – 005) y Altos de Güera (124 – 006). Segundo, se procesaron los registros de las precipitaciones mensuales de cada estación y, por último, se calculó la estadística básica para dicho período, dándole mayor importancia a la media aritmética y a la desviación estándar de cada serie de datos, ya que intervienen en el cálculo de la probabilidad de ocurrencia.

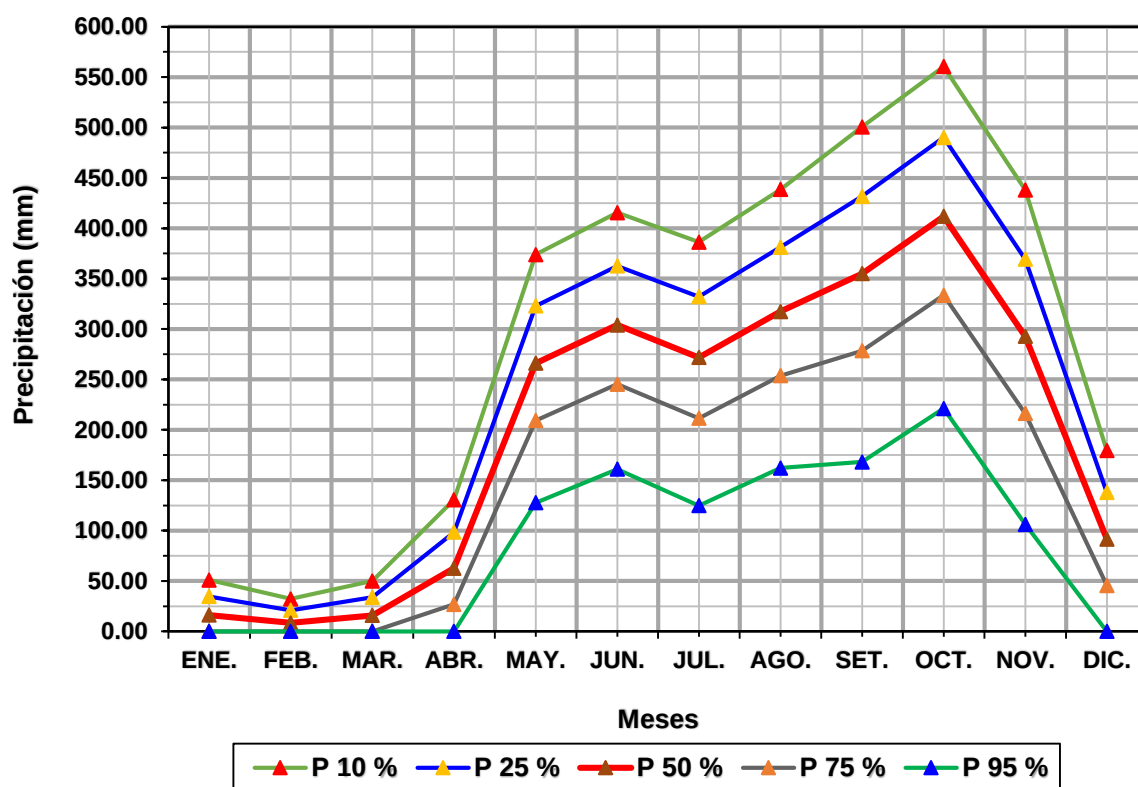
Es importante hacer la mención, que de todas las probabilidades de ocurrencia presentadas del CUADRO XXXVIII al CUADRO XLI y de la FIGURA 43 a la FIGURA 46, la probabilidad de ocurrencia al 75 % o mejor conocida como “*lluvia segura*”, es considerada la más relevante. A continuación, se presentan los resultados:

CUADRO XXXVIII. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).

Variab.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Prom.	16.25	8.49	15.87	62.68	266.08	303.97	271.78	317.41	355.04	411.84	292.78	91.65
D.E.	27.15	18.58	26.66	53.06	84.18	86.96	89.40	94.45	113.62	115.94	113.39	68.43
C.V.	1.67	2.19	1.68	0.85	0.32	0.29	0.33	0.30	0.32	0.28	0.39	0.75
C.A.	1.80	2.74	1.50	0.95	0.23	0.60	0.09	-0.19	0.19	-0.13	-0.33	0.37
C.C.	5.51	10.41	3.99	3.27	2.66	6.22	2.79	3.33	2.41	3.19	2.68	2.39
P % 5	60.91	39.05	59.72	149.96	404.54	447.01	418.83	472.77	541.93	602.54	479.29	204.21
P % 10	51.04	32.30	50.04	130.68	373.96	415.41	386.35	438.45	500.65	560.42	438.10	179.35
P % 25	34.56	21.02	33.85	98.47	322.86	362.62	332.08	381.12	431.68	490.04	369.26	137.81
P % 50	16.25	8.49	15.87	62.68	266.08	303.97	271.78	317.41	355.04	411.84	292.78	91.65
P % 75	0.00	0.00	0.00	26.89	209.30	245.32	211.48	253.70	278.40	333.64	216.30	45.49
P % 80	0.00	0.00	0.00	18.02	195.23	230.78	196.54	237.92	259.41	314.26	197.35	34.06
P % 85	0.00	0.00	0.00	7.69	178.83	213.84	179.12	219.52	237.28	291.68	175.26	20.73
P % 90	0.00	0.00	0.00	0.00	158.20	192.53	157.21	196.37	209.43	263.26	147.46	3.95
P % 95	0.00	0.00	0.00	0.00	127.62	160.93	124.73	162.05	168.15	221.14	106.27	0.00

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 43. CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).



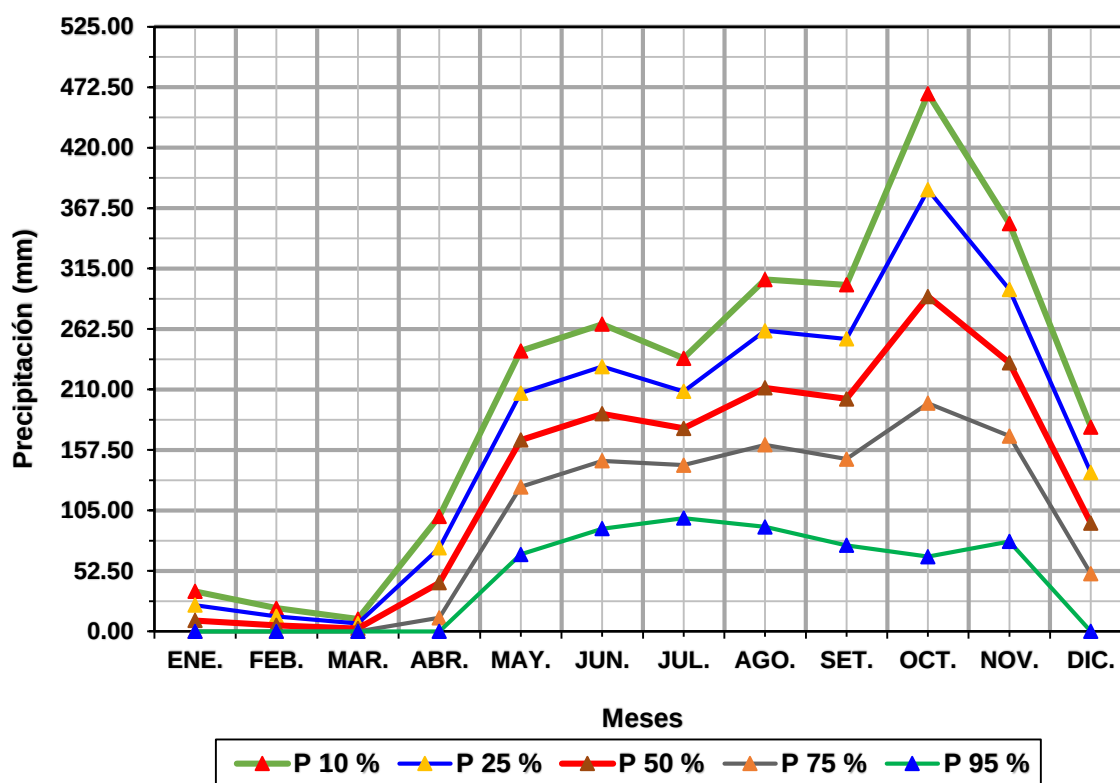
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO XXXIX. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES, ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004).

Variab.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Prom.	9.41	5.22	2.57	42.19	166.14	188.99	176.33	211.47	201.80	290.79	233.28	93.90
D.E.	19.81	11.68	6.38	44.97	60.38	60.65	47.43	73.41	77.28	137.32	94.32	65.15
C.V.	2.11	2.24	2.48	1.07	0.36	0.32	0.27	0.35	0.38	0.47	0.40	0.69
C.A.	2.67	2.46	3.18	1.17	0.26	-0.17	0.67	0.25	0.56	1.69	0.58	0.60
C.C.	9.61	8.48	13.65	3.45	3.12	3.07	2.31	2.97	2.94	6.65	4.57	3.18
P % 5	41.99	24.43	13.06	116.16	265.46	288.75	254.35	332.22	328.91	516.66	388.42	201.06
P % 10	34.80	20.19	10.75	99.82	243.52	266.72	237.11	305.55	300.84	466.77	354.16	177.39
P % 25	22.77	13.10	6.87	72.52	206.87	229.90	208.32	260.98	253.92	383.41	296.90	137.84
P % 50	9.41	5.22	2.57	42.19	166.14	188.99	176.33	211.47	201.80	290.79	233.28	93.90
P % 75	0.00	0.00	0.00	11.86	125.41	148.08	144.34	161.96	149.68	198.17	169.66	49.96
P % 80	0.00	0.00	0.00	4.34	115.32	137.95	136.41	149.69	136.76	175.22	153.90	39.07
P % 85	0.00	0.00	0.00	0.00	103.56	126.13	127.17	135.39	121.70	148.47	135.52	26.38
P % 90	0.00	0.00	0.00	0.00	88.76	111.26	115.55	117.39	102.76	114.81	112.40	10.41
P % 95	0.00	0.00	0.00	0.00	66.82	89.23	98.31	90.72	74.69	64.92	78.14	0.00

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 44. CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL, ESTACIÓN TONOSÍ (124 – 004).



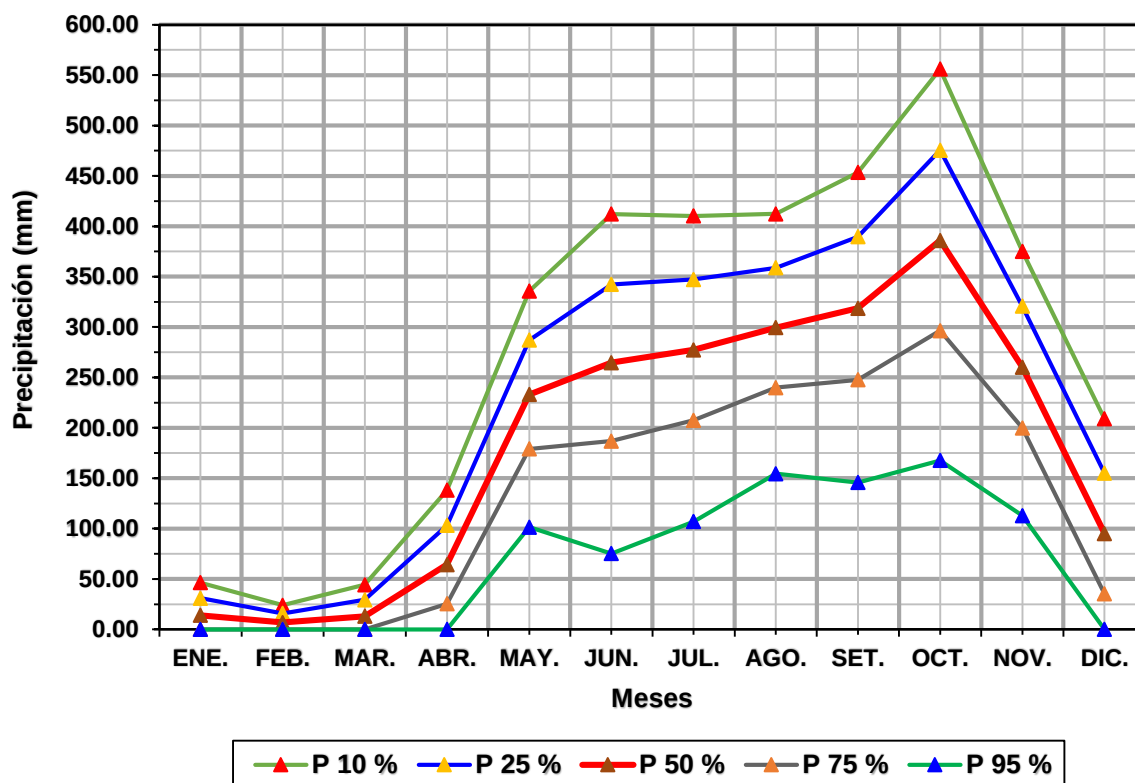
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO XL. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).

Variab.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Prom.	13.98	6.76	13.04	64.24	233.04	264.62	277.41	299.41	318.68	385.93	260.29	95.10
D.E.	25.30	13.46	24.34	57.66	80.01	115.17	103.61	88.12	105.18	132.70	89.66	88.78
C.V.	1.81	1.99	1.87	0.90	0.34	0.44	0.37	0.29	0.33	0.34	0.34	0.93
C.A.	1.97	1.80	1.96	1.59	0.32	1.12	1.90	-0.16	1.16	1.07	-0.14	1.40
C.C.	6.27	5.05	6.08	5.80	2.71	5.54	7.45	3.42	5.89	4.12	3.03	5.86
P % 5	55.59	28.90	53.08	159.08	364.64	454.06	447.83	444.35	491.69	604.20	407.77	241.13
P % 10	46.40	24.01	44.23	138.13	335.58	412.22	410.19	412.34	453.47	555.99	375.19	208.88
P % 25	31.04	15.84	29.46	103.13	287.01	342.30	347.29	358.85	389.62	475.43	320.76	154.98
P % 50	13.98	6.76	13.04	64.24	233.04	264.62	277.41	299.41	318.68	385.93	260.29	95.10
P % 75	0.00	0.00	0.00	25.35	179.07	186.94	207.53	239.97	247.74	296.43	199.82	35.22
P % 80	0.00	0.00	0.00	15.71	165.70	167.69	190.21	225.25	230.16	274.25	184.83	20.38
P % 85	0.00	0.00	0.00	4.48	150.11	145.25	170.03	208.08	209.67	248.40	167.36	3.09
P % 90	0.00	0.00	0.00	0.00	130.50	117.02	144.63	186.48	183.89	215.87	145.39	0.00
P % 95	0.00	0.00	0.00	0.00	101.44	75.18	106.99	154.47	145.67	167.66	112.81	0.00

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 45. CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).



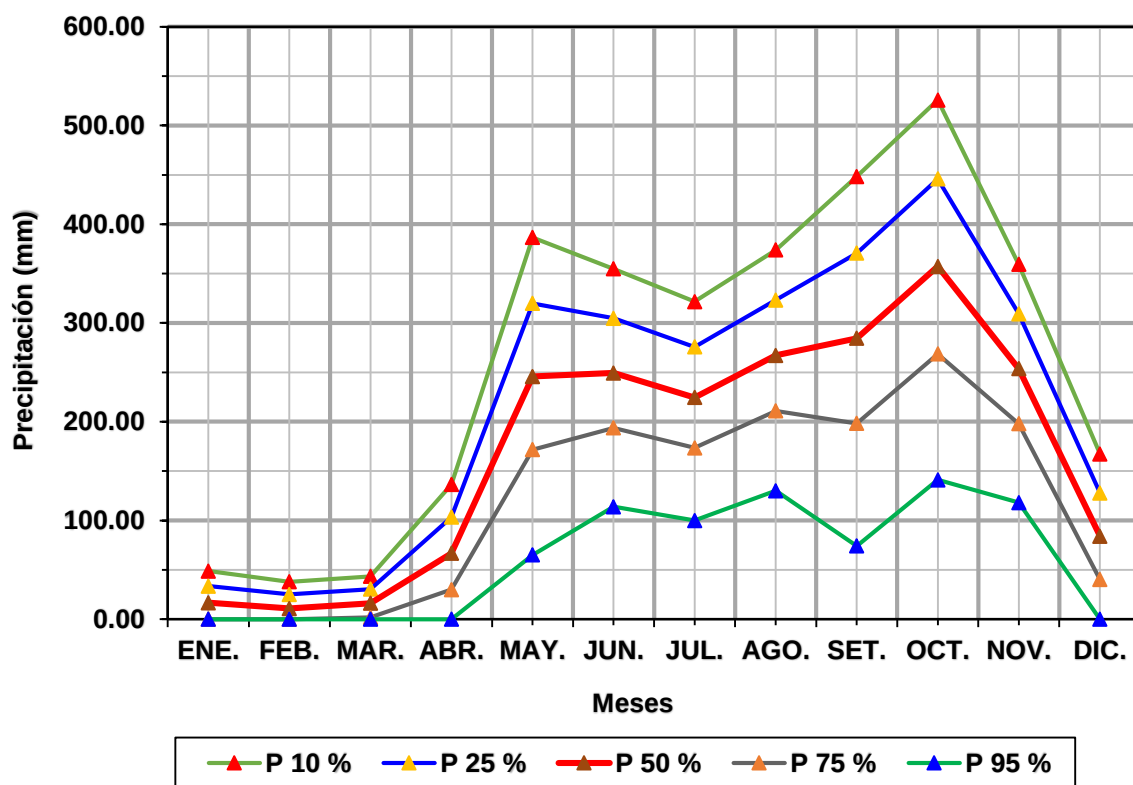
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO XLI. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 006).

Variab.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Prom.	16.58	10.82	16.09	66.63	245.80	249.30	224.56	267.07	284.52	357.25	253.63	84.00
D.E.	25.09	21.12	21.35	54.47	109.83	82.31	75.76	83.33	127.85	131.46	82.45	64.97
C.V.	1.51	1.95	1.33	0.82	0.45	0.33	0.34	0.31	0.45	0.37	0.33	0.77
C.A.	1.65	2.10	1.27	1.52	0.68	0.62	0.21	-0.08	1.58	1.82	0.08	0.81
C.C.	5.24	6.48	3.78	5.90	3.19	3.77	3.09	2.70	7.33	7.53	2.78	3.78
P % 5	57.85	45.56	51.21	156.23	426.45	384.69	349.17	404.14	494.81	573.48	389.25	190.87
P % 10	48.73	37.89	43.45	136.44	386.55	354.78	321.65	373.86	448.37	525.72	359.29	167.26
P % 25	33.50	25.07	30.49	103.37	319.88	304.82	275.66	323.28	370.75	445.92	309.24	127.82
P % 50	16.58	10.82	16.09	66.63	245.80	249.30	224.56	267.07	284.52	357.25	253.63	84.00
P % 75	0.00	0.00	1.69	29.89	171.72	193.78	173.46	210.86	198.29	268.58	198.02	40.18
P % 80	0.00	0.00	0.00	20.79	153.36	180.03	160.80	196.94	176.92	246.61	184.24	29.32
P % 85	0.00	0.00	0.00	10.18	131.97	163.99	146.04	180.70	152.01	221.00	168.18	16.66
P % 90	0.00	0.00	0.00	0.00	105.05	143.82	127.47	160.28	120.67	188.78	147.97	0.74
P % 95	0.00	0.00	0.00	0.00	65.15	113.91	99.95	130.00	74.23	141.02	118.01	0.00

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 46. CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).



Fuente: Elaboración propia.

4.4.5 Análisis de Frecuencia

4.4.5.1 Precipitación Máxima en 24 Horas

La estimación de la precipitación máxima en 24 horas para diversos períodos de retorno, cada uno con su respectiva probabilidad de ocurrencia utilizando la distribución teórica de probabilidad de Gumbel o valores extremos tipo I, se realizó inicialmente seleccionando las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la cuenca del río Tonosí, tomando en consideración la serie histórica de cada estación. Las estaciones seleccionadas y su estadística básica se presentan en el siguiente cuadro:

CUADRO XLII. ESTADÍSTICA BÁSICA (PERÍODO HISTÓRICO) DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS, PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.

Estación	La Llana	Tonosí	El Cortezo	Altos de Güera
Código	124 – 002	124 – 004	124 – 005	124 – 006
Años de Registro	50	43	26	25
Media Aritmética (mm/día)	98.254	100.284	76.135	89.716
Desviación Estándar (D.E.)	33.193	49.725	25.855	34.912
Coeficiente de Variación (C.V.)	0.3378	0.4958	0.3395	0.3891
Coeficiente de Asimetría o Sesgo (C.A.)	1.968	2.859	0.743	1.606
Coeficiente de Curtosis (C.C.)	7.336	13.978	2.838	7.092

Fuente: Elaboración propia.

Segundo, se procedió a obtener la precipitación máxima en 24 horas para cada año de los registros históricos de cada estación. Tercero, se eligió la distribución teórica de probabilidad a utilizar, siendo esta la distribución de Gumbel o valores extremos Tipo I, debido al tipo de datos a analizar. Cuarto, se ajustaron las series de precipitación máxima en 24 horas de cada estación a una distribución empírica de probabilidad, la cual fue la distribución de Weibull. Quinto, se sometieron las series de precipitación máxima en 24 horas de cada estación a una prueba de bondad de ajuste, la cual fue Smirnov – Kolmogorov, permitiendo saber si realmente los datos se ajustan a dicha distribución. Por último, al corroborar el buen ajuste de los datos con la distribución seleccionada se estimaron las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno.

4.4.5.1.1 Distribución Empírica de Probabilidad

La utilización de la fórmula empírica de Weibull para calcular la probabilidad de ocurrencia, no ocurrencia y el período de retorno respectivo de cada valor de la

serie de datos a analizar para las cuatro estaciones se presentan en el ANEXO XIV al ANEXO XVII. Es importante mencionar que el cálculo de la probabilidad de ocurrencia mediante la fórmula empírica de Weibull se utilizó en la prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov.

4.4.5.1.2 Prueba de Bondad de Ajuste

La aplicación de la prueba de ajuste Smirnov – Kolmogorov utilizada para determinar si la serie de datos de las cuatro estaciones pluviométricas se ajustan o no a la distribución teórica de probabilidad de Gumbel o valores extremos Tipo I, mediante el uso de sus estadísticos o deltas se presenta en el CUADRO XLIII.

Analizando los valores de los estadísticos o mejor dicho los valores de delta teórico y delta tabular, se puede deducir que en las cuatro estaciones pluviométricas el delta teórico es menor que el delta tabular, lo cual indica que el ajuste de la serie de datos a la distribución teórica de probabilidad es bueno al nivel de significancia seleccionado ($\alpha = 0.05$). En el ANEXO XVIII al ANEXO XXI, se presenta la probabilidad de la distribución teórica, la probabilidad experimental o empírica, de cada valor de la serie de datos correspondiente a las cuatro estaciones, además, del delta teórico y delta tabular.

CUADRO XLIII. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE.

Estación	La Llana	Tonosí	El Cortezo	Altos de Güera
Código	124 - 002	124 - 004	124 - 005	124 - 006
$\Delta_o (D_{tab.})$	0.1923	0.2074	0.2640	0.2700
$\Delta(D_{teo.})$	0.1553	0.1145	0.1014	0.1503
Ajuste	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5.1.3 Distribución Teórica de Probabilidad

El cálculo de la probabilidad de ocurrencia y los períodos de retorno (5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000) de la precipitación máxima en 24 horas utilizando la distribución teórica de probabilidad de Gumbel o valores extremos tipo I se presentan a continuación:

CUADRO XLIV. PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm) PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO.

P % ($X \geq 24\text{máx}$)	P % ($X < 24\text{máx}$)	T_r	Estaciones				Prom.
			La Llana (124 - 002)	Tonosí (124 - 004)	El Cortezo (124 - 005)	Altos de Güera (124 - 006)	
99.00	1.00	1.01	43.79	18.70	33.71	32.43	32.16
95.00	5.00	1.05	54.92	35.37	42.38	44.14	44.20
90.00	10.00	1.11	61.73	45.57	47.69	51.30	51.57
80.00	20.00	1.25	71.00	59.46	54.91	61.05	61.60
50.00	50.00	2	92.80	92.12	71.89	83.98	85.20
33.33	66.67	3	106.68	112.91	82.70	98.58	100.22
20.00	80.00	5	122.13	136.06	94.74	114.83	116.94
10.00	90.00	10	141.56	165.15	109.86	135.26	137.96
4.00	96.00	25	166.09	201.91	128.98	161.07	164.51
2.00	98.00	50	184.30	229.19	143.16	180.22	184.22
1.00	99.00	100	202.37	256.26	157.23	199.22	203.77
0.50	99.50	200	220.37	283.23	171.26	218.16	223.25
0.20	99.80	500	244.13	318.81	189.76	243.14	248.96
0.10	99.90	1000	262.08	345.70	203.74	262.03	268.39

Fuente: Elaboración propia.

P % ($X \geq 24\text{máx}$): Probabilidad de ocurrencia, P % ($X < 24\text{máx}$): Probabilidad de no ocurrencia y T_r : Período de retorno.

4.5 Análisis Hidrológico

4.5.1 Estación Hidrométrica en Estudio

La estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02), cuenta con registros desde el año 1980 hasta el año 2000, año en donde fue suspendida. Dicha estación pertenecía a la subcuenca del río Guaniquito y se ubicaba en la parte baja de la cuenca del río Tonosí, a una elevación de 50 msnm con un área de drenaje de 135 Km². Sus coordenadas eran las siguientes: latitud norte 7° 28' 00" y longitud oeste 80° 36' 00".

Esta estación de tipo limnimétrica se encontraba ubicada 2.165 kilómetros aguas arriba del punto donde la quebrada La Pintada confluye sus aguas al río Guaniquito. La estación estaba equipada con un juego de reglas que permitían leer los niveles de agua de 0 a 4 metros y el observador efectuaba dos lecturas diariamente del nivel de agua.

4.5.2 Homogeneización de Series Fluviométricas

4.5.2.1 Relleno de Datos Faltantes

El proceso de relleno de datos faltantes a nivel de caudales diarios en la estación Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02) con un área de drenaje de 135 km² utilizando el método de relación de superficies, se realizó tomando como estación de relleno o base La Villa, Macaracas (128 – 01 – 01) con un área de drenaje de 512 Km². En total se rellenaron 1089 días sin registro correspondientes a ocho años (1982, 1987, 1988, 1989, 1997, 1998, 1999 y 2000).

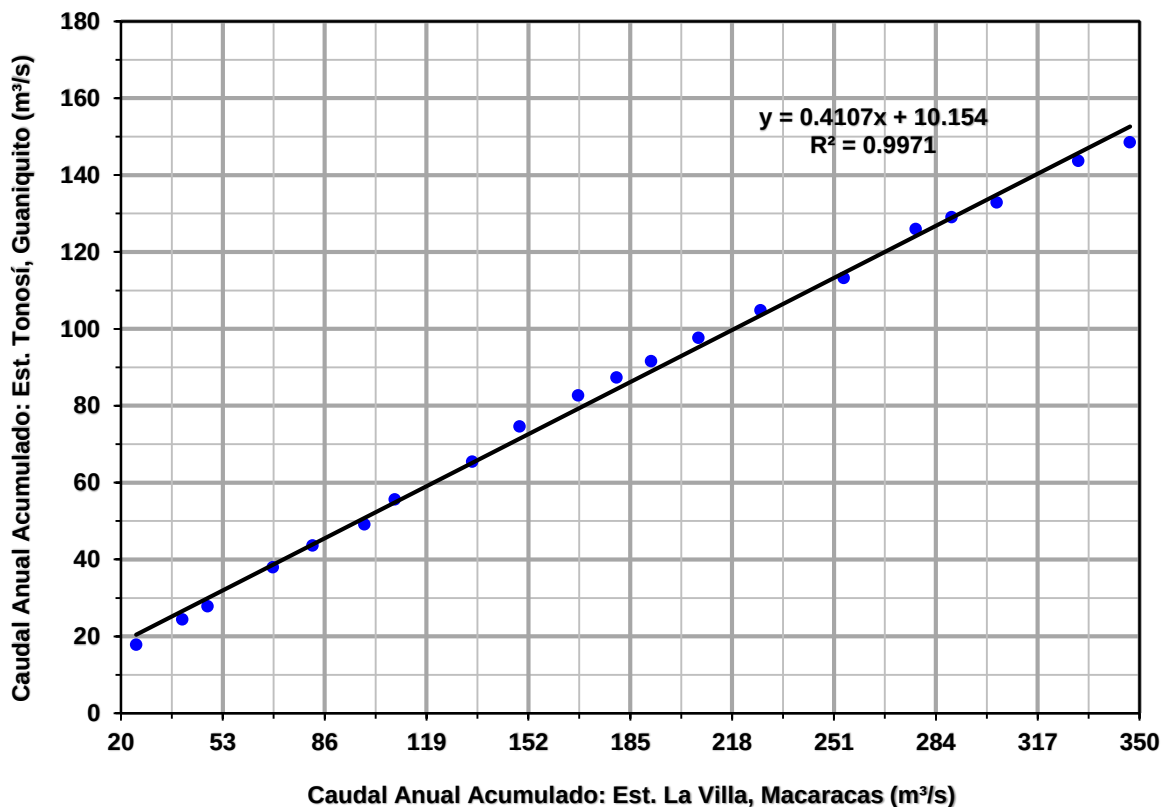
4.5.2.2 Análisis de Consistencia de los Registros

4.5.2.2.1 Curva Doble Acumulada (CDA)

Posteriormente al relleno de datos faltantes se continuó con el proceso de verificación de la consistencia de los registros fluviométricos utilizando el análisis de la curva doble acumulada o doble masa. La estación en estudio para este análisis fue Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02) y la estación base o patrón seleccionada fue La Villa, Macaracas (128 – 01 – 01), el período a analizar es de 20 años (1981 – 1990).

Aplicando el análisis doblemente acumulativo entre las estaciones hidrométricas ya antes mencionadas, se deduce que los datos originales y rellenados de la estación Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02) son consistentes para el período en estudio. Como se aprecia en la FIGURA 47 la estación en estudio presenta una línea de tendencia en la cual toda la nube de puntos se ajusta a dicha línea sin ningún cambio de pendiente significativo, resaltando la proporcionalidad de los datos entre estaciones.

FIGURA 47. ANÁLISIS DOBLEMENTE ACUMULATIVO ENTRE LOS CAUDALES PROMEDIO ANUALES DE LA ESTACIÓN LA VILLA, MACARACAS VERSUS TONOSÍ, GUANIKITO (PERÍODO 1981 – 2000).



Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Disponibilidad Hídrica

La disponibilidad hídrica en la cuenca del río Tonosí utilizando la estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02), se realizó promediando los caudales mensuales de cada año, obteniendo así, los caudales promedios mensuales multianuales para el período 1981 – 2000. Posteriormente, se convirtieron los caudales promedios mensuales en caudales específicos (l/s/Km²), lámina escurrida (mm), porcentaje de escurrimiento y en volúmenes (millones de metros cúbicos).

La estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito registro un caudal promedio anual de 7.43 m³/s, con un máximo mensual de 17.73 m³/s y un mínimo mensual de 1.51 m³/s. En referencia a los rendimientos hídricos o caudales específicos, el promedio anual es de 55.00 l/s/Km², con un máximo mensual de 131.31 l/s/Km² y un mínimo mensual de 11.19 l/s/Km². La lámina escurrida total anual es de 1740.94 mm, con un máximo mensual de 351.71 mm y un mínimo mensual de 29.97 mm. El porcentaje de escurrimiento, el máximo mensual es de 20.20 % y el mínimo mensual es de 1.72 %. Por último, la esorrentía en términos volumétricos anualmente es de 234.98 MMC, con un máximo mensual de 47.48 MMC y un mínimo mensual es de 4.05 MMC. Todos los máximos y mínimos mensuales están referidos al mes de octubre y al mes de marzo.

CUADRO XLV. INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA BÁSICA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIQUITO.

Meses	Caudal (m ³ /s)	Rendimiento Hídrico (l/s/Km ²)	Lámina Escurrida (mm)	% de Escurrimiento	Volumen (MMC)
ENE.	3.79	28.10	75.28	4.32	10.16
FEB.	2.25	16.64	40.61	2.33	5.43
MAR.	1.51	11.19	29.97	1.72	4.05
ABR.	1.73	12.84	33.27	1.91	4.49
MAY.	3.88	28.74	76.98	4.42	10.39
JUN.	7.36	54.52	141.32	8.12	19.08
JUL.	7.60	56.31	150.81	8.66	20.36
AGO.	8.55	63.35	169.68	9.75	22.91
SET.	13.38	99.13	256.95	14.76	34.69
OCT.	17.73	131.31	351.71	20.20	47.48
NOV.	13.29	98.48	255.26	14.66	34.46
DIC.	8.02	59.40	159.09	9.14	21.48
Promedio	7.43	55.00	145.08	8.33	19.58
Total	-	-	1740.94	100.00	234.98

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4 Estimación de los Caudales Promedios y Caudales Específicos

La estimación de los caudales promedios a nivel mensual y anual utilizando el método de relación de superficie incorporando la precipitación promedio anual se realizó inicialmente tomando como datos bases los caudales promedios mensuales multianuales de la estación Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02) para el período 1981 – 2000. Posteriormente, se calculó el área de drenaje y se estimó la precipitación promedio anual para la estación hidrométrica en estudio, subcuencas y microcuencas, las cuales conforman a la cuenca del río Tonosí. Finalmente, luego de la obtención de los caudales promedios se calcularon los caudales específicos a nivel mensual y anual.

El caudal específico promedio anual para la estación hidrométrica en estudio es de 55.00 l/s/km² con un caudal promedio anual de 7.43 m³/s. La subcuenca del río Güera presentó un caudal específico promedio anual de 52.50 l/s/km² con un caudal promedio anual de 17.77 m³/s y la subcuenca del río Guaniquito presentó un caudal específico promedio anual de 57.50 l/s/km² con un caudal promedio anual de 11.11 m³/s. En el CUADRO XLVI y ANEXO XXVII se presenta el caudal específico y el caudal promedio anual para cada área de aporte. Es importante hacer la salvedad de que la precipitación promedio anual estimada para la estación hidrométrica en estudio, subcuencas y microcuencas, son solamente una referencia y no deben considerarse como un dato exacto.

CUADRO XLVI. ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES PROMEDIOS Y CAUDALES ESPECÍFICOS EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

Meses	Estación Hidrométrica*		Unidades Hidrográficas Secundarias						Unidades Hidrográficas Terciarias							
			Río Güera		Río Guaniquito		Río Quema		Río Güerita		Río Tolú		Río Güera Occ.		Río Marroquín	
	Área (Km²): 135		Área (Km²): 338.47		Área (Km²): 193.29		Área (Km²): 84.87		Área (Km²): 40.79		Área (Km²): 45.68		Área (Km²): 46.93		Área (Km²): 40.74	
	Ppt (mm): 2200		Ppt (mm): 2100		Ppt (mm): 2300		Ppt (mm): 1900		Ppt (mm): 1900		Ppt (mm): 2000		Ppt (mm): 2100		Ppt (mm): 2100	
	m³/s	l/s/Km²	m³/s	l/s/Km²	m³/s	l/s/Km²	m³/s	l/s/Km²	m³/s	l/s/Km²	m³/s	l/s/Km²	m³/s	l/s/Km²	m³/s	l/s/Km²
ENE.	3.79	28.10	9.08	26.83	5.68	29.38	2.06	24.27	0.99	24.27	1.17	25.55	1.26	26.83	1.09	26.83
FEB.	2.25	16.64	5.37	15.88	3.36	17.39	1.22	14.37	0.59	14.37	0.69	15.12	0.75	15.88	0.65	15.88
MAR.	1.51	11.19	3.62	10.68	2.26	11.70	0.82	9.67	0.39	9.67	0.46	10.17	0.50	10.68	0.44	10.68
ABR.	1.73	12.84	4.15	12.25	2.59	13.42	0.94	11.09	0.45	11.09	0.53	11.67	0.57	12.25	0.50	12.25
MAY.	3.88	28.74	9.29	27.44	5.81	30.05	2.11	24.82	1.01	24.82	1.19	26.13	1.29	27.44	1.12	27.44
JUN.	7.36	54.52	17.62	52.04	11.02	57.00	4.00	47.09	1.92	47.09	2.26	49.56	2.44	52.04	2.12	52.04
JUL.	7.60	56.31	18.19	53.75	11.38	58.86	4.13	48.63	1.98	48.63	2.34	51.19	2.52	53.75	2.19	53.75
AGO.	8.55	63.35	20.47	60.47	12.80	66.23	4.64	54.71	2.23	54.71	2.63	57.59	2.84	60.47	2.46	60.47
SET.	13.38	99.13	32.03	94.63	20.03	103.64	7.27	85.62	3.49	85.62	4.12	90.12	4.44	94.63	3.85	94.63
OCT.	17.73	131.31	42.43	125.35	26.54	137.28	9.63	113.41	4.63	113.41	5.45	119.38	5.88	125.35	5.11	125.35
NOV.	13.29	98.48	31.82	94.00	19.90	102.96	7.22	85.05	3.47	85.05	4.09	89.53	4.41	94.00	3.83	94.00
DIC.	8.02	59.40	19.19	56.70	12.00	62.10	4.35	51.30	2.09	51.30	2.47	54.00	2.66	56.70	2.31	56.70
Promedio Anual	7.43	-	17.77	-	11.11	-	4.03	-	1.94	-	2.28	-	2.46	-	2.14	-
	-	55.00	-	52.50	-	57.50	-	47.50	-	47.50	-	50.00	-	52.50	-	52.50

Fuente: Elaboración propia.

* Tonosí, Guaniquito.

4.5.5 Curvas de Variación Estacional

La elaboración de las curvas de variación estacional utilizando las puntuaciones estandarizadas o tipificadas de la curva de probabilidad normal se realizó procesando y a la vez convirtiendo en logaritmo de base de 10 los registros de los caudales promedios mensuales del período 1981 – 2000 de la estación Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02). Posteriormente, se calculó la estadística básica para dicho período, dándole mayor importancia a la media aritmética y a la desviación estándar, ya que intervienen en el cálculo de la probabilidad de ocurrencia.

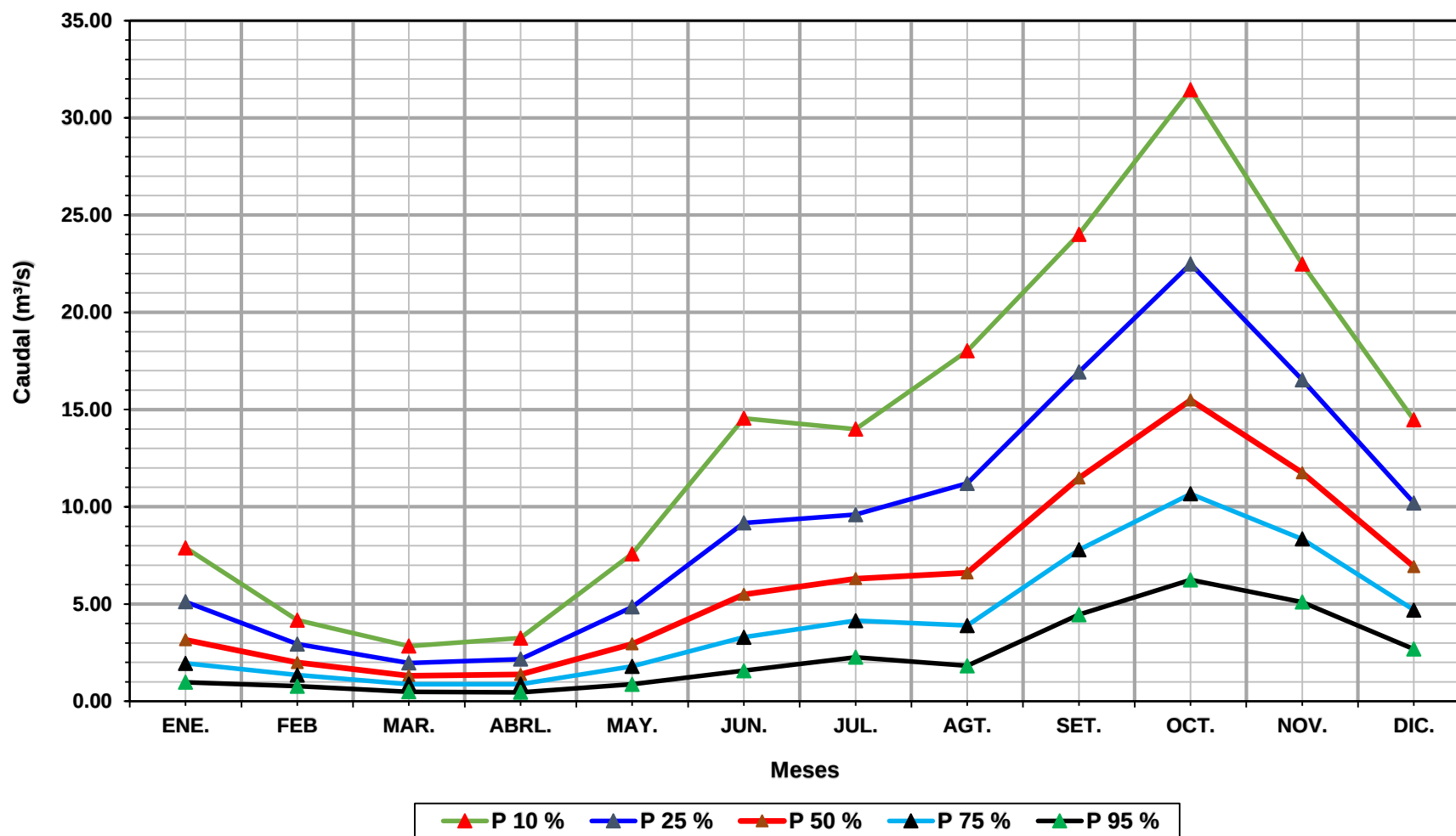
Es importante hacer la mención que, de todas las probabilidades de ocurrencia presentadas en el CUADRO XLVII, la de mayor importancia es la probabilidad de ocurrencia al 90 % o mejor conocida como “*caudal seguro*”. A continuación, se presentan los resultados:

CUADRO XLVII. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LOS CAUDALES MENSUALES. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.

% de Tiempo	ENE.	FEB	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
5	10.23	5.14	3.53	4.14	9.92	19.18	17.54	23.95	29.59	38.44	27.03	17.83
10	7.89	4.17	2.84	3.25	7.59	14.55	14.00	18.02	24.01	31.45	22.49	14.47
25	5.12	2.94	1.97	2.17	4.85	9.17	9.60	11.20	16.93	22.48	16.53	10.20
50	3.16	2.00	1.32	1.38	2.95	5.50	6.31	6.61	11.48	15.49	11.75	6.92
75	1.95	1.35	0.88	0.88	1.80	3.29	4.15	3.90	7.79	10.67	8.35	4.69
80	1.73	1.23	0.80	0.79	1.59	2.90	3.74	3.42	7.07	9.73	7.67	4.26
85	1.51	1.10	0.71	0.69	1.38	2.50	3.31	2.94	6.32	8.73	6.95	3.81
90	1.27	0.95	0.61	0.59	1.15	2.08	2.84	2.42	5.49	7.63	6.14	3.31
95	0.98	0.77	0.49	0.46	0.88	1.57	2.27	1.82	4.45	6.24	5.11	2.68

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 48. CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL MENSUAL. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.6 Curvas de Duración de Caudales

La elaboración de las curvas de duración de caudales utilizando los registros de los caudales diarios y mensuales del período 1981 – 2000 de la estación Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02) se realizó procesando 7305 datos de caudales diarios y 240 datos de caudales mensuales. Posteriormente, se asignó el número de orden de cada valor y se calculó el % de tiempo en que el caudal es igualado o excedido, utilizando la fórmula de probabilidad empírica de Weibull.

Analizando el CUADRO XLVIII y la FIGURA 49, se deduce que los caudales promedio diarios asegurados de la estación hidrométrica en estudio son los siguientes: máximo absoluto ($244.00 \text{ m}^3/\text{s}$), 5 % máximo característico ($24.34 \text{ m}^3/\text{s}$), 20 % ($11.00 \text{ m}^3/\text{s}$), 50 % semipermanente ($4.06 \text{ m}^3/\text{s}$), 80 % ($1.65 \text{ m}^3/\text{s}$), 95 % mínimo característico ($0.79 \text{ m}^3/\text{s}$) y mínimo absoluto ($0.19 \text{ m}^3/\text{s}$).

Adicionalmente, se generaron los valores de la curva de duración de caudales adimensionales (Q/Q_p), para ser utilizados en otras cuencas sin datos suficientes, como es el caso de las subcuenca y microcuencas que conforman a la cuenca del río Tonosí, pero con la única condición de que por lo menos dispongan del caudal promedio anual. Esta curva se generó al dividir los datos de los caudales diarios (cada uno) entre el caudal promedio anual de la estación hidrométrica en estudio, el cual es $7.43 \text{ m}^3/\text{s}$.

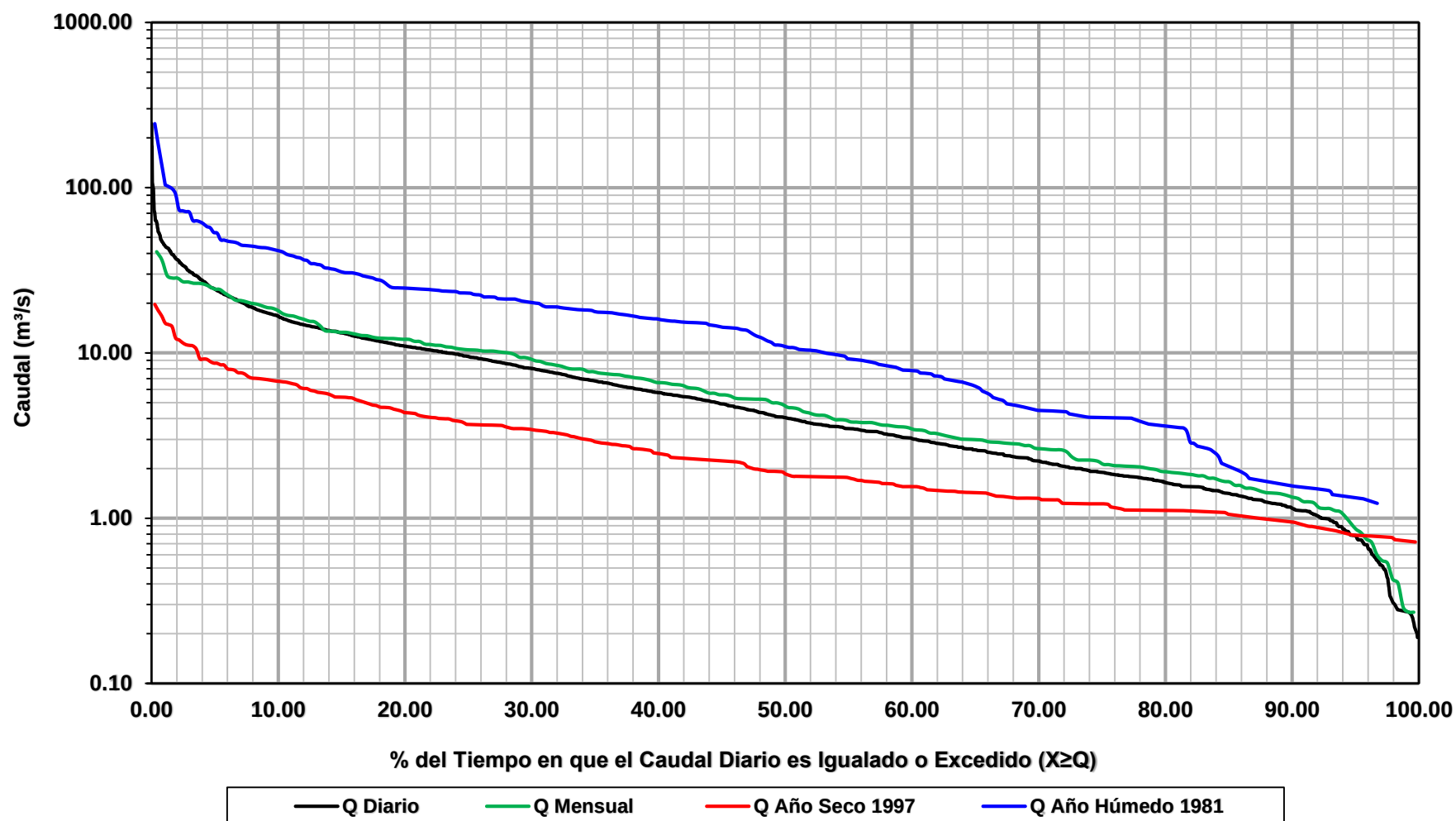
CUADRO XLVIII. CARACTERÍSTICAS DE LOS CAUDALES PROMEDIOS DIARIOS EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

% de Tiempo ($X \geq Q$)	Estación Hidrom.*	Curva Adime.	Unidades Hidrográficas Secundarias		Unidades Hidrográficas Terciarias				
			Río Güera	Río Guaniquito	Río Quema	Río Güerita	Río Tolú	Río Güera Occ.	Río Marroquín
			Q.Prom (m³/s): 17.77	Q.Prom (m³/s): 11.11	Q.Prom (m³/s): 4.03	Q.Prom (m³/s): 1.94	Q.Prom (m³/s): 2.28	Q.Prom (m³/s): 2.46	Q.Prom (m³/s): 2.14
Máximo Absoluto (0.014)	244.00	32.840	583.57	364.99	132.40	63.63	75.00	80.91	70.24
5	24.34	3.276	58.21	36.41	13.21	6.35	7.48	8.07	7.01
10	16.70	2.248	39.94	24.98	9.06	4.35	5.13	5.54	4.81
15	13.22	1.779	31.62	19.78	7.17	3.45	4.06	4.38	3.81
20	11.00	1.480	26.31	16.45	5.97	2.87	3.38	3.65	3.17
25	9.52	1.281	22.77	14.24	5.17	2.48	2.93	3.16	2.74
30	8.07	1.086	19.30	12.07	4.38	2.10	2.48	2.68	2.32
35	6.77	0.911	16.19	10.13	3.67	1.77	2.08	2.25	1.95
40	5.75	0.774	13.75	8.60	3.12	1.50	1.77	1.91	1.66
45	4.92	0.662	11.77	7.36	2.67	1.28	1.51	1.63	1.42
50	4.06	0.547	9.71	6.07	2.20	1.06	1.25	1.35	1.17
55	3.49	0.470	8.35	5.22	1.89	0.91	1.07	1.16	1.00
60	3.03	0.408	7.25	4.54	1.65	0.79	0.93	1.01	0.87
65	2.59	0.349	6.19	3.87	1.41	0.68	0.80	0.86	0.75
70	2.22	0.299	5.31	3.32	1.20	0.58	0.68	0.74	0.64
75	1.90	0.256	4.54	2.84	1.03	0.50	0.58	0.63	0.55
80	1.65	0.222	3.94	2.47	0.89	0.43	0.51	0.55	0.47
85	1.41	0.190	3.37	2.11	0.77	0.37	0.43	0.47	0.41
90	1.15	0.155	2.75	1.72	0.62	0.30	0.35	0.38	0.33
95	0.79	0.106	1.88	1.18	0.43	0.20	0.24	0.26	0.23
Mínimo Absoluto (99.90)	0.19	0.026	0.45	0.28	0.10	0.05	0.06	0.06	0.05

Fuente: Elaboración propia.

* Tonosí, Guaniquito.

FIGURA 49. CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES DIARIOS Y MENSUALES (INTERVALOS DE LOGARITMO DE BASE 10). ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.7 Análisis Cronológico

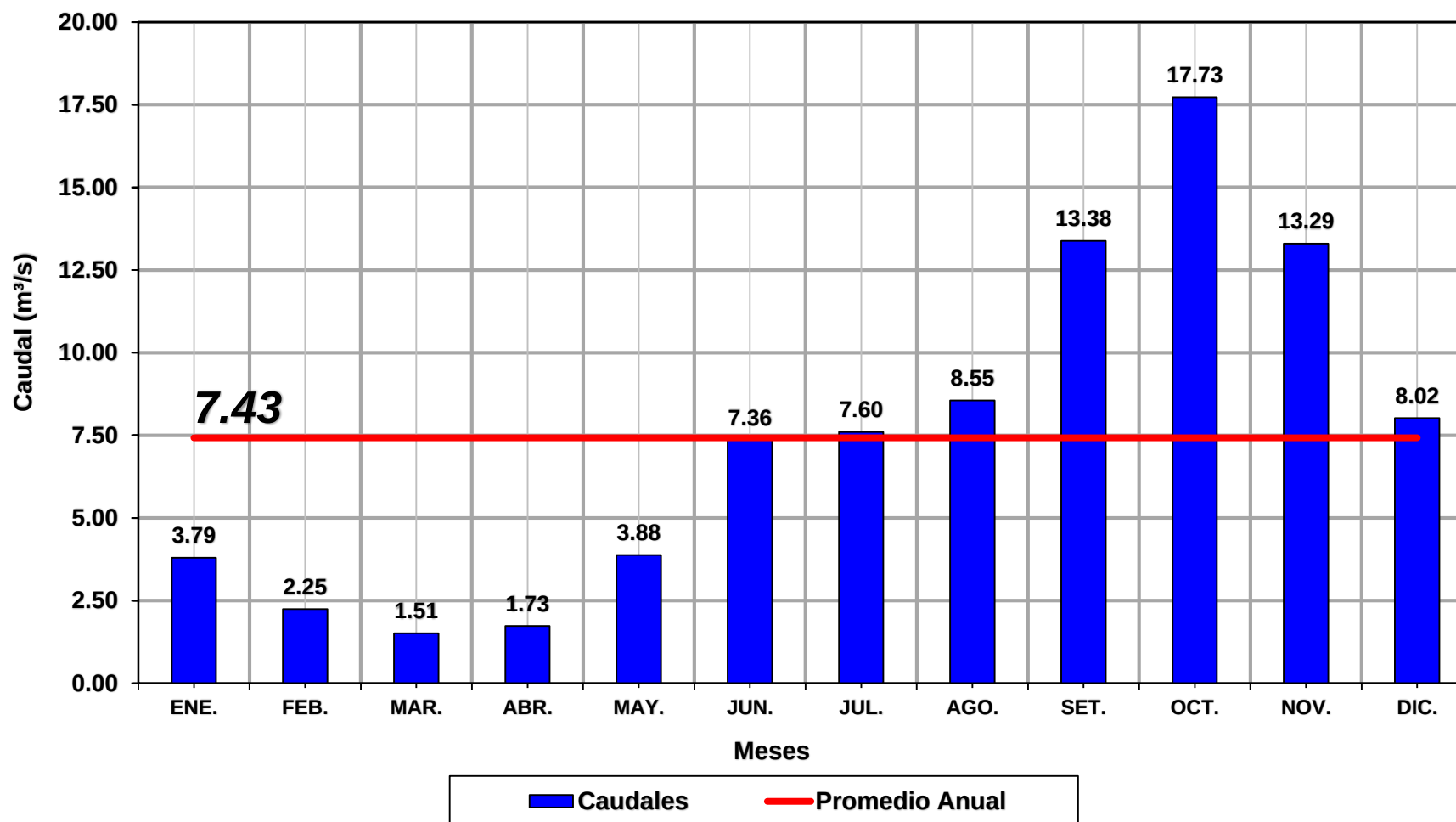
4.5.7.1 Régimen Hidrológico

La descripción de forma general del régimen o comportamiento hidrológico mensual a lo largo de un año en la cuenca del río Tonosí utilizando la estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02), se realizó promediando los caudales mensuales de cada año para cada mes, obteniendo así, los caudales promedios mensuales multianuales para el período 1981 – 2000.

Según la FIGURA 50 se distinguen dos períodos bien marcados; el primero de ellos considerado como la época de estiaje o de aguas bajas el cual coincide en cierto modo con la época donde se registran los menores aportes pluviométricos; inician en el mes de enero y culmina en el mes de mayo, señalando al mes de marzo como el de menor caudal registrado a lo largo del año con $1.51 \text{ m}^3/\text{s}$, que equivale a un porcentaje del escurrimiento anual de 1.72 %. Además, este período representa el 14.71 % del escurrimiento anual.

El segundo período considerado como la época de aguas altas o de excedencia de caudales el cual coincide en cierto modo con la época donde se registra los mayores aportes pluviométricos; inicia en el mes de junio y culmina en el mes de diciembre, señalando al mes de octubre como el de mayor caudal registrado a lo largo del año con $17.73 \text{ m}^3/\text{s}$, que equivale a un porcentaje del escurrimiento anual de 20.20 %. Además, este período representa el 85.29 % del escurrimiento anual.

FIGURA 50. DISTRIBUCIÓN DE LOS CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES A LO LARGO DE UN AÑO. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKITO.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.7.2 Desvíos (Años Normales, Húmedos y Secos)

La determinación de los años normales, húmedos y secos de la serie hidrológica en la cuenca del río Tonosí utilizando los desvíos se realizó inicialmente procesando los registros de los caudales promedios anuales del período 1981 – 2000 de la estación Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02).

Posteriormente, se procedió a calcular el caudal promedio anual del período 1981 – 2000 para la estación. Seguidamente, se continuó con la clasificación de los años normales, húmedos y secos, estableciendo como límite o rango la desviación estándar ($\pm$) obtenida a partir de los caudales promedios anuales para el período considerado. Los años que presentaron desvíos dentro de los rangos de desviación estándar ($\pm$) fueron clasificados como normales, de igual manera, los años que presentaron desvíos superiores a la desviación estándar positiva fueron clasificados como húmedos y los años que presentaron desvíos inferiores a la desviación estándar negativa fueron clasificados como secos.

La estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito presentó un caudal promedio anual de 7.43 m³/s y una desviación estándar de ± 3.61 m³/s (ver FIGURA 51). Tomando en consideración la desviación estándar y los desvíos respecto al promedio anual de la serie, se clasificaron 16 años como normales, dos años clasificados como húmedos y dos años clasificados como secos (ver CUADRO XLIX y L).

Complementando lo dicho anteriormente, la máxima desviación positiva por parte de un año respecto al caudal promedio anual de la serie corresponde al año 1981 con un caudal promedio anual de 17.81 m³/s y un desvío de +10.38 m³/s

(+139.82 %). El máximo desvío negativo corresponde al año 1997 con un caudal promedio anual de 3.06 m³/s y un desvío de -4.37 m³/s (-58.84 %).

Analizando la distribución de los años normales, húmedos y secos, a lo largo de la serie de datos de la estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito, se deduce que existe un equilibrio entre los años húmedos y secos, y que existe una alta prevalencia de los años normales (16 años), poniendo en manifiesto que la serie hidrológica para el período 1981 – 2000 presentó mucha regularidad, en otras palabras, no se identificó ninguna tendencia decreciente o creciente de los caudales promedios anuales en la estación hidrométrica.

**CUADRO XLIX. RESUMEN DE AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS.
ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.**

Clasificación	Años
Normal	1982
	1984
	1985
	1986
	1987
	1988
	1989
	1990
	1991
	1992
	1993
	1994
	1995
	1998
	1999
	2000
<i>Subtotal</i>	16 (80.00 %)
Húmedo	1981
	1996
<i>Subtotal</i>	2 (10.00 %)
Seco	1983
	1997
<i>Subtotal</i>	2 (10.00 %)
Total General	20 (100.00 %)

Fuente: Elaboración propia.

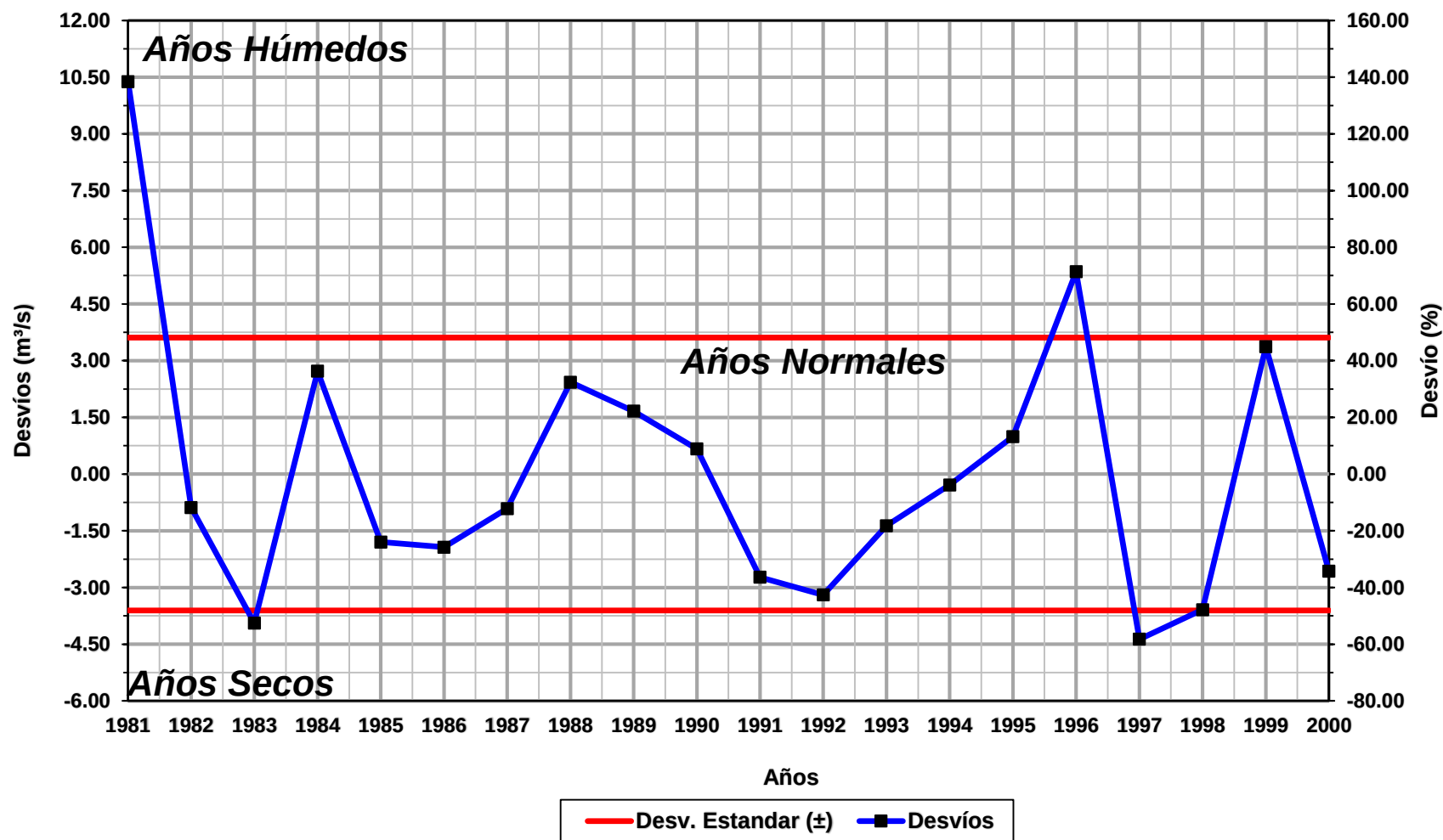
CUADRO L. DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO AL CAUDAL PROMEDIO ANUAL, ESTACIÓN HIDROMÉTRICA TONOSÍ, GUANIKUITO.

Año	Caudal Promedio (m ³ /s)	Promedio Anual (m ³ /s)	Desvíos		
			m ³ /s	%	Clasificación
1981	17.81	7.43	10.38	139.82	Húmedo
1982	6.54	7.43	-0.88	-11.90	Normal
1983	3.48	7.43	-3.94	-53.07	Seco
1984	10.15	7.43	2.72	36.65	Normal
1985	5.63	7.43	-1.80	-24.22	Normal
1986	5.49	7.43	-1.93	-26.05	Normal
1987	6.51	7.43	-0.91	-12.31	Normal
1988	9.86	7.43	2.43	32.74	Normal
1989	9.09	7.43	1.66	22.40	Normal
1990	8.09	7.43	0.67	8.98	Normal
1991	4.70	7.43	-2.73	-36.74	Normal
1992	4.23	7.43	-3.20	-43.04	Normal
1993	6.06	7.43	-1.36	-18.38	Normal
1994	7.14	7.43	-0.29	-3.86	Normal
1995	8.42	7.43	0.99	13.35	Normal
1996	12.78	7.43	5.35	72.07	Húmedo
1997	3.06	7.43	-4.37	-58.84	Seco
1998	3.84	7.43	-3.59	-48.34	Normal
1999	10.80	7.43	3.37	45.35	Normal
2000	4.86	7.43	-2.57	-34.61	Normal

Fuente: Elaboración propia.

Estadística Básica: Promedio: 7.43 m³/s, Desviación Estándar: ± 3.61 m³/s, Coeficiente de Variación: 0.4862, Coeficiente de Asimetría: 1.33 y Coeficiente de Curtosis: 5.54.

FIGURA 51. DESVÍOS (AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO AL CAUDAL PROMEDIO ANUAL. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.7.3 Promedios Móviles

La determinación de los períodos con tendencia normal, húmedo y seco de la serie hidrológica en la cuenca del río Tonosí utilizando los promedios móviles se realizó inicialmente procesando los registros de los caudales promedios anuales del período 1981 – 2000 de la estación Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02).

Posteriormente, se procedió a calcular el caudal promedio anual del período 1981 – 2000 de la estación hidrométrica y se continuó con la clasificación de los promedios móviles (normales, abundantes y escasos), estableciendo como límite o rango la desviación estándar ($\pm$) obtenida a partir de los promedios móviles calculados. Los promedios móviles que presentaron desvíos dentro de los rangos de desviación estándar ($\pm$) fueron clasificados como normales, de igual forma, los promedios móviles que presentaron desvíos superiores a la desviación estándar positiva fueron clasificados como húmedos y los promedios móviles que presentaron desvíos inferiores a la desviación estándar negativa fueron clasificados como secos.

La estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito presentó un caudal promedio anual de $7.43 \text{ m}^3/\text{s}$ y una desviación estándar de $\pm 0.81 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver FIGURA 52). Tomando en consideración la desviación estándar y los desvíos respecto al caudal promedio anual de la serie, se clasificaron 10 promedios móviles como normales, un promedio móvil clasificado como húmedo y cinco promedios móviles clasificados como secos (ver CUADRO LI y LII).

La máxima desviación positiva por parte de un promedio móvil respecto al caudal promedio anual corresponde al período 1981 – 1985 con un caudal promedio de $8.72 \text{ m}^3/\text{s}$ y un desvío de $+1.30 \text{ m}^3/\text{s}$ (+17.45 %). El máximo desvío negativo corresponde al período 1990 – 1994 con un caudal promedio de $6.04 \text{ m}^3/\text{s}$ y un desvío de $-1.38 \text{ m}^3/\text{s}$ (-18.61 %).

Desde otro punto de vista, los promedios móviles (ver FIGURA 53) analizándolos como períodos principalmente de tendencia húmeda y seca reflejaron que para la estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito existieron tres períodos importantes. El primero de ellos catalogado como de tendencia creciente (húmedo) presentó una duración de cinco años durante el período 1981 – 1985, poniendo en manifiesto la alta influencia del año 1981, el cual provocó que dicho promedio móvil presentara desviación positiva. El segundo período catalogado como de tendencia decreciente (seca), presentó una duración de seis años durante el período 1982 – 1987, poniendo en manifiesto la alta influencia del año 1983 y de los años 1985, 1986 y 1987 por presentar desviaciones negativas significativas. El tercer y último período catalogado como de tendencia decreciente (seca), presentó una duración de siete años durante el período 1989 – 1995, poniendo en manifiesto la alta influencia de los años 1991, 1992 y 1993 por presentar desviaciones negativas significativas

Por otra parte, la tendencia secular expresada a través de la pendiente de la recta de regresión demuestra una tendencia negativa (-0.1416), lo que significa que el

caudal promedio anual a lo largo de los 20 años ha disminuido 0.1416 m³/s por año en esta estación hidrométrica.

CUADRO LI. RESUMEN DE AÑOS NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.

Clasificación	Períodos (5 Años)
Normal	1984-1988
	1985-1989
	1986-1990
	1987-1991
	1988-1992
	1992-1996
	1993-1997
	1994-1998
	1995-1999
	1996-2000
Subtotal	10 (62.50 %)
Húmedo	1981-1985
	Subtotal 1 (6.25 %)
Seco	1982-1986
	1983-1987
	1989-1993
	1990-1994
	1991-1995
Subtotal	5 (31.25 %)
Total General	16 (100.00 %)

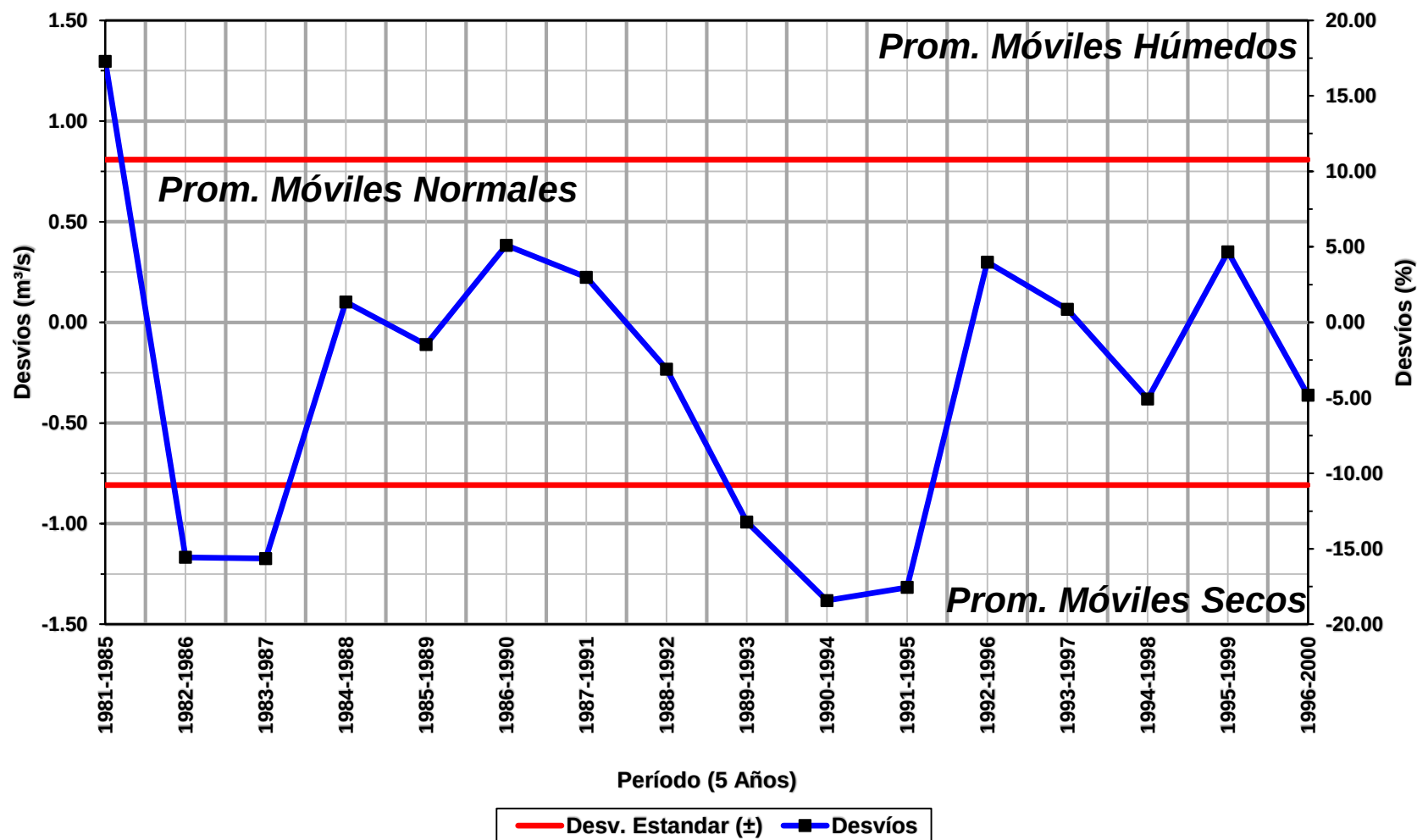
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO LII. DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO AL CAUDAL PROMEDIO ANUAL. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.

Año	Períodos (5 Años)	Promedio móviles (m³/s)	Promedio Anual (m³/s)	Desvíos		
				m³/s	%	Clasificación
1981	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-
1983	1981-1985	8.72	7.43	1.30	17.46	Húmedo
1984	1982-1986	6.26	7.43	-1.17	-15.72	Seco
1985	1983-1987	6.25	7.43	-1.17	-15.80	Seco
1986	1984-1988	7.53	7.43	0.10	1.36	Normal
1987	1985-1989	7.31	7.43	-0.11	-1.49	Normal
1988	1986-1990	7.81	7.43	0.38	5.15	Normal
1989	1987-1991	7.65	7.43	0.22	3.01	Normal
1990	1988-1992	7.19	7.43	-0.23	-3.13	Normal
1991	1989-1993	6.43	7.43	-0.99	-13.36	Seco
1992	1990-1994	6.04	7.43	-1.38	-18.61	Seco
1993	1991-1995	6.11	7.43	-1.32	-17.73	Seco
1994	1992-1996	7.72	7.43	0.30	4.03	Normal
1995	1993-1997	7.49	7.43	0.06	0.87	Normal
1996	1994-1998	7.04	7.43	-0.38	-5.12	Normal
1997	1995-1999	7.78	7.43	0.35	4.72	Normal
1998	1996-2000	7.06	7.43	-0.36	-4.87	Normal
1999	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-

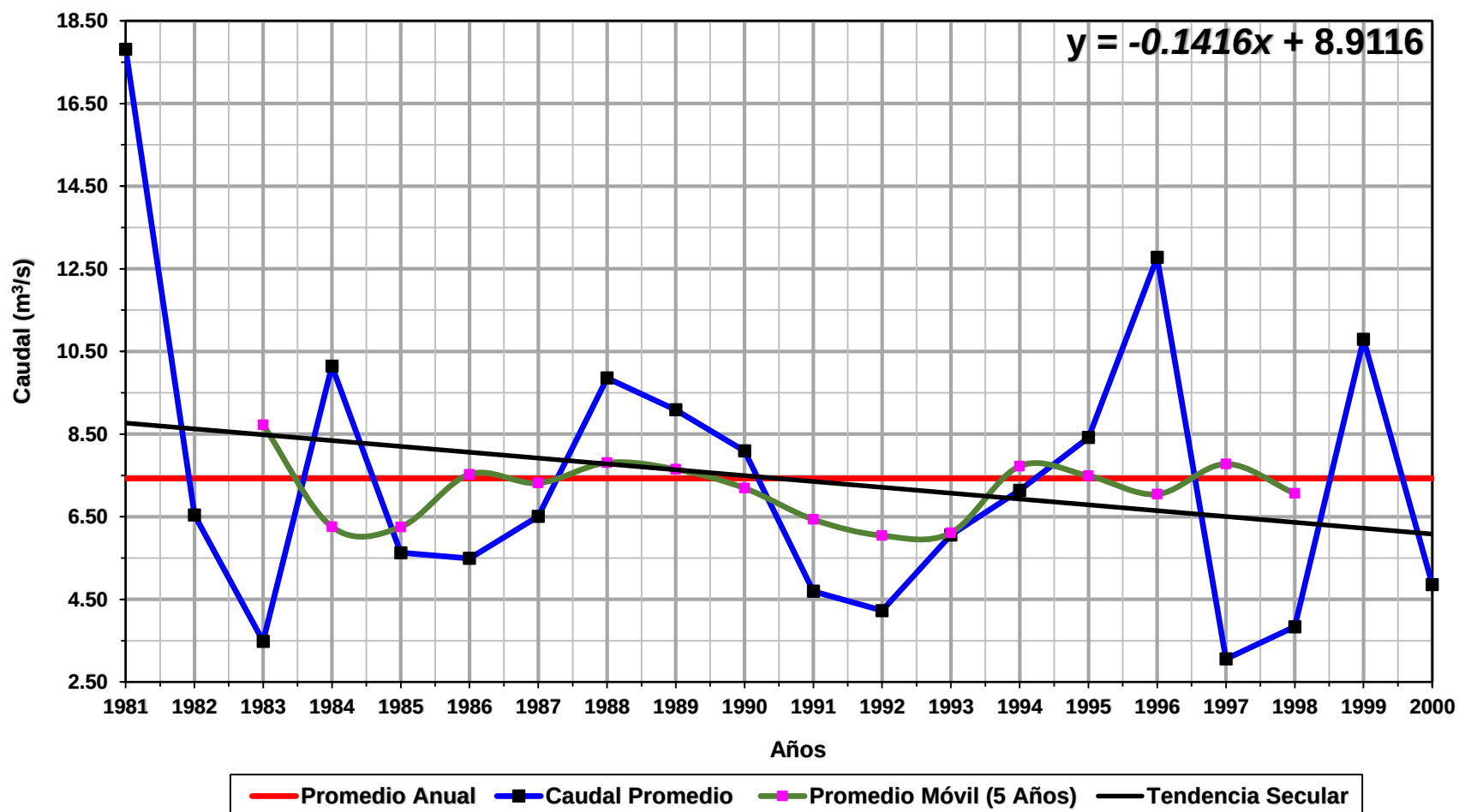
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 52. DESVÍOS (PROMEDIOS MÓVILES NORMALES, HÚMEDOS Y SECOS) RESPECTO AL CAUDAL PROMEDIO ANUAL. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 53. COMPARACIÓN ENTRE LOS CAUDALES PROMEDIOS ANUALES, PROMEDIO ANUAL Y PROMEDIOS MÓVILES DE LA ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKITO.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.8 Desequilibrio Hidrológico

La determinación de la existencia de algún desequilibrio en el comportamiento hidrológico a nivel decadal en la cuenca del río Tonosí utilizando la estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02), se realizó a partir de los registros de los caudales promedios mensuales y de los caudales máximos observados mensuales, correspondientes al período 1981 – 2000. Posteriormente, se determinó para las dos décadas en análisis (1981 – 1990 y 1991 – 2000) las siguientes variables: (1) el mes con el mayor o máximo caudal promedio registrado, (2) el mes con el mínimo o el menor caudal promedio registrado, (3) el caudal promedio anual y (4) el mes con el mayor caudal máximo observado.

Analizando el CUADRO LIII se aprecia claramente que en las cuatro variables analizadas para la década 1991 – 2000 se presentó una disminución general en comparación a la década 1981 – 1990, poniendo en evidencia la existencia de algún desequilibrio en el comportamiento hidrológico mediante estos valores puntuales.

La disminución o aumento de la escorrentía se puede atribuir a uno o varios factores los cuales pueden estar interrelacionados entre sí. Algunos de ellos pueden ser el cambio del uso de la tierra, disminución de la cobertura vegetal, disminución de la capacidad de infiltración del suelo, aumento en la evapotranspiración, uso del agua para fines agropecuario o domésticos, distribución espacial de la lluvia, pocos aportes pluviométricos y otros. Un

comportamiento anómalo de alguno de estos factores o la acción antropogénica, influye notablemente en la producción de agua en la cuenca.

Para el área de drenaje estudiada tal disminución en la esorrentía la podemos atribuir a un factor que influyó notablemente en la producción de agua para esta década, nos referimos al poco aporte pluviométrico generado.

La precipitación para la década (1991 – 2000) tomando como referencia la estación pluviométrica El Cortezo (124 – 005) ubicada dentro del área de drenaje de la estación hidrométrica en estudio, presentó años en donde los totales anuales eran muy bajos considerándolos incluso como año seco, alguno de ellos son el año 1997 y 2000, por tal motivo, tales años afectaron la producción de agua en tal área de drenaje causando un desequilibrio en el comportamiento hidrológico.

CUADRO LIII. DESEQUILIBRIO HIDROLÓGICO. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1981 – 2000).

Período		Máximo Promedio Mensual (m ³ /s)	Mínimo Promedio Mensual (m ³ /s)	Promedio Anual (m ³ /s)	Máximo Observado (m ³ /s)
1981 - 1990		40.98	0.40	8.26	426*
1991 - 2000		29.38	0.27	6.59	103**
Diferencia	m ³ /s	-11.60	-0.13	-1.67	-323.00
	%	-28.31	-32.50	-20.22	-75.82

Fuente: Elaboración propia.

* agosto de 1981.

** septiembre de 1996.

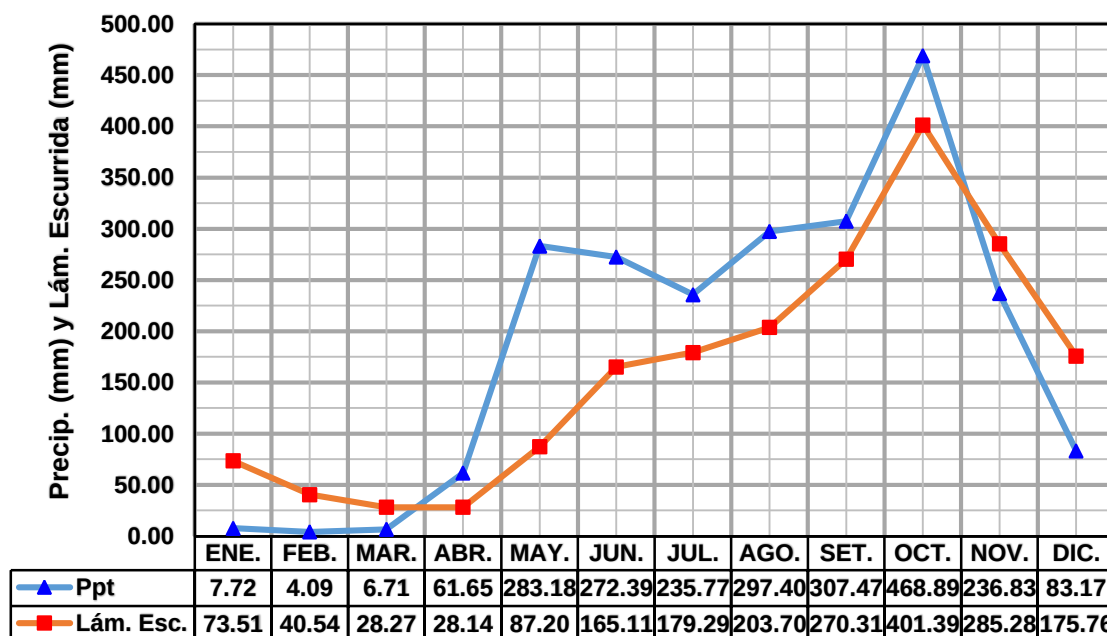
Ahora bien, continuando con la determinación de la existencia de algún desequilibrio en el comportamiento hidrológico, pero en este caso a nivel mensual – decadal incorporando las precipitaciones promedios mensuales multianuales (estación pluviométrica El Cortezo, 124 – 005) y los caudales promedios mensuales multianuales convertidos en lámina escurrida se llegó a las siguientes deducciones:

Según la FIGURA 54 para la década 1981 – 2000, la lámina de escorrentía presentó su punto más alto en el mes de octubre con 401.39 mm y su punto más bajo en el mes de abril con 28.14 mm. En total fueron cinco meses en los que la lámina de escurrida superó a la precipitación generada, estos fueron: noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. Los meses (7) en donde la lámina de escurrida no superó la precipitación generada fueron los siguientes: abril, mayo junio, julio, agosto, septiembre y octubre.

Ahora bien, analizando el período donde la precipitación presentó los menores aportes mensuales o mejor conocida como época seca (diciembre a abril) y la lámina escurrida generada para tal período, se resalta que para cuatro (diciembre, enero, febrero y marzo) de los cinco meses que conforman tal época la lámina escurrida fue superior a la precipitación, poniendo en evidencia que el área de drenaje estudiada presenta una buena capacidad de regular la cantidad de agua que acceden a los afluentes fluviales, esto quiere decir, que en la época lluviosa no toda la precipitación se convierte en escurrimiento superficial, una parte importante se infiltra y es almacenada en los diversos estratos del suelo. Para la época seca la cual coincide en cierto modo con el período de estiaje, dicha agua

almacenada se convierte en aportes subsuperficiales o subterráneos (flujo base), abasteciendo de agua los afluentes para estos meses críticos.

FIGURA 54. COMPARACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN VS LA ESCORRENTÍA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1981 – 1990).

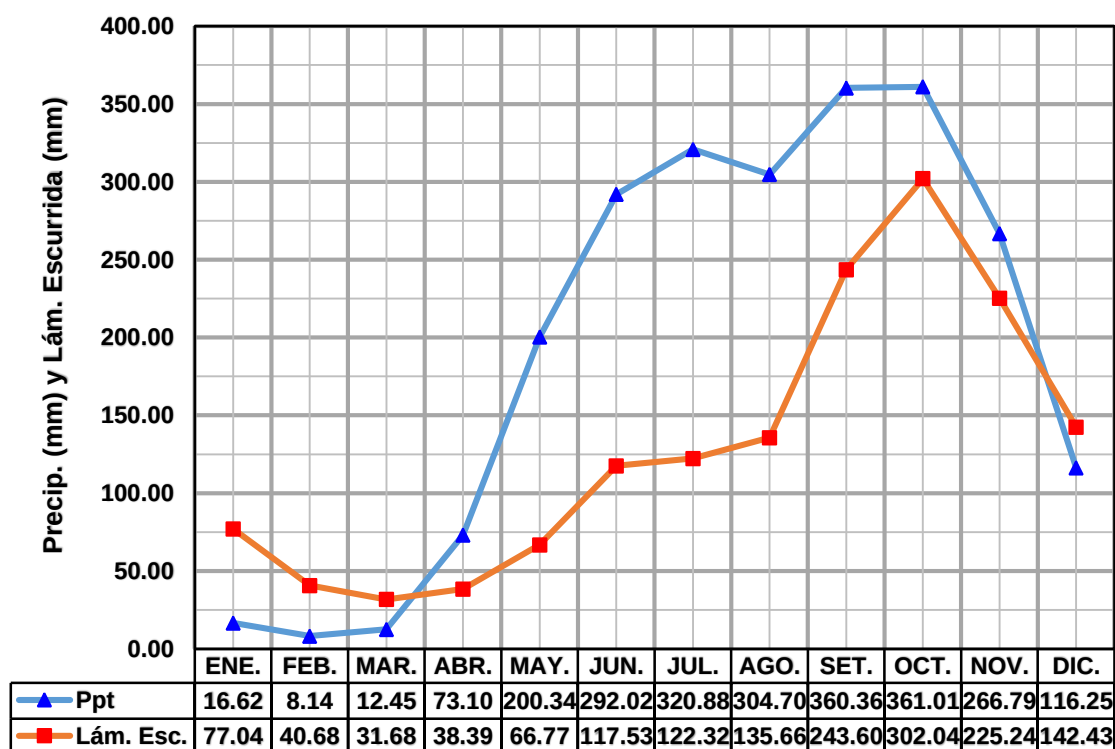


Fuente: Elaboración propia.

Según la FIGURA 55 para la década 1991 – 2000, la lámina de escorrentía presentó su punto más alto en el mes de octubre con 302.04 mm y su punto más bajo en el mes de marzo con 31.68 mm. En total fueron cuatro meses en los que la lámina escurrida supero a la precipitación generada, estos fueron: diciembre, enero, febrero y marzo. Los meses (8) en donde la lámina de escurrida no supero a la precipitación generada fueron los siguientes: abril, mayo junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre.

Ahora bien, para esta década analizada se presentó el mismo comportamiento que la década anterior; la lámina escurrida generada fue superior a la precipitación para cuatro (diciembre, enero, febrero y marzo) de los cinco meses que conforman la época seca. Adicionalmente los meses de aguas altas o caudales picos (junio a diciembre) y los meses de aguas bajas o época de estiaje (enero a mayo), siguen siendo los mismos para ambas décadas y las variaciones de la lámina escurrida mes a mes no difieren demasiado, por tal motivo, se sigue manteniendo la buena capacidad de regular la cantidad de agua que acceden a los afluentes fluviales.

FIGURA 55. COMPARACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN VS LA ESCORRENTÍA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1991 – 2000).



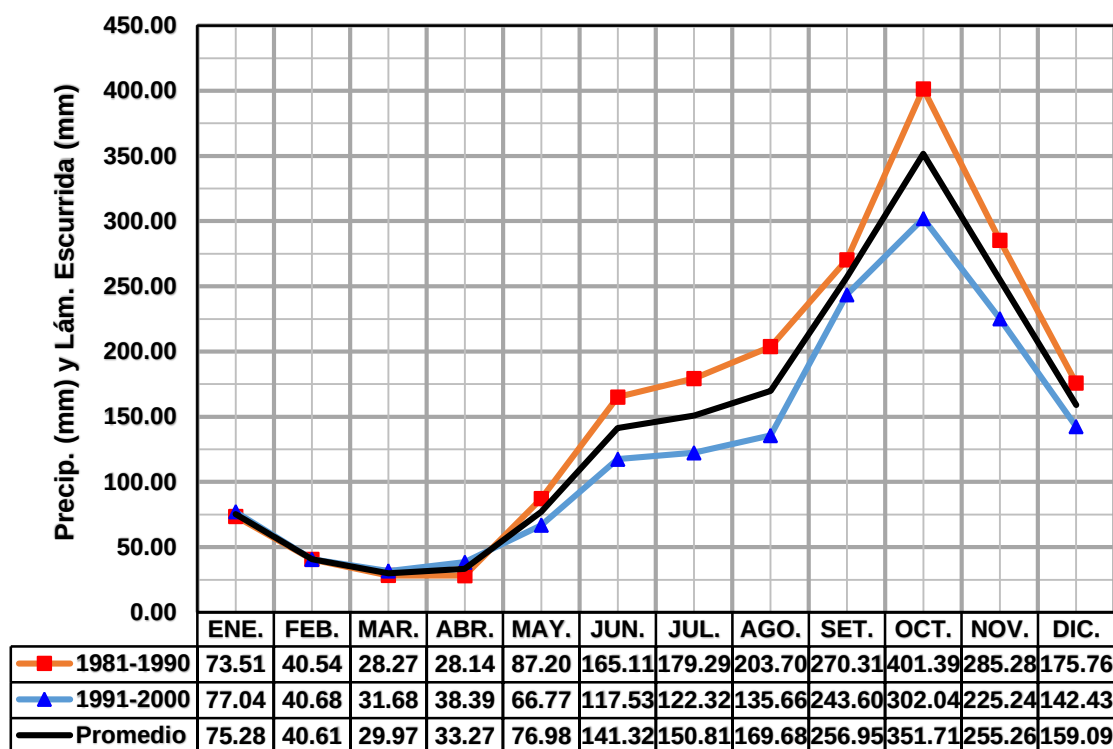
Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar, en la FIGURA 56 se presenta la comparación de la lámina escurrida entre el período 1981 – 1990 y 1991 – 2000. La lámina escurrida total para el período 1991 – 2000 disminuyó en un 20.38 % en comparación con la lámina escurrida total de la década 1981 – 1990.

Ahora bien, comparando ambos períodos a nivel mensual se puede mencionar que la lámina escurrida para el período 1991 – 2000 en referencia a los meses comprendidos desde mayo hasta diciembre disminuyó en un 23.33 %, resaltando al mes de mayo con una disminución del 23.43 %, junio con 28.82 %, julio con 31.78 %, agosto con 33.41 %, septiembre con 9.88 %, octubre con 24.75 %, noviembre con 21.05 % y diciembre con 18.96 %. Los meses comprendidos desde enero hasta abril, la lámina escurrida aumentó en un 10.17 %, resaltando al mes de enero con un aumento del 4.81 %, febrero con 0.35 %, marzo con 12.04 % y abril con 36.42 %.

Mencionado estos porcentajes tanto de disminución como de aumento para la lámina escurrida total anual y a lo largo de un año, es de notar de que existe un desequilibrio en el comportamiento hidrológico principalmente para los meses de aguas altas.

FIGURA 56. COMPARACIÓN ENTRE LÁMINAS ESCURRIDAS. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKITO (PERÍODOS 1981 - 1990 AL 1991 - 2000).



Fuente: Elaboración propia.

4.5.8.1 Coeficiente de Escorrentía

La determinación del coeficiente de escorrentía utilizando la relación entre la precipitación y el caudal convertido de m^3/s a mm (lámina escurrida) se realizó inicialmente procesando los registros de las precipitaciones promedio mensuales de la estación El Cortezo (124 - 005) y los registros de los caudales promedios mensuales de la estación Tonosí, Guaniquito (124 - 01 - 02), ambos para el período 1981 - 1990. Segundo, se separaron ambas variables en dos décadas de análisis estas son, 1981 - 1990 y 1991 - 2000. Tercero, se promedió tanto la

precipitación mensual como la lámina escurrida mensual de cada año obteniendo valores multianuales para ambas décadas y, por último, se determinó el coeficiente de escorrentía para cada año y década en análisis.

Analizando el CUADRO LIV correspondiente a la primera década en estudio 1981 – 1990 el coeficiente de escorrentía en todo el período fue de 85.58 %, con una lámina total escurrida de 1938.50 mm y una precipitación total anual de 2265.25 mm. Para el año 1981 se presentó el máximo coeficiente con un valor de 152.43 % y para el año 1983 se presentó el mínimo coeficiente con un valor de 39.12 %. Las máximas precipitaciones se registraron en los meses de septiembre y octubre, y las máximas láminas escurridas se presentaron en el mes de octubre y noviembre. En este período el comportamiento de la lámina escurrida y la precipitación se mantuvo regular año a año, lo cual indica la inexistencia de algún desequilibrio en el comportamiento hidrológico para tal área de drenaje (ver FIGURA 57).

Para la segunda década 1991 – 2000 (ver CUADRO LIV), el coeficiente de escorrentía en todo el período fue de 66.16 %, con una lámina total escurrida de 1543.37 mm y una precipitación total anual de 2332.65 mm. Para el año 1996 se presentó el máximo coeficiente con un valor de 159.25 % y para el año 1998 se presentó el mínimo coeficiente con un valor de 37.91 %. En este período el coeficiente de escorrentía disminuyó en un 19.41 % y la precipitación aumentó en un 2.98 % en comparación con la década anterior. Adicionalmente, Las máximas precipitaciones se registraron en los meses mayo, junio, julio, septiembre y

octubre, y las máximas láminas escurridas se presentaron en el mes de septiembre y octubre (ver FIGURA 58).

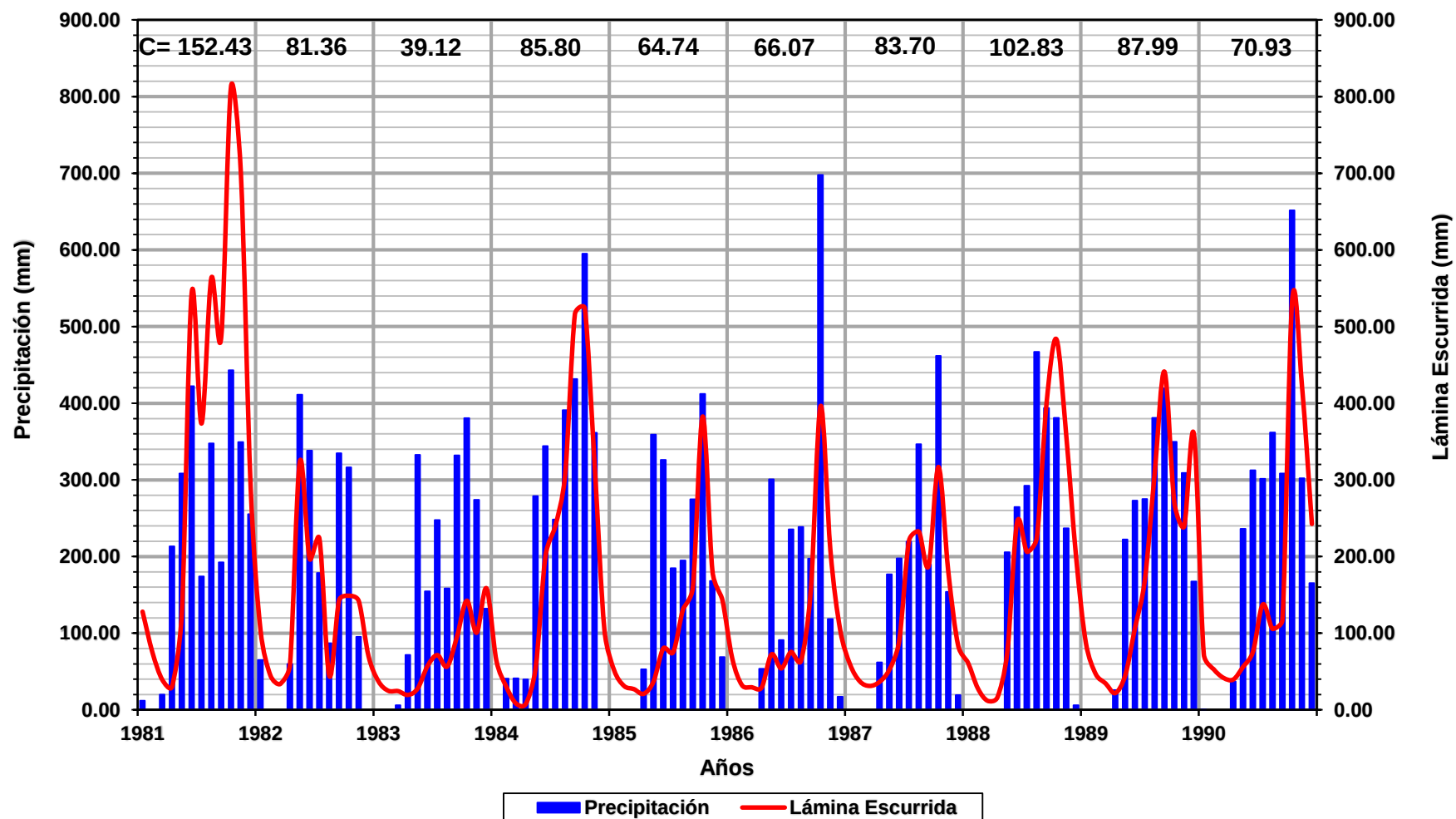
Analizando lo dicho anteriormente, es de notar la existencia de un desequilibrio en el comportamiento hidrológico después de 10 años de registro hidrométrico ya que el coeficiente de escorrentía disminuyó a pesar de que los aportes pluviométricos aumentaron. Sin embargo, tal aumento de la precipitación es un poco falso ya que, si se excluye a los años 1994 y 1995 los cuales fueron muy húmedos, la precipitación total anual para esta década fuese de 2078.89 mm disminuyendo en un 8.22 % en comparación con la década anterior, por tal motivo, esta disminución del coeficiente de escorrentía se atribuyó directamente a los pocos aportes pluviométricos registrados en el resto de los años (1991, 1992, 1993, 1996, 1997, 1998 y 2000) de la década, los cuales influyeron negativamente en la lámina de escorrentía total anual.

CUADRO LIV. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA ANUALES. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1981 – 2000).

Año	Precipitación (mm)	Lámina Escurrída (mm)	Coef. Esc. (%)
1981	2737.60	4172.79	152.43
1982	1886.10	1534.49	81.36
1983	2090.40	817.79	39.12
1984	2772.30	2378.69	85.80
1985	2041.30	1321.59	64.74
1986	1950.63	1288.85	66.07
1987	1827.60	1529.73	83.70
1988	2247.00	2310.52	102.83
1989	2422.56	2131.67	87.99
1990	2677.02	1898.94	70.93
<i>Promedio decadal</i>	2265.25	1938.50	85.58
1991	1822.30	1098.72	60.29
1992	2230.94	990.75	44.41
1993	2156.40	1420.10	65.85
1994	3200.50	1667.47	52.10
1995	3494.90	1978.76	56.62
1996	1883.40	2999.31	159.25
1997	1707.05	713.50	41.80
1998	2375.10	900.40	37.91
1999	2926.50	2526.63	86.34
2000	1529.45	1138.06	74.41
<i>Promedio decadal</i>	2332.65	1543.37	66.16
Promedio General	2298.95	1740.94	75.73

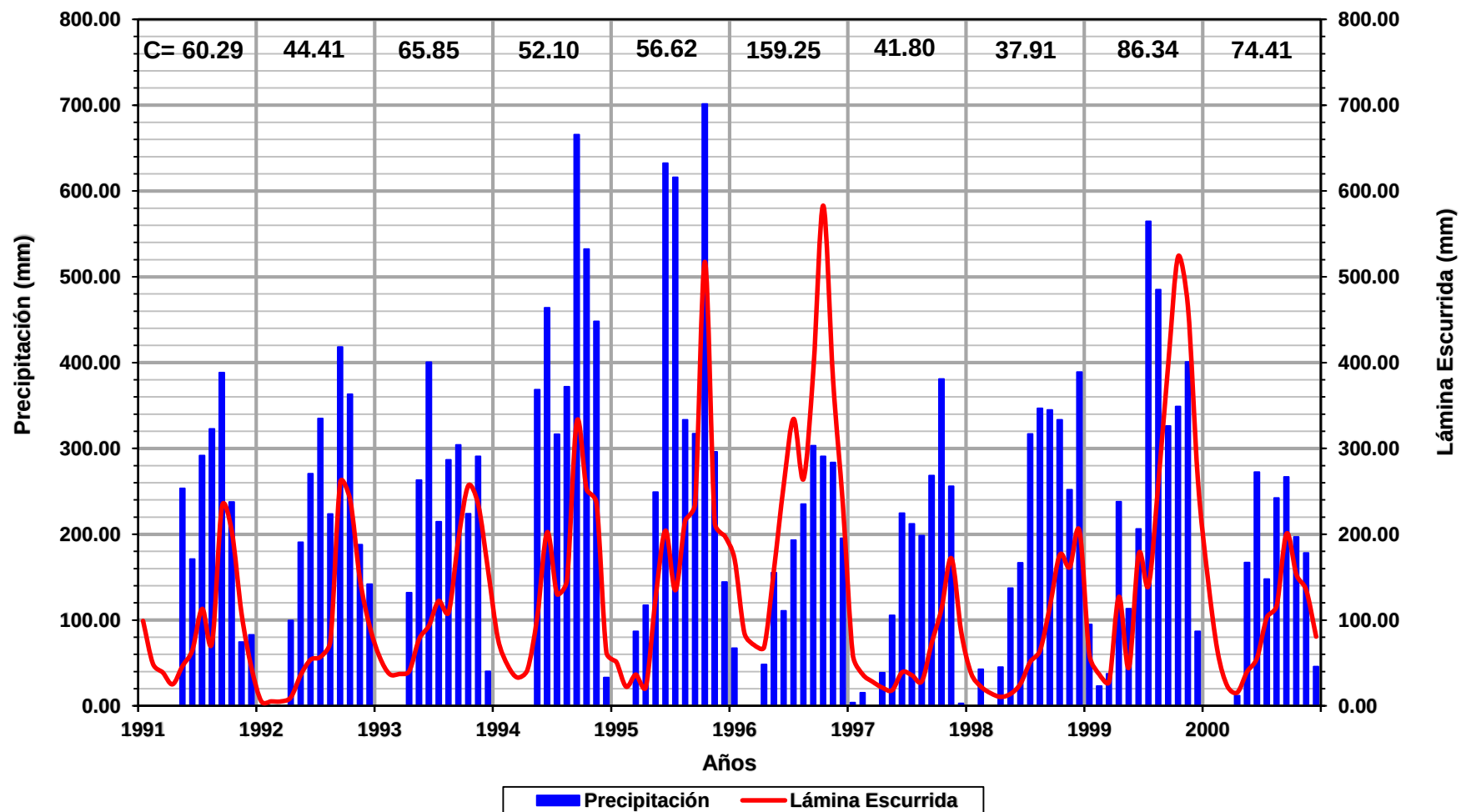
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 57. VARIACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL Y LA LÁMINA ESCURRIDA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1981 – 1990).



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 58. VARIACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL Y LA LÁMINA ESCURRIDA. ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (PERÍODO 1991 – 2000).



Fuente: Elaboración propia.

4.5.9 Análisis de Frecuencia

4.5.9.1 Caudales Máximos Instantáneos

El análisis de frecuencia de los caudales máximos instantáneos para diversos períodos de retorno, utilizando el método regional de crecidas máximas (ETESA 2008) se aplicó a la estación hidrométrica en estudio, a la subcuencas del río Güera y río Guaniquito, y a las microcuencas del río Quema, río Güerita, río Tolú, río Güera Occidental y río Marroquín.

Dicha estimación de los caudales máximos instantáneos se realizó calculando el área de drenaje de cada unidad hidrográfica y de la estación hidrométrica en estudio. Posteriormente, se determinó a que zona hidrológicamente homogénea pertenecen las áreas en estudio, que a su vez conforman a la cuenca del río Tonosí; dicha zona es la número cinco. Seguidamente, se calculó el caudal promedio máximo instantáneo para cada área en estudio utilizando la ecuación correspondiente a la zona hidrológicamente homogénea número cinco, esta es:

$$Q_{m\acute{a}x} = 14 * A^{0.59}$$

Donde:

A : Área de drenaje del sitio de interés en Km².

Finalmente, se calculó los caudales máximos instantáneos para distintos períodos de recurrencia multiplicando el caudal promedio máximo instantáneo que se obtuvo a partir de la ecuación anterior, por los factores que se presentan en el CUADRO IX específicamente los de la tabla N°1, ya que son los que corresponden a la zona hidrológicamente homogénea número cinco (5). A continuación, se presentan los resultados:

CUADRO LV. ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE MÁXIMOS INSTANTÁNEOS (m³/s) PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO EN LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ.

P % (X≥Qmáx)	P % (X<Qmáx)	Tr	Estación Hidrom.*	Unidades Hidrográficas Secundarias		Unidades Hidrográficas Terciarias					
				Río Güera	Río Guaniquito	Río Quema	Río Güerita	Río Tolú	Río Güera Occ.	Río Marroquí	
				Área (Km²): 135.00	Área (Km²): 338.47	Área (Km²): 193.29	Área (Km²): 84.87	Área (Km²): 40.79	Área (Km²): 45.68	Área (Km²): 46.93	Área (Km²): 40.74
				Qmáx (m³/s): 252.94	Qmáx (m³/s): 435.06	Qmáx (m³/s): 312.60	Qmáx (m³/s): 192.35	Qmáx (m³/s): 124.84	Qmáx (m³/s): 133.46	Qmáx (m³/s): 135.61	Qmáx (m³/s): 124.74
99.50	0.50	1.01	70.82	121.82	87.53	53.86	34.96	37.37	37.97	34.93	
95.24	4.76	1.05	108.76	187.08	134.42	82.71	53.68	57.39	58.31	53.64	
80.00	20.00	1.25	156.82	269.74	193.81	119.26	77.40	82.75	84.08	77.34	
50.00	50.00	2	232.70	400.26	287.59	176.96	114.85	122.78	124.76	114.76	
20.00	80.00	5	344.00	591.68	425.14	261.60	169.78	181.51	184.43	169.65	
10.00	90.00	10	419.88	722.20	518.92	319.30	207.23	221.54	225.11	207.07	
5.00	95.00	20	495.76	852.72	612.70	377.01	244.69	261.58	265.80	244.49	
2.00	98.00	50	599.47	1031.09	740.86	455.87	295.87	316.30	321.40	295.63	
1.00	99.00	100	677.88	1165.96	837.77	515.50	334.57	357.67	363.43	334.30	
0.10	99.90	1000	963.70	1657.58	1191.01	732.85	475.64	508.48	516.67	475.26	
0.01	99.99	10000	1277.35	2197.05	1578.63	971.37	630.44	673.97	684.83	629.94	

Fuente: Elaboración propia.

* Tonosí, Guaniquito.

P % (X≥Qmáx): Probabilidad de ocurrencia, P % (X<Qmáx): Probabilidad de no ocurrencia y Tr: Período de retorno.

4.6 Balance Hídrico del Suelo

La realización del balance hídrico del suelo en la cuenca del río Tonosí se realizó inicialmente seleccionando las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la cuenca las cuales fueron las siguientes:

- Zona Baja (0 – 100 msnm): La Llana (124 – 002) y Tonosí 2 (124 – 004).
- Zona Media (100 – 680 msnm): El Cortezo (124 – 005) y Altos de Güera (124 – 006).

Es importante mencionar, que la zona alta de la cuenca no fue considerada para este análisis, ya que ninguna estación pluviométrica se ubica por encima de los 680 msnm. Posteriormente a la selección de las estaciones a ser analizadas, se procedió a calcular las precipitaciones promedios mensuales multianuales del período 1981 – 2010 para cada estación. Luego, se continuo con el cálculo de la ETP mediante la fórmula Thornthwaite, considerando como dato base para el cálculo la temperatura promedio mensual del aire. Las temperaturas fueron calculadas para cada estación, tomando como referencia la temperatura de la estación Tonosí 2 (124 – 004) para el período 1981 – 2010 y los gradientes verticales térmicos calculados para dicho período.

En alusión a la selección de la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo para la zona baja y media de la cuenca, se tomó como valor de referencia 250 mm/mes a partir de la textura del suelo (IDIAP 2006) y la profundidad radicular. A continuación, se presentan los balances hídricos del suelo para cada zona funcional de la cuenca.

Según los balances hídricos del suelo correspondientes a la zona baja de la cuenca del Río Tonosí (ver CUADRO LVI y LVII), se puede mencionar que la estación La Llana (124 – 002) presentó una precipitación total anual de 2413.84 mm, una evapotranspiración potencial total anual de 1928.31 mm que equivale al 79.89 % de la precipitación total anual, una evapotranspiración real total anual de 1465.26 mm la cual indica que el 75.99 % de la ETP total anual se convierte en ETR, una escorrentía total anual de 948.58 mm y un déficit total de humedad anual de 463.05 mm.

La estación Tonosí 2 (124 – 004) presentó una precipitación total anual de 1622.09 mm, una evapotranspiración potencial total anual de 2013.06 mm la cual indica que la ETP es mayor que la PPT en esta zona, una evapotranspiración real total anual de 1442.22 mm la cual indica que el 71.64 % de la ETP total anual se convierte en ETR, una escorrentía total anual de 179.87 mm y un déficit total de humedad anual de 570.84 mm.

Adicionalmente, los meses considerados como deficientes de humedad en el suelo para ambas estaciones fueron los siguientes: diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo, el cual corresponde únicamente a la estación Tonosí 2. Tales meses fueron considerados de esta forma ya que su evapotranspiración potencial (ETP) fue superior a la precipitación (PPT) y consecuentemente las reservas o almacenamientos de agua en el suelo estaban por debajo de la capacidad máxima (250 mm/mes) e inclusive no existía reserva alguna (0 mm/mes).

En la estación La Llana el proceso de recargamiento del suelo se da desde el mes de mayo hasta mediados de julio, alcanzando su máxima capacidad de almacenamiento de humedad (250 mm). Este no es el caso de la estación Tonosí 2, el proceso de recargamiento del suelo se da desde el mes junio hasta mediados de octubre, siendo mucho más extenso en esta zona.

Según los balances hídricos del suelo correspondientes a la zona media de la cuenca del río Tonosí (ver CUADRO LVIII y LIX) se puede mencionar que la estación El Cortezo (124 – 005) presentó una precipitación total anual de 2232.50 mm, una evapotranspiración potencial total anual de 1784.20 mm que equivale al 79.92 % de la precipitación total anual, una evapotranspiración real total anual de 1398.09 mm la cual indica que el 78.36 % de la ETP total anual se convierte en ETR, una escorrentía total anual de 834.41 mm y un déficit total de humedad anual de 386.11 mm.

La estación Altos de Güera (124 – 006) presentó una precipitación total anual de 2076.25 mm, una evapotranspiración potencial total anual de 1684.45 mm que equivale al 81.13 % de la precipitación total anual, una evapotranspiración real total anual de 1353.13 mm la cual indica que el 80.33 % de la ETP total anual se convierte en ETR, una escorrentía total anual de 723.12 mm y un déficit total de humedad anual de 331.32 mm. Por otra parte, los meses considerados como deficientes de humedad en el suelo para ambas estaciones son los mismos que en la zona baja, excluyendo al mes de mayo. En referencia al proceso de recargamiento del suelo se da desde el mes de mayo hasta mediados de julio.

CUADRO LVI. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).

VARIABLES	MESES DEL AÑO												TOTAL
	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	
Temperatura promedio mensual (°C)	28.22	28.92	29.33	29.49	28.13	27.13	26.90	26.84	26.54	26.57	26.75	27.59	-
Índice de calor (I)	13.74	14.26	14.56	14.68	13.67	12.94	12.78	12.73	12.52	12.54	12.67	13.28	160.37
ETP sin corregir (30 días con 12 horas de sol) (mm)	168.63	186.76	198.04	202.58	166.40	143.10	138.11	136.83	130.57	131.19	134.93	153.49	-
Factor de corrección	1.010	0.920	1.030	1.025	1.070	1.045	1.070	1.060	1.015	1.025	0.985	1.005	-
ETP corregida (mm)	170.31	171.81	203.98	207.64	178.05	149.54	147.78	145.04	132.53	134.47	132.91	154.25	1928.31
PPT (mm)	16.25	8.49	15.87	62.68	266.08	303.97	271.78	317.41	355.04	411.84	292.78	91.65	2413.84
ETR (mm)	170.31	41.83	15.87	62.68	178.05	149.54	147.78	145.04	132.53	134.47	132.91	154.25	1465.26
Sobrante de agua (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	88.03	154.43	124.00	172.37	222.51	277.37	159.87	0.00	1198.58
Recargamiento del suelo (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	88.03	154.43	7.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	250.00
Restado del suelo (mm)	154.06	33.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.60	250.00
Agua almacenada en el suelo al final del mes (mm)	33.34	0.00	0.00	0.00	88.03	242.46	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	187.40	1801.23
Escorrentía total (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	116.46	172.37	222.51	277.37	159.87	0.00	948.58
Déficit de agua en el suelo al final del mes (mm)	216.66	250.00	250.00	250.00	161.97	7.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	187.40	1323.57
Déficit total de humedad (mm)	0.00	129.98	188.11	144.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	463.05
CH* DTH* RECAR* ESC* CH*													

COMPROBACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

PPT total anual = ETR total anual (mm) + Escorrentía total anual (mm)

2413.84

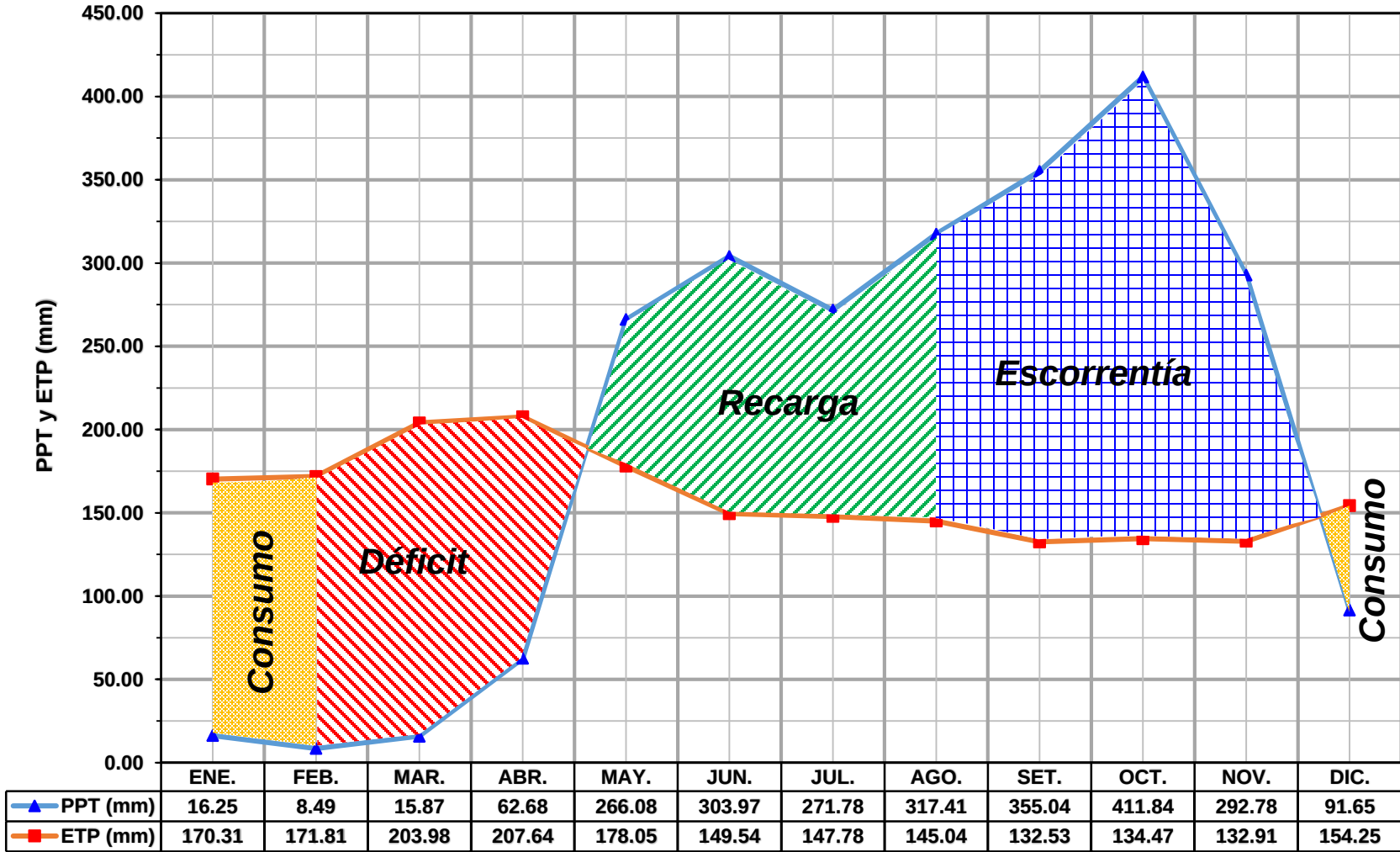
Déficit total de humedad = ETP total anual (mm) – ETR total anual (mm)

463.05

Fuente: Elaboración propia.

* CH: Consumo de humedad del suelo (restado del suelo), DTH: Déficit total de humedad del suelo, RECAR: Recargamiento del suelo y ESC: Escorrentía total.

FIGURA 59. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO LVII. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004).

VARIABLES	MESES DEL AÑO												TOTAL
	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	
Temperatura promedio mensual (°C)	28.55	29.27	29.67	29.83	28.41	27.41	27.17	27.11	26.81	26.84	27.03	27.90	-
Índice de calor (I)	13.98	14.52	14.82	14.94	13.88	13.14	12.97	12.93	12.71	12.73	12.87	13.50	163.00
ETP sin corregir (30 días con 12 horas de sol) (mm)	176.98	196.93	208.73	213.60	173.29	148.61	143.11	141.76	135.15	135.80	139.97	160.34	-
Factor de corrección	1.010	0.920	1.030	1.025	1.070	1.044	1.070	1.060	1.015	1.025	0.985	1.004	-
ETP corregida (mm)	178.75	181.18	215.00	218.94	185.42	155.15	153.13	150.26	137.18	139.20	137.87	160.98	2013.06
PPT (mm)	9.41	5.22	2.57	42.19	166.14	188.99	176.33	211.47	201.80	290.79	233.28	93.90	1622.09
ETR (mm)	178.75	18.80	2.57	42.19	166.14	155.15	153.13	150.26	137.18	139.20	137.87	160.98	1442.22
Sobrante de agua (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.84	23.20	61.21	64.62	151.59	95.41	0.00	429.87
Recargamiento del suelo (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.84	23.20	61.21	64.62	67.13	0.00	0.00	250.00
Restado del suelo (mm)	169.34	13.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.08	250.00
Agua almacenada en el suelo al final del mes (mm)	13.58	0.00	0.00	0.00	0.00	33.84	57.04	118.25	182.87	250.00	250.00	182.92	1088.50
Escorrentía total (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.46	95.41	0.00	179.87
Déficit de agua en el suelo al final del mes (mm)	236.42	250.00	250.00	250.00	250.00	216.16	192.96	131.75	67.13	0.00	0.00	67.08	1911.50
Déficit total de humedad (mm)	0.00	162.38	212.43	176.75	19.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	570.84
	CH*	DTH*					RECAR*				ESC*	CH*	

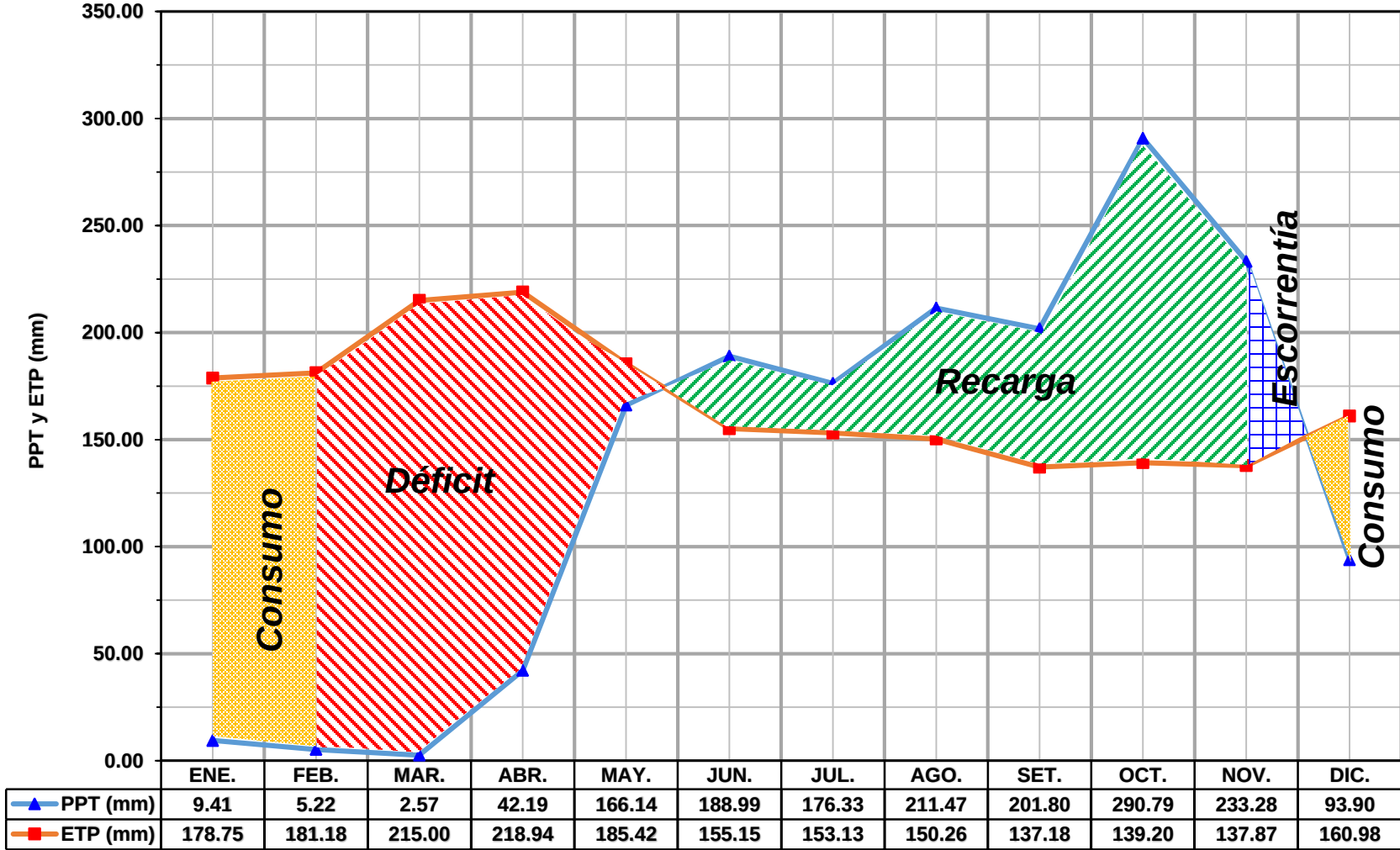
COMPROBACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

PPT total anual = ETR total anual (mm) + Escorrentía total anual (mm)	1622.09
Déficit total de humedad = ETP total anual (mm) – ETR total anual (mm)	570.84

Fuente: Elaboración propia.

* CH: Consumo de humedad del suelo (restado del suelo), DTH: Déficit total de humedad del suelo, RECAR: Recargamiento del suelo y ESC: Escorrentía total.

FIGURA 60. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004).



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO LVIII. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).

VARIABLES	MESES DEL AÑO												TOTAL
	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	
Temperatura promedio mensual (°C)	27.60	28.27	28.69	28.85	27.58	26.61	26.39	26.34	26.05	26.06	26.23	27.01	-
Índice de calor (I)	13.28	13.77	14.09	14.20	13.27	12.57	12.41	12.38	12.17	12.18	12.30	12.86	155.47
ETP sin corregir (30 días con 12 horas de sol) (mm)	154.54	169.91	180.10	184.10	154.10	133.77	129.46	128.49	122.99	123.18	126.38	141.90	-
Factor de corrección	1.010	0.920	1.030	1.025	1.070	1.045	1.070	1.060	1.015	1.025	0.985	1.005	-
ETP corregida (mm)	156.09	156.31	185.51	188.71	164.89	139.79	138.52	136.20	124.83	126.25	124.49	142.61	1784.20
PPT (mm)	13.98	6.76	13.04	64.24	233.04	264.62	277.41	299.41	318.68	385.93	260.29	95.10	2232.50
ETR (mm)	156.09	67.14	13.04	64.24	164.89	139.79	138.52	136.20	124.83	126.25	124.49	142.61	1398.09
Sobrante de agua (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	68.15	124.83	138.89	163.21	193.85	259.68	135.80	0.00	1084.41
Recargamiento del suelo (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	68.15	124.83	57.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	250.00
Restado del suelo (mm)	142.11	60.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.51	250.00
Agua almacenada en el suelo al final del mes (mm)	60.38	0.00	0.00	0.00	68.15	192.98	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	202.49	1774.00
Escorrentía total (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.87	163.21	193.85	259.68	135.80	0.00	834.41
Déficit de agua en el suelo al final del mes (mm)	189.62	250.00	250.00	250.00	181.85	57.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	202.49	1380.98
Déficit total de humedad (mm)	0.00	89.17	172.47	124.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	386.11
	CH*	DTH*			RECAR*			ESC*				CH*	

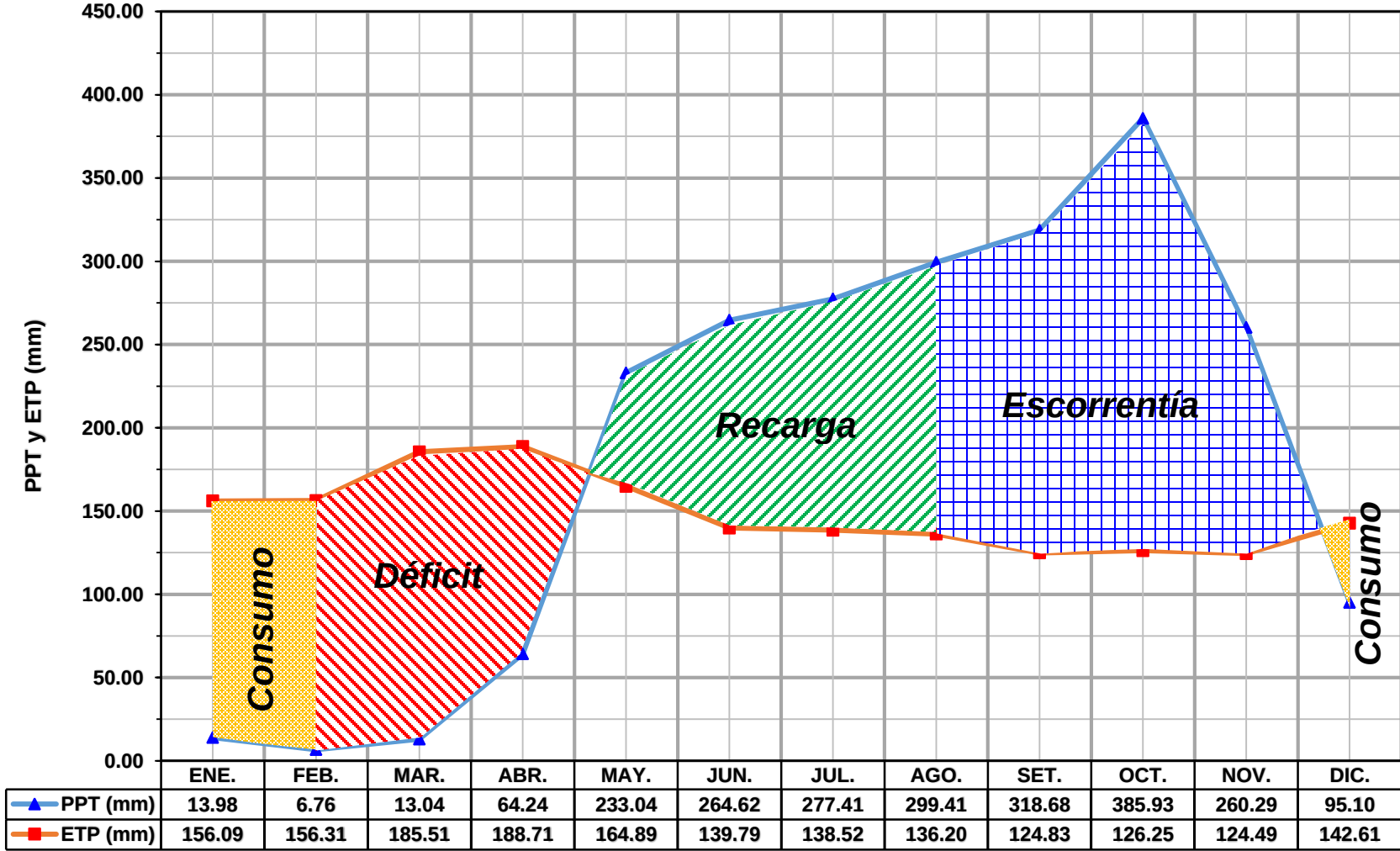
COMPROBACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

PPT total anual = ETR total anual (mm) + Escorrentía total anual (mm)	2232.50
Déficit total de humedad = ETP total anual (mm) – ETR total anual (mm)	386.11

Fuente: Elaboración propia.

* CH: Consumo de humedad del suelo (restado del suelo), DTH: Déficit total de humedad del suelo, RECAR: Recargamiento del suelo y ESC: Escorrentía total.

FIGURA 61. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO LIX. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).

VARIABLES	MESES DEL AÑO												TOTAL
	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	
Temperatura promedio mensual (°C)	27.12	27.76	28.19	28.36	27.16	26.21	25.99	25.94	25.66	25.67	25.82	26.56	-
Índice de calor (I)	12.93	13.40	13.72	13.84	12.96	12.28	12.13	12.09	11.90	11.90	12.01	12.53	151.70
ETP sin corregir (30 días con 12 horas de sol) (mm)	144.92	158.32	167.83	171.70	145.73	127.32	123.31	122.42	117.48	117.65	120.28	133.89	-
Factor de corrección	1.010	0.920	1.030	1.025	1.070	1.045	1.070	1.060	1.015	1.025	0.985	1.005	-
ETP corregida (mm)	146.37	145.66	172.86	175.99	155.93	133.05	131.95	129.76	119.24	120.60	118.48	134.56	1684.45
PPT (mm)	16.58	10.82	16.09	66.63	245.80	249.30	224.56	267.07	284.52	357.25	253.63	84.00	2076.25
ETR (mm)	146.37	80.47	16.09	66.63	155.93	133.05	131.95	129.76	119.24	120.60	118.48	134.56	1353.13
Sobrante de agua (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	89.87	116.25	92.61	137.31	165.28	236.65	135.15	0.00	973.12
Recargamiento del suelo (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	89.87	116.25	43.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	250.00
Restado del suelo (mm)	129.79	69.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.56	250.00
Agua almacenada en el suelo al final del mes (mm)	69.65	0.00	0.00	0.00	89.87	206.12	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	199.44	1815.08
Escorrentía total (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.73	137.31	165.28	236.65	135.15	0.00	723.12
Déficit de agua en el suelo al final del mes (mm)	180.35	250.00	250.00	250.00	160.13	43.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	199.44	1333.80
Déficit total de humedad (mm)	0.00	65.19	156.77	109.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	331.32
	CH*	DHT*			RECAR*			ESC*				CH*	

COMPROBACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

PPT total anual = ETR total anual (mm) + Escorrentía total anual (mm)

2076.25

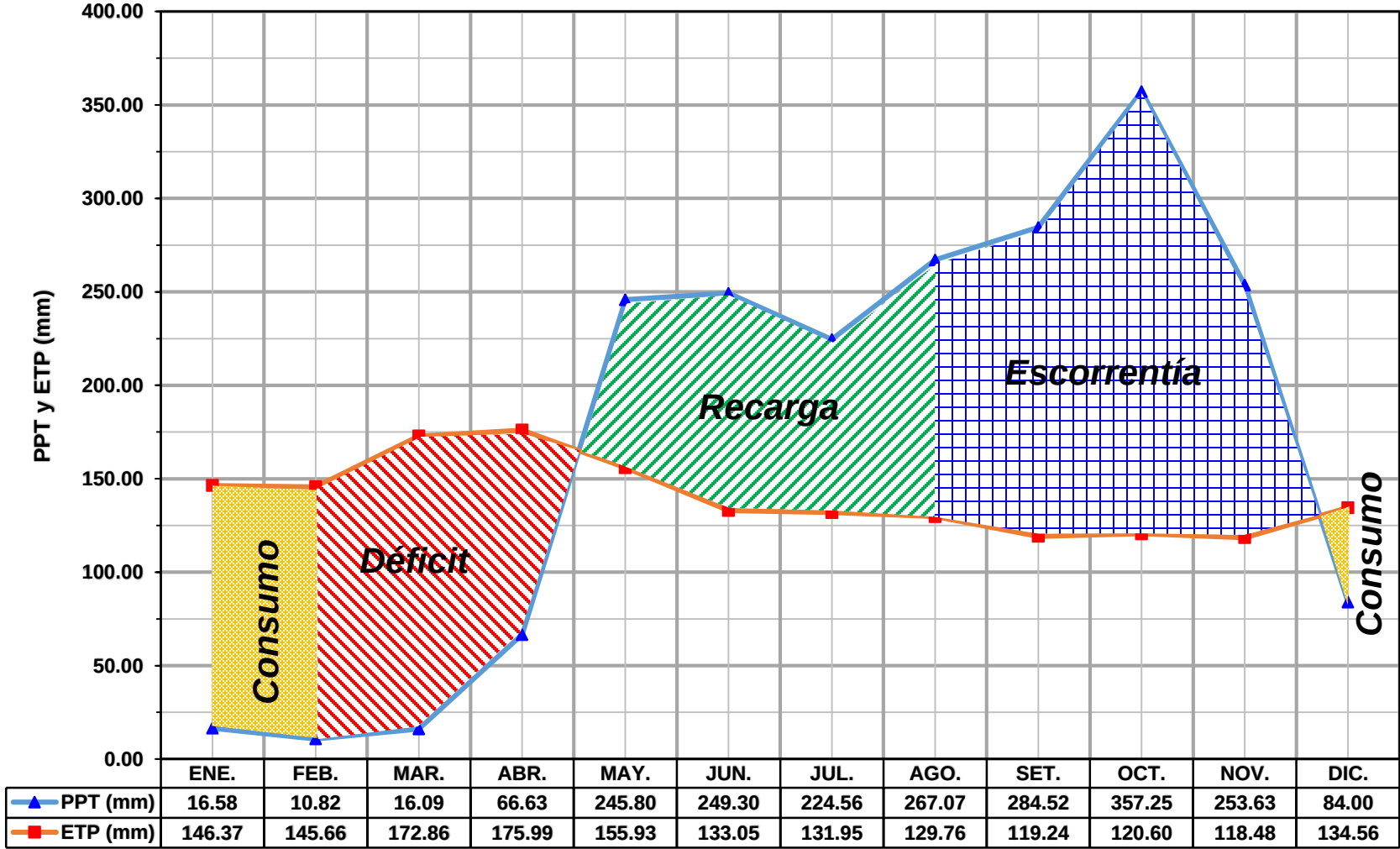
Déficit total de humedad = ETP total anual (mm) – ETR total anual (mm)

331.32

Fuente: Elaboración propia.

* CH: Consumo de humedad del suelo (restado del suelo), DTH: Déficit total de humedad del suelo, RECAR: Recargamiento del suelo y ESC: Escorrentía total.

FIGURA 62. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).



Fuente: Elaboración propia.

5.0 CONCLUSIONES

- La respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica del río Tonosí tomando en consideración su forma y su densidad de drenaje, es catalogada como muy rápida. Al tener una forma ensanchada en su parte superior conformada por las subcuencas del río Güera y Guaniquito, y a su alta densidad de drenaje, el tiempo total empleado por el agua y su distancia recorrida son mucho más cortas, provocando una mayor rapidez para la concentración del flujo superficial del agua en la red de canales.
- La variabilidad de la precipitación promedio anual según las zonas funcionales de la cuenca y de las tres décadas en estudio (1981 – 1990, 1991 – 2000 y 2001 – 2010), puso en evidencia de que no existe variación significativa de la zona baja con respecto a la zona media, ya que sus proporciones van de 1:1.08 y su porcentaje de diferencia en promedio no sobrepasa el 10.00 %. De igual forma, el comportamiento de las precipitaciones promedios mensuales multianuales a lo largo de un año para la zona baja y media de la cuenca, presentan el mismo comportamiento pluviométrico, con una distribución temporal de las lluvias muy desigual a lo largo del año, existiendo una marcada diferencia entre los meses de época seca (diciembre a abril) y los meses de época lluviosa (mayo a noviembre).

- El agua precipitada anualmente para la zona baja y media de la cuenca presentaron mucha regularidad, en otras palabras, no se identificó ninguna tendencia de déficit o exceso de precipitación en alguna de las zonas, poniendo en evidencia la existencia de un equilibrio entre los años húmedos y secos.
- Analizando la tendencia secular de la precipitación total anual del período en estudio para la zona baja y media de la cuenca se deduce que para ambas zonas los aportes pluviométricos a lo largo de 35 años han disminuido, presentando tendencias negativas. La zona baja disminuyó 1.0463 mm por año y la zona media disminuyó 10.058 mm por año.
- Analizando la relación de la precipitación con la altitud en la cuenca del río Tonosí utilizando el óptimo pluviométrico, se deduce que las precipitaciones tienden a aumentar en grandes proporciones a partir de elevaciones muy próximas al nivel del mar (Tonosí, 12 msnm), alcanzando su nivel óptimo entre La Llana (60 msnm) con una precipitación promedio anual de 2413.83 mm y El Cortezo (150 msnm) con una precipitación promedio anual de 2232.50 mm. Por encima del óptimo los totales disminuyen. Una estación pluviométrica sirve para atestiguar la mengua de las lluvias, esta es Altos de Güera a 220 msnm con una precipitación promedio anual de 2076.25 mm.
- La precipitación promedio anual en la cuenca del río Tonosí es de 2049.45 mm. Desde otro punto de vista, alrededor del 67.275 % (489.498 Km²) de la superficie total de la cuenca del río Tonosí recibe precipitaciones mayores a los 2000 mm anuales. El resto de la superficie total

que equivale al 32.725 % (238.110 Km²), recibe precipitaciones menores a los 2000 mm anuales.

- La estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito registró un caudal promedio anual de 7.43 m³/s con un rendimiento hídrico o caudal específico promedio anual de 55.00 l/s/Km², una lámina escurrida total anual de 1740.94 mm y un volumen total anual de 234.98 MMC.
- El caudal específico promedio anual para la estación hidrométrica en estudio fue de 55.00 l/s/km² con un caudal promedio anual de 7.43 m³/s. La subcuenca del río Güera presentó un caudal específico promedio anual de 52.50 l/s/km² con un caudal promedio anual de 17.77 m³/s y la subcuenca del río Guaniquito presentó caudal específico promedio anual de 57.50 l/s/km² con un caudal promedio anual de 11.11 m³/s.

En referencia a las microcuencas presentaron los siguientes caudales específicos y caudales promedio anuales: río Quema con 47.50 l/s/km² y 4.03 m³/s, río Güerita con 47.50 l/s/km² y 1.94 m³/s, río Tolú con 50.00 l/s/km² y 2.28 m³/s, río Güera Occidental con 52.50 l/s/km² y 2.46 m³/s y el río Marroquín con 52.50 l/s/km² y 2.14 m³/s.

- Los caudales promedios diarios asegurados obtenidos a partir de la curva de duración de caudales de la estación hidrométrica en estudio son los siguientes: máximo absoluto (244.00 m³/s), 5 % máximo característico (24.34 m³/s), 20 % (11.00 m³/s), 50 % semipermanente (4.06 m³/s), 80 % (1.65 m³/s), 95 % mínimo característico (0.79 m³/s) y mínimo absoluto (0.19 m³/s).

- El régimen o comportamiento hidrológico mensual a lo largo de un año en la cuenca del río Tonosí utilizando la estación hidrométrica en estudio, permitió distinguir dos períodos bien marcados; el primero de ellos considerado como la época de estiaje o de aguas bajas el cual coincide en cierto modo con la época donde se registran los menores aportes pluviométricos; inicia en el mes de enero y culmina en el mes de mayo. El segundo período considerado como la época de aguas altas o de excedencia de caudales el cual coincide en cierto modo con la época donde se registra los mayores aportes pluviométricos; inicia en el mes de junio y culmina en el mes de diciembre.
- Los caudales promedios anuales para la estación hidrométrica en estudio presentaron mucha regularidad, en otras palabras, no se identificó ninguna tendencia decreciente o creciente de los caudales promedios anuales en la estación hidrométrica, poniendo en evidencia la existencia de un equilibrio entre los años húmedos y secos.
- Analizando la tendencia secular de los caudales promedios anuales de la estación hidrométrica en estudio se deduce que a lo largo de 20 años (período 1981 – 2000) han disminuido los caudales ($0.1416 \text{ m}^3/\text{s}$ por año), presentando una tendencia negativa.
- La variación del coeficiente de escorrentía demostró la existencia de un desequilibrio hidrológico en el área de la estación hidrométrica en estudio. Al comparar la primera década (1981 – 1990) con la segunda década (1991 – 2000) se encontró una disminución del coeficiente de escorrentía en un 20.38 %.

6.0 RECOMENDACIONES

- Instalar una mayor cantidad de estaciones pluviométricas y estaciones meteorológicas tipo A o B, principalmente en la parte alta (mayor a los 680 msnm) de la cuenca, las cuales proporcionen un mejor conocimiento del comportamiento climatológico de la cuenca.
- Reactivar la estación hidrométrica Tonosí, Guaniquito (124 – 01 – 02) para conocer el comportamiento hidrológico actual en este sector de la cuenca.
- Verificar la curva de descarga de la estación hidrométrica Tonosí, Puente Tonosí (124 – 01 – 03), ya que existe incongruencia en sus datos (caudales diarios) a partir del año 2002 hasta el año 2008.
- Realizar este tipo de estudio para otras cuencas que se ubiquen en la península de Azuero, algunas de estas son: (1) río Parita, (2) ríos entre el San Pedro y el Tonosí y (3) ríos entre el Tonosí y La Villa; permitiendo así, conocer a un mayor detalle la disponibilidad hídrica para posibles aprovechamientos a futuro.
- Realizar estudios empleando programas de modelación hidrológica para estimar la producción de agua en áreas de drenaje sin control fluvimétrico, permitiendo así, establecer la oferta hídrica en diversos escenarios.
- Realizar un estudio detallado referente a la estimación de los caudales máximos instantáneos el cual permita determinar la magnitud de las zonas

inundables en la parte baja de la cuenca, específicamente en el valle de Tonosí, empleando programas de modelación hidráulica.

- Realizar un estudio detallado referente a las características físicas del suelo el cual permita la realización de balances hídricos, facilitando una mejor planificación en el riego agrícola.

7.0 BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, N. 2001. Extensión de Registros de Escorrentía y Métodos de Cálculo de Caudales. Chiriquí, Panamá, Universidad de Panamá. 15 p.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá). 2004. Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Sequía en Panamá. Ciudad de Panamá, Panamá. 134 p.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá). 2010. Mapa de los Tipos de Clima de la República de Panamá, Según Alberto McKay. Escala 1:1,700,000. Color. Atlas Ambiental de la República de Panamá. Ciudad de Panamá, Panamá. 180 p.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá). 2011. Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá 2010 – 2030. Ciudad de Panamá, Panamá, Editora Novo art S.A. 157 p.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá). 2015. Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra de la República de Panamá. Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:50,000. Color.

Breña, A.; Jacobo, M. 2006. Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Ciudad de México, México, Universidad Autónoma Metropolitana. 288 p.

- Cahuana, A; Yugar, W. 2009. Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología CIV – 233. Tesis Ing. Civil. Cochabamba, Bolivia, Universidad Mayor de San Simón. 414 p
- Campos Aranda, DF. 1983. Procesos del Ciclo Hidrológico. San Luis Potosí, México, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Editorial Universitaria Potosina. 550 p.
- Castañeda, A. 1981. Conferencia de Hidrología de Superficie. Tolima, Colombia, Universidad del Tolima. 142 p.
- Chow, V; Miaidment, D; Mays, L. 1994. Hidrología Aplicada. Saldarriaga, JG; Santos, GR. (trad.). Santafé de Bogotá, Colombia, Editorial McGraw – Hill Interamericana. 597 p.
- Delgadillo, A; Moreno A. 2012. Hidrología: morfometría de Cuencas. Mérida Venezuela, Universidad de Los Andes. 9 p.
- Estribí, C. 1990. Desequilibrio Hidrológico y Degradación Especifica del Área de Cerro Punta, Cuenca del Río Chiriquí Viejo. Chiriquí, Panamá, INRENARE. 54 p. (Serie Hidrología).
- ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. Panamá). 2007. Mapa de Cuencas Hidrográficas de la República de Panamá. Ciudad de Panamá, Panamá, Gerencia de Hidrometeorología. Escala Varía. Color.

ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. Panamá). 2008. Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, Período 1971 – 2006. Ciudad de Panamá, Panamá, Gerencia de Hidrometeorología. 108 p.

ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. Panamá). 2009. Régimen Hidrológico de Panamá (en línea). Ciudad de Panamá, Panamá, Gerencia de Hidrometeorología. Consultado 3 mar. 2016. Disponible en http://www.hidromet.com.pa/regimen_hidrologico.php

García N. 2014. Aplicación de Herramientas SIG al Estudio de la Cuenca del Río Nalón. Tesis Mag. Sc. Oviedo, España, Universidad de Oviedo. 60 p.

GWP (Global Water Partnership, Honduras). 2011. Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica: hacia Una Gestión Integrada. Tegucigalpa, Honduras. 139 p.

HC & ASOCIADOS S.RL. 2014. Proyecto Integral Multipropósito para el Desarrollo del Valle de Tonosí (en línea). Los Santos, Panamá. Consultado 31 ene. 2016. Disponible en <http://www.hc.com.pe/agricultura.php>.

Heckadon – Moreno, S. 2006. Cuando se Acaban los Montes: los Campesinos Santeños y la Colonización de Tonosí. 2 ed. Ciudad de Panamá, Panamá, Editorial Universitaria “Carlos Manuel Gasteazoro”. 218 p.

Horton, R. 1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins; hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Estado Unidos de América, Geology Society America. 96 p. (Boletín No 56).

IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuarias de Panamá, Panamá). 2006. Mapa de Fertilidad Basado en Análisis de Muestras de Suelo (Texturas) de la República de Panamá. Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:2,000,000. Color.

IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Panamá). 1962. Mapa Topográfico Llano de Mariato (4038 IV). Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:50,000. Color. (Serie E762).

IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Panamá). 1981a. Mapa Topográfico Llano de Piedra (4038 I). Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:50,000. Color. (Serie E762).

IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Panamá). 1981b. Mapa Topográfico Tonosí (4138 III). Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:50,000. Color. (Serie E762).

IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Panamá). 1981c. Mapa Topográfico Valle Riquito (4138 IV). Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:50,000. Color. (Serie E762).

IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Panamá). 1986. Mapa Topográfico Ave María (4137 IV). Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:50,000. Color. (Serie E762).

IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Panamá). 1987. Mapa Topográfico Guaniquito (4038 II). Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:50,000. Color. (Serie E762).

IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Panamá). 2000. Mapa de la División Administrativa de la República de Panamá. Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:250,000. Color.

IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Panamá). 2007. Atlas Nacional de la República de Panamá. 4 ed. Ciudad de Panamá, Panamá. 290 p.

Linsley, R; Kohler, M.; Paulus, J. 1977. Hidrología para Ingenieros. 2 ed. Cali Colombia, Editorial McGraw – Hill Latinoamérica. 357 p.

Lücke, O. 1985. Estado Actual de Investigación, Recopilación y Aplicación de la Metodología para el Cálculo del Balance Hídrico en la Asociación Climática de L. R. Holdridge. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 26 p.

MA (Ministerio de Agricultura, Perú), 2007. Evaluación de los Recursos Hídricos De la Cuenca del Río Mala. Mala, Perú, Instituto Nacional de Recursos Naturales, Intendencia de Recursos Hídricos. 256 p.

- MA (Ministerio de Agricultura, Perú), 2010. Evaluación de Recursos Hídricos Cuenca del Río Zaña. Lima, Perú, Autoridad Nacional del Agua, Administración Local de Agua Zaña. 174 p.
- MICI (Ministerio de Comercio e Industria, Panamá). 1990. Mapa Geológico de Panamá. Ciudad de Panamá, Panamá. Escala 1:250,000. Color.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá). 2015. MIDA Anuncia Medidas para Mitigar Efectos, Mediante el Plan de Sequía (en línea). Ciudad de Panamá, Panamá. Consultado 3 feb. 2016. Disponible en http://www.mida.gob.pa/noticias_id_3134.html.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente, España); TRAGSA (Empresa de Transformación Agraria, S.A., España); TRAGSATEC (Tecnologías y Servicios Agrarios, S.A., España). 1998. Restauración Hidrológica Forestal de Cuencas y Control de la Erosión: ingeniería Medio Ambiental. 2 ed. Madrid, España, Ediciones Mundi – Prensa. 945 p.
- Montserrat, J. 1985. Forma de una Cuenca de Drenaje: análisis de las Variables Morfométricas que nos la Definen. Barcelona, España. 28 p. (Vol. XIX).
- Mora, C. 2003. Caracterización Hidrológica Subcuenca Río David. Tesis Ing. Agrícola. Chiriquí, Panamá, Universidad de Panamá. 141 p.
- Morales, C. 1998. Las Actividades Agroforestales y Silvopastoriles como Alternativas para el Desarrollo Sustentable en la Provincia de Los Santos.

Tesis Msc. Geografía. Ciudad de Panamá, Panamá, Universidad de Panamá. 361 p. (Tomo I).

NWS (National Weather Service, Estados Unidos de América). 2015. Historical El Nino – La Nina Episodes (1950 – present) (en línea). Estados Unidos de América. Consultado 1 de ene. 2017. Disponible en <http://bit.ly/1NCHILT>.

Ordoñez, J. 2011. Que es una Cuenca Hidrológica. Lima, Perú, Sociedad Geográfica de Lima. 44 p.

Ortiz O. 2004. Evaluación Hidrológica. Lima, Perú, Red Latinoamericana de Micro Hydroenergía (HIDRORED). 16 p.

Oster, R. 1979. Las Precipitaciones en Colombia. Bogotá, Colombia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 147 p. (Vol. VI - No.2).

OSU (Oregon State University, Estados Unidos de América). 2005. Flow Duration Analysis. Oregon, Estados Unidos de América. 14 p.

Palaka. R. 2014. Study of Watershed Characteristics Using Google Elevation Service. Andhra Pradesh, India, Universidad de Andhra. 13 p.

Pareta, K; Pareta U. 2011. Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India Using ASTER (DEM) Data and GIS. Uttarkashi, India. 22 p.

- Pizarro, R. *et al.* s.f. Evaluación de Métodos Hidrológicos para la Completación de Datos Faltantes de Precipitación en Estaciones Pluviográfica de la VII Región del Maule. Maule, Chile. 26 p.
- Ponce, V. 1994. Engineering Hydrology: Principles and Practices. San Diego, Estados Unidos de América. 640 p.
- Rojas, R. 2009. Hidrología Aplicada al Manejo de Cuencas. Mérida, Venezuela, Universidad de los Andes. 211 p.
- Romero, D; López F. 1987. Morfometría de Redes Fluviales: revisión Crítica de los Parámetros más Utilizados y al Alto Guadalquivir. Murcia, España, Universidad de Murcia. 16 p.
- Ruiz, R; Torres, H. 2008. Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas: Caso América del Sur. s.l. 39 p.
- Sánchez, J. 2012. Relación Precipitación – Escorrentía. Salamanca, España, Universidad de Salamanca. 22 p.
- Sarp, G; Toprak, V; Duzgun, S. 2010. Hypsometric Properties of the Hydrological Basins Located on Western Part of Nafz. Ankara, Turquía. 4 p.
- SNC Lavalin Panamá, S.A. 2015. Estudio de Impacto Ambiental Categoría III Proyecto Minero Cerro Quema para la Extracción de Óxidos de Oro. Los Santos, Panamá. 1548 p.

Strahler, A. 1964. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. New York, Estados Unidos de América. 4-39, 4-76 p. (Section 4 – II, Geology).

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Uruguay). 1982. Guía Metodológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América del Sur. Montevideo, Uruguay. 147 p.

Universidad de Talca, Chile. 2012. Determinación Morfométrica de Cuencas Hidrográficas. Talca, Chile, Sociedad de Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos. 19 p. (Instructivo Técnico).

Universidad del Cauca, Colombia. s.f. Geomorfología Fluvial. Cauca, Colombia. 62 p.

Ureña, V. 2005. Descripción General de la Cuenca Hidrográfica N°124 Río Tonosí. Los Santos, Panamá, ANAM. 6 p.

Vélez, J; Botero, A. 2010. Estimación del Tiempo de Concentración y Tiempo de Rezago en la Cuenca Experimental Urbana de la Quebrada San Luis, Manizales. Manizales, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 14 p.

Villodas R. 2008. Hidrología. Mendoza, Argentina, Universidad Nacional de Cuyo. 40 p. (Unidad N°.4, Las Cuencas).

Villón, M. 2004. Hidrología. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 440 p.

Villón, M. 2006. Hidrología Estadística. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 476 p.

8.0 ANEXOS

ANEXO I. REGIONES HÍDRICAS POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ.

Región Hídrica	N° de Cuenca	Nombre del Río	Área total (Km²)	Longitud del Río (Km)	Río principal de la Cuenca
Región Caribe Occidental	87	Río Sixaola	509.4	146	Sixaola
	89	Ríos entre el Sixaola y Changuinola	222.5	37.3	San San
	91	Río Changuinola	3202	110	Changuinola
	93	Ríos entre Changuinola y Cricamola	2121	51.9	Guariviara
	95	Río Cricamola y entre Cricamola y Calovébora	2364	62	Cricamola
	97	Río Calovébora	485	39	Calovébora
	99	Ríos entre Calovébora y Veraguas	402.2	44.8	Concepción
	101	Río Veraguas	322.8	46	Veraguas
Región Caribe Oriental	103	Río Belén y entre R. Belén y R. Coclé del Norte	817	55.6	Río Belén
	105	Río Coclé del Norte	1710	75	Coclé del Norte
	107	Ríos entre Coclé del Norte y Miguel de la Borda	133.5	14.2	Platanal
	109	Río Miguel de la Borda	640	59.5	Miguel de la Borda
	111	Río Indio	564.4	92	Indio
	113	Ríos entre el Indio y el Chagres	421.4	36.9	Lagarto
	115	Río Chagres	3338	125	Chagres
	117	Ríos entre el Chagres y Mandinga	1122	34.1	Cuango
Región Pacífico Occidental	119	Río Mandinga	337	41.3	Mandinga
	121	Ríos entre el Mandinga y Armila	2238	26.5	Cartí
	100	Río Coto y Vecinos	560	52	Palo Blanco
	102	Río Chiriquí Viejo	1376	161	Chiriquí Viejo
	104	Río Escárrea	373	81	Escárrea
	106	Río Chico	593.3	69	Chico
	108	Río Chiriquí	1905	130	Chiriquí
	110	Río Fonseca y entre R. Chiriquí y Río San Juan	1661	90	Fonseca
Región Pacífico Central	112	Ríos entre el Fonseca y el Tabasará	1168	67	San Félix
	114	Río Tabasará	1289	132	Tabasará
	116	Ríos entre el Tabasará y el San Pablo	1684	56.5	Caté
	118	Río San Pablo	2453	148	San Pablo
	120	Río San Pedro	996	79	San Pedro
	122	Ríos entre el San Pedro y el Tonosí	2467	40.4	Río Quebro
	124	Río Tonosí	716.8	91	Tonosí
	126	Ríos entre el Tonosí y La Villa	2170	45	Guararé
Región Pacífico Occidental	128	Río La Villa	1284.3	117	La Villa
	130	Río Parita	602.6	70	Parita
	132	Río Santa María	3326	168	Santa María
	134	Río Grande	2493	94	Río Grande
	136	Río Antón	291	53	Río Antón
	138	Ríos entre el Antón y el Caimito	1476	36.1	Chame
	140	Río Caimito	453	72	Caimito
	142	Ríos entre el Caimito y el Juan Díaz	383	6	Matasnillo
Región Pacífico Occidental	144	Río Juan Díaz y entre Río Juan Díaz y Pacora	322	22.5	Juan Díaz
	146	Río Pacora	388	48	Pacora
	148	Río Bayano	4984	215	Bayano
	150	Ríos entre el Bayano y el Sta. Bárbara	1270	22.4	Chimán
	152	Río Sta. Bárbara y entre Chucunaque	1796	78.1	Sabanas
	154	Río Chucunaque	4937	215	Chucunaque
	156	Río Tuira	3017	127	Tuira
	158	Río Tucutí	1835	98	Tucutí
	160	Ríos entre el Tucutí y el Sambú	1464	23.9	Marea
	162	Río Sambú	1525	80	Sambú
	164	Ríos entre el Sambú y el Juradó	1158	46.7	Jaqué
	166	Río Jurado	91.2	63	Jurado

Fuente: ANAM (2011).

ANEXO II. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN GUÁNICO ABAJO (122 – 005), PERÍODO 1974 – 2010.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1974	4.96	1.43	0.00	0.00	94.10	133.40	112.20	275.50	114.40	402.50	145.80	13.00	1297.29
1975	0.00	0.00	0.00	0.00	119.90	287.40	157.30	173.10	165.60	441.00	357.80	87.10	1789.20
1976	0.00	0.00	0.00	60.30	77.40	210.00	93.50	69.60	224.70	169.90	131.10	14.30	1050.80
1977	0.00	0.00	0.00	0.00	103.90	192.20	136.00	206.40	384.90	189.50	153.80	13.70	1380.40
1978	0.00	0.00	0.00	103.70	323.00	171.70	180.50	90.90	200.60	94.20	175.30	44.90	1384.80
1979	0.00	3.20	0.00	49.60	194.60	218.70	76.80	331.00	157.50	199.50	371.40	110.40	1712.70
1980	0.00	0.00	0.00	5.00	230.50	275.30	74.30	132.80	157.30	198.10	258.20	84.20	1415.70
1981	0.00	0.00	7.60	137.50	264.00	237.70	234.50	233.50	186.70	380.20	268.40	130.90	2081.00
1982	58.20	9.00	0.00	21.20	235.80	151.20	133.20	78.30	203.90	232.60	75.70	7.70	1206.80
1983	0.00	4.60	34.10	42.60	121.90	107.50	153.60	56.20	330.09	214.70	85.00	126.50	1276.79
1984	0.00	92.40	3.20	4.60	160.90	196.60	160.00	269.60	224.10	449.90	255.40	2.00	1818.70
1985	0.00	0.00	0.00	21.40	342.10	181.40	57.70	122.20	113.90	324.60	121.40	98.70	1383.40
1986	0.00	0.00	0.00	2.30	295.70	64.50	103.80	288.70	155.80	781.10	160.00	66.60	1918.50
1987	0.00	0.00	0.00	50.10	174.60	236.00	255.10	176.80	210.30	298.00	95.80	34.16	1530.86
1988	0.00	0.00	0.00	12.90	135.70	254.80	250.20	185.10	327.80	346.20	229.40	53.00	1795.10
1989	5.70	0.00	0.00	0.00	132.20	187.40	189.10	217.80	286.70	243.00	409.60	324.60	1996.10
1990	4.20	0.00	4.10	6.60	154.50	254.40	156.70	186.00	240.90	575.10	229.40	257.40	2069.30
1991	2.10	0.00	0.00	34.50	251.30	155.00	180.20	82.70	182.70	134.50	129.90	9.00	1161.90
1992	0.00	0.00	0.00	31.80	167.50	98.10	266.60	77.70	319.00	138.60	107.00	99.80	1306.10
1993	15.20	0.00	4.20	81.20	148.80	118.50	199.80	251.90	404.20	136.80	185.40	46.00	1592.00
1994	0.00	0.00	0.00	24.70	387.30	229.30	197.30	223.80	348.80	177.80	241.00	5.30	1835.30
1995	0.00	0.00	0.00	33.80	101.20	232.50	272.90	161.20	162.50	695.00	190.37	102.93	1952.40
1996	63.70	0.00	0.00	40.30	342.80	98.70	251.30	112.30	143.30	236.50	361.60	67.60	1718.10
1997	0.00	0.00	0.00	44.40	87.80	188.80	150.20	74.60	220.30	397.40	170.40	0.00	1333.90
1998	0.00	76.60	0.00	0.00	211.00	307.70	307.60	286.70	257.00	252.70	182.70	168.10	2050.10
1999	14.30	38.69	0.00	10.22	185.79	77.32	121.16	162.73	170.41	285.15	239.97	164.22	1469.96
2000	48.94	0.00	0.00	3.67	113.95	204.58	128.66	163.20	184.80	102.08	159.69	35.46	1145.03
2001	19.14	0.00	0.00	0.00	132.07	114.04	144.60	183.60	217.48	175.54	216.82	124.39	1327.68
2002	6.33	0.00	0.00	85.95	84.34	65.26	137.01	251.17	120.68	210.65	208.75	3.77	1173.91
2003	0.00	0.00	7.85	5.38	242.06	113.19	139.19	367.61	138.24	230.77	272.05	98.57	1614.91
2004	3.10	0.00	0.00	46.66	174.11	197.17	252.50	201.07	152.86	235.70	142.70	39.45	1445.32
2005	21.32	0.00	19.81	21.61	249.94	208.37	147.64	296.44	123.06	204.77	182.46	111.10	1586.52
2006	0.00	14.97	0.00	84.15	185.98	308.97	173.73	193.19	96.96	114.35	293.88	78.93	1545.11
2007	0.00	0.00	0.00	146.78	195.75	163.20	139.85	296.15	130.55	363.15	378.43	211.31	2025.17
2008	4.62	0.00	30.15	7.37	218.81	180.47	243.86	238.46	181.14	356.04	486.24	46.28	1993.44
2009	0.00	0.00	0.00	2.91	189.11	103.22	160.45	267.40	130.84	261.71	275.37	64.50	1455.51
2010	0.00	28.82	0.00	17.72	154.94	161.59	116.89	280.78	207.42	298.81	310.48	129.61	1707.06
Prom.	7.35	7.29	3.00	33.54	188.79	180.71	169.08	196.38	204.80	285.08	223.21	83.12	1582.35
Max.	63.70	92.40	34.10	146.78	387.30	308.97	307.60	367.61	404.20	781.10	486.24	324.60	2081.00
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	77.40	64.50	57.70	56.20	96.96	94.20	75.70	0.00	1050.80
Desv.	16.03	20.48	7.98	38.35	78.99	66.54	61.57	82.07	79.17	154.44	97.83	73.35	302.10
C.V.	2.18	2.81	2.66	1.14	0.42	0.37	0.36	0.42	0.39	0.54	0.44	0.88	0.19
C.A.	2.70	3.35	3.13	1.50	0.75	0.06	0.42	-0.03	1.00	1.53	0.75	1.39	0.15
C.C.	9.63	13.95	12.31	5.01	3.18	2.49	2.69	2.36	3.46	5.80	3.33	5.55	2.06

Valores Extendidos

Valores Rellenados

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO III. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002), PERÍODO 1974 – 2010.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1974	13.50	0.00	0.00	4.00	128.50	495.00	258.00	471.50	256.50	581.00	179.50	16.50	2404.00
1975	4.50	0.00	0.00	0.00	222.00	301.00	361.50	436.50	359.50	509.00	588.50	74.00	2856.50
1976	0.00	0.00	0.00	65.00	115.00	338.00	150.00	326.50	228.00	265.50	309.00	22.50	1819.50
1977	0.00	0.00	0.00	0.00	247.00	364.50	177.50	269.00	490.00	385.00	199.50	37.50	2170.00
1978	8.50	0.00	60.50	259.50	303.00	306.50	266.50	398.00	308.50	322.00	167.50	24.00	2424.50
1979	0.00	0.00	11.00	123.50	418.00	211.00	248.50	499.90	413.00	424.50	472.80	177.10	2999.30
1980	12.00	20.00	8.00	8.00	352.10	383.80	243.80	254.80	420.80	397.80	217.50	132.00	2450.60
1981	0.00	0.00	33.50	192.00	388.30	352.60	234.50	325.80	347.90	531.60	354.10	110.80	2871.10
1982	83.00	0.00	0.00	164.10	427.60	300.60	272.50	96.00	360.10	368.30	64.00	0.00	2136.20
1983	0.00	16.50	39.50	2.50	219.00	399.60	275.30	139.50	396.60	583.20	323.60	180.50	2575.80
1984	0.00	24.50	2.00	53.50	295.30	366.90	287.80	475.90	257.80	512.90	474.60	14.50	2765.70
1985	0.00	0.00	0.00	28.50	216.60	367.10	171.50	343.10	248.50	460.40	98.50	101.50	2035.70
1986	0.00	0.00	0.00	3.50	427.50	180.50	124.00	313.10	267.00	617.20	135.50	27.00	2095.30
1987	0.00	0.00	55.80	40.00	208.00	347.10	291.80	320.30	142.00	341.30	214.10	80.50	2040.90
1988	0.00	0.00	0.00	67.00	369.00	357.10	247.80	386.90	512.20	543.90	380.60	69.50	2934.00
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	202.30	334.30	301.60	480.40	549.20	449.40	350.00	151.30	2818.50
1990	0.00	0.00	0.00	113.30	366.60	272.50	341.90	316.80	396.50	596.40	341.50	161.50	2907.00
1991	13.00	0.00	69.30	25.50	267.80	345.10	406.90	213.00	339.10	366.30	111.00	98.30	2255.30
1992	0.00	0.00	0.00	43.00	107.00	335.00	270.00	273.00	536.70	459.10	153.00	54.00	2230.80
1993	71.50	0.00	4.00	57.50	215.00	583.80	171.50	266.00	480.40	448.10	266.80	79.50	2644.10
1994	1.50	0.00	0.00	41.00	321.30	391.80	309.00	402.80	435.60	326.50	426.40	5.50	2661.40
1995	0.00	0.00	83.30	148.00	220.30	262.80	187.00	246.50	458.80	600.70	286.50	129.00	2622.90
1996	95.50	11.50	16.00	109.30	320.50	277.90	289.10	281.80	465.40	143.00	337.40	115.00	2462.40
1997	15.50	7.50	0.00	118.30	283.10	251.00	119.00	189.30	270.50	317.50	492.30	3.00	2067.00
1998	0.00	63.80	1.50	43.50	210.10	255.50	421.80	301.80	333.30	253.50	372.30	236.80	2493.90
1999	40.00	75.80	1.00	50.50	300.30	273.10	164.80	490.00	268.80	397.30	299.30	196.80	2557.70
2000	39.00	0.00	0.00	24.00	183.80	266.80	118.00	268.10	286.80	268.00	134.50	46.44	1635.44
2001	13.00	0.00	0.00	2.50	246.10	326.10	215.80	226.00	203.20	402.70	290.62	191.84	2117.86
2002	9.90	0.00	0.00	54.70	119.70	103.10	283.00	387.70	216.80	402.70	256.40	0.10	1834.10
2003	0.00	0.00	69.40	54.70	265.80	308.50	395.30	365.20	301.90	393.90	436.00	119.50	2710.20
2004	0.00	0.00	0.00	98.60	326.10	253.70	288.20	369.10	451.20	368.60	268.30	20.90	2444.70
2005	29.30	0.00	69.00	25.10	314.80	378.50	238.00	413.30	397.40	204.90	420.10	44.50	2534.90
2006	55.70	4.80	0.00	32.50	177.80	263.80	443.80	275.80	318.30	354.10	234.60	196.20	2357.40
2007	0.00	0.00	0.00	160.80	233.60	294.80	259.90	348.90	565.70	342.90	224.10	145.30	2576.00
2008	0.20	24.80	27.70	91.80	188.90	191.80	410.20	421.50	386.30	459.30	348.90	14.90	2566.30
2009	20.50	0.00	3.00	2.40	364.80	176.50	274.70	276.10	258.00	430.40	319.80	65.00	2191.20
2010	0.00	25.60	1.00	32.20	195.30	301.20	338.60	308.60	199.30	411.10	368.50	89.70	2271.10
Prom.	14.22	7.43	15.01	63.25	264.00	311.32	266.46	329.15	354.80	411.89	295.07	87.38	2419.98
Max.	95.50	75.80	83.30	259.50	427.60	583.80	443.80	499.90	565.70	617.20	588.50	236.80	2999.30
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	107.00	103.10	118.00	96.00	142.00	143.00	64.00	0.00	1635.44
Desv.	24.86	17.10	25.65	61.99	88.39	87.19	85.64	96.85	109.08	112.85	121.99	67.14	336.28
C.V.	1.75	2.30	1.71	0.98	0.33	0.28	0.32	0.29	0.31	0.27	0.41	0.77	0.14
C.A.	2.10	2.97	1.57	1.31	0.15	0.52	0.18	-0.15	0.17	-0.08	0.16	0.46	-0.30
C.S.	6.82	12.09	4.16	4.70	2.49	5.37	2.82	3.03	2.37	3.05	2.87	2.33	2.73

Valores Rellenados

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO IV. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN TONOSÍ 2 (124 – 004), PERÍODO 1974 – 2010.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1974	1.20	2.90	0.00	0.00	105.00	249.50	136.50	365.00	124.20	352.40	195.60	23.40	1555.70
1975	0.00	0.00	0.00	0.00	223.20	279.50	155.20	210.40	107.00	331.20	290.30	104.10	1700.90
1976	0.00	0.00	0.00	13.00	89.50	257.96	109.21	119.10	329.29	237.40	227.90	32.00	1415.36
1977	0.00	0.00	0.00	0.50	126.50	171.10	227.10	129.30	360.30	313.50	252.20	22.50	1603.00
1978	0.00	0.00	3.70	106.60	209.50	194.53	151.59	186.33	171.00	274.70	200.70	62.80	1561.45
1979	0.00	0.00	0.00	78.00	215.30	189.50	158.80	298.30	217.20	277.60	267.60	246.40	1948.70
1980	5.20	0.00	0.00	0.50	327.80	241.80	106.70	184.57	231.87	243.90	277.10	43.90	1663.34
1981	0.00	1.80	10.10	145.00	254.30	237.50	259.40	194.82	99.20	304.70	236.00	165.15	1907.97
1982	79.60	14.30	0.00	24.00	218.80	273.20	155.40	71.20	262.50	223.30	69.10	8.60	1400.00
1983	0.00	0.00	2.80	15.90	148.50	169.20	137.80	82.80	247.60	236.90	133.90	131.50	1306.90
1984	0.20	44.60	0.00	22.70	132.40	260.40	130.40	304.70	180.60	403.80	305.30	9.20	1794.30
1985	0.00	0.00	0.00	29.90	141.00	213.70	125.10	177.70	84.80	274.60	63.90	77.70	1188.40
1986	0.00	0.00	0.00	9.90	48.80	103.30	116.40	182.30	288.60	739.90	176.10	69.10	1734.40
1987	1.30	0.00	7.20	111.50	167.10	268.20	249.60	150.60	126.20	204.10	219.60	43.60	1549.00
1988	0.00	0.00	0.00	35.10	168.00	212.80	155.60	183.60	333.80	418.40	258.40	79.70	1845.40
1989	0.40	0.00	0.00	0.00	122.20	195.40	218.30	279.00	255.20	462.70	231.50	256.50	2021.20
1990	3.40	0.00	0.00	81.50	103.50	183.70	183.80	252.10	262.10	350.20	124.80	139.80	1684.90
1991	12.50	0.00	0.20	16.40	106.10	168.90	230.50	119.20	186.40	177.80	120.60	70.40	1209.00
1992	0.00	0.20	0.00	13.50	67.30	203.80	256.20	193.90	381.40	257.90	144.70	45.10	1564.00
1993	8.40	0.00	4.20	108.60	118.37	124.80	229.50	165.40	267.87	209.53	284.10	136.60	1657.37
1994	0.00	0.00	0.00	55.20	308.40	241.70	169.40	235.59	350.99	171.70	302.03	5.70	1840.71
1995	0.00	0.00	0.00	101.30	172.80	184.20	161.30	144.70	135.10	625.80	198.60	124.40	1848.20
1996	64.50	0.00	0.00	28.60	198.28	191.50	183.10	153.40	200.90	207.80	256.09	107.20	1591.37
1997	7.30	3.50	0.00	27.30	117.50	231.10	144.50	141.80	264.40	284.90	285.70	26.90	1534.90
1998	0.00	13.70	0.00	14.10	182.90	240.29	208.80	286.89	205.40	211.69	284.11	186.00	1833.88
1999	12.30	38.00	0.00	8.00	193.00	78.70	124.90	168.70	176.80	297.70	250.10	170.28	1518.48
2000	48.80	0.00	0.00	1.10	117.30	212.80	132.80	169.20	191.96	104.80	165.50	34.60	1178.86
2001	17.40	0.00	0.00	0.00	136.40	117.40	149.60	190.70	226.40	182.20	225.70	128.30	1374.10
2002	3.90	0.00	0.00	87.80	86.10	66.00	141.60	261.90	124.40	219.20	217.20	1.20	1209.30
2003	0.00	0.00	5.50	2.90	252.30	116.50	143.90	384.60	142.90	240.40	283.90	101.10	1674.00
2004	0.50	0.00	0.00	46.40	180.70	205.00	263.30	209.10	158.30	245.60	147.60	38.80	1495.30
2005	19.70	0.00	18.10	20.00	260.60	216.80	152.80	309.60	126.90	213.00	189.50	114.30	1641.30
2006	0.00	13.00	0.00	85.90	193.20	322.80	180.30	200.80	99.40	117.73	306.90	80.40	1600.43
2007	0.00	0.00	0.00	151.90	203.50	169.20	144.60	309.30	134.80	379.90	396.00	219.90	2109.10
2008	2.10	0.00	29.00	5.00	227.80	187.40	254.20	248.50	188.10	372.40	509.60	46.00	2070.10
2009	0.00	0.00	0.00	0.30	196.50	106.00	166.30	279.00	135.10	273.00	287.40	65.20	1508.80
2010	0.00	27.60	0.00	15.90	160.50	167.50	120.40	293.10	215.80	312.10	324.40	133.80	1771.10
Prom.	7.80	4.31	2.18	39.58	169.76	196.05	171.21	211.82	205.26	290.66	235.40	90.60	1624.63
Max.	79.60	44.60	29.00	151.90	327.80	322.80	263.30	384.60	381.40	739.90	509.60	256.50	2109.10
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	48.80	66.00	106.70	71.20	84.80	104.80	63.90	1.20	1178.86
Desv.	18.11	10.66	5.81	44.63	64.57	58.83	46.89	75.28	80.14	124.53	86.12	67.38	241.75
C.V.	2.32	2.47	2.67	1.13	0.38	0.30	0.27	0.36	0.39	0.43	0.37	0.74	0.15
C.A.	3.03	2.82	3.55	1.13	0.41	-0.33	0.73	0.37	0.53	1.80	0.53	0.82	-0.04
C.S.	11.84	10.52	16.46	3.29	3.12	3.06	2.50	2.81	2.65	7.66	5.07	3.27	2.82

Valores Rellenados

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO V. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005), PERÍODO 1974 – 2010.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1974	12.11	0.00	0.00	0.00	201.70	265.30	126.90	474.70	245.30	534.60	177.80	5.00	2043.41
1975	25.40	0.00	0.00	0.00	322.80	176.80	295.50	343.20	259.71	426.90	712.60	75.70	2638.61
1976	0.00	0.00	0.00	111.20	122.80	222.50	150.20	220.20	180.20	324.50	216.50	16.00	1564.10
1977	0.00	0.00	0.00	0.00	250.10	272.30	119.30	274.70	528.20	222.10	150.60	74.60	1891.90
1978	5.00	0.00	78.10	126.10	287.20	185.30	249.40	377.00	308.30	327.10	172.30	83.00	2198.80
1979	0.00	0.00	17.00	192.40	192.30	254.80	121.00	236.60	357.30	237.90	498.80	133.00	2241.10
1980	30.00	0.00	9.00	0.00	342.30	289.00	271.40	215.00	331.00	236.00	178.10	71.40	1973.20
1981	12.00	0.00	20.00	213.20	308.40	422.10	174.20	347.70	192.60	442.90	349.20	255.30	2737.60
1982	65.00	0.00	0.00	60.00	411.10	338.10	178.60	87.00	334.80	316.40	95.10	0.00	1886.10
1983	0.00	0.00	6.00	71.80	332.80	154.70	247.60	158.50	332.10	380.70	274.00	132.20	2090.40
1984	0.00	40.90	41.10	39.90	278.70	344.20	248.40	391.00	431.70	595.00	361.40	0.00	2772.30
1985	0.00	0.00	0.00	52.90	358.90	326.00	184.80	194.90	274.60	412.20	168.10	68.90	2041.30
1986	0.00	0.00	0.00	53.70	300.80	91.10	235.60	238.70	197.20	697.73	118.50	17.30	1950.63
1987	0.00	0.00	0.00	61.90	177.00	197.60	219.60	346.70	189.90	461.70	154.00	19.20	1827.60
1988	0.00	0.00	0.00	0.00	205.50	264.50	292.44	467.03	393.75	380.88	236.80	6.10	2247.00
1989	0.00	0.00	0.00	26.00	222.30	272.90	275.11	380.74	419.60	349.55	308.98	167.38	2422.56
1990	0.22	0.00	0.00	37.10	236.30	312.70	301.30	361.70	308.40	651.80	302.20	165.30	2677.02
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	253.60	171.20	291.80	322.80	388.30	237.60	74.30	82.70	1822.30
1992	0.00	0.00	0.00	99.60	190.60	270.60	334.84	223.80	418.30	363.40	188.00	141.80	2230.94
1993	0.00	0.00	0.00	132.10	263.10	400.70	214.50	286.70	304.30	224.10	290.70	40.20	2156.40
1994	0.00	0.00	0.00	0.00	368.60	464.10	316.70	371.90	665.70	532.30	448.00	33.20	3200.50
1995	0.00	0.00	87.00	117.20	249.10	632.50	616.10	333.50	317.20	701.60	296.20	144.50	3494.90
1996	67.40	0.00	0.00	48.40	155.20	110.90	193.20	235.30	303.10	290.80	283.80	195.30	1883.40
1997	3.90	15.40	0.00	38.60	105.50	224.50	212.30	198.50	268.50	380.85	256.00	3.00	1707.05
1998	0.00	42.70	0.00	45.20	137.20	166.90	316.80	346.90	345.00	333.47	251.83	389.10	2375.10
1999	94.90	23.30	37.50	238.10	113.40	206.30	564.80	485.20	326.20	349.00	400.80	87.00	2926.50
2000	0.00	0.00	0.00	11.81	167.08	272.45	147.72	242.37	266.99	197.01	178.31	45.71	1529.45
2001	22.26	0.00	0.00	13.45	217.95	285.11	192.51	201.08	181.94	349.42	255.33	172.40	1891.45
2002	19.66	0.00	0.00	57.27	111.84	97.90	248.93	336.82	193.35	349.42	226.60	11.43	1653.22
2003	0.00	0.00	69.61	57.27	234.49	270.34	343.21	317.94	264.80	342.03	377.37	111.67	2388.73
2004	0.00	0.00	0.00	94.13	285.11	224.33	253.29	321.21	390.13	320.79	236.59	28.90	2154.48
2005	35.95	0.00	69.28	32.42	275.63	329.10	211.15	358.32	344.97	183.36	364.02	48.71	2252.91
2006	58.11	15.38	0.00	38.63	160.61	232.81	383.92	242.88	278.56	308.62	208.30	176.06	2103.88
2007	0.00	0.00	0.00	146.34	207.46	258.84	229.54	304.25	486.26	299.22	199.48	133.33	2264.72
2008	11.52	32.17	34.60	88.42	169.93	172.37	355.71	365.20	335.65	396.93	304.25	23.86	2290.61
2009	28.56	0.00	13.87	13.37	317.60	159.52	241.96	243.14	227.94	372.67	279.82	65.92	1964.37
2010	0.00	32.84	12.19	38.38	175.31	264.21	295.61	270.42	178.66	356.47	320.71	86.65	2031.45
Prom.	11.70	4.53	10.95	65.82	242.75	270.74	255.56	302.31	329.19	392.89	264.55	90.85	2241.86
Max.	94.90	42.70	87.00	238.10	411.10	632.50	616.10	485.20	665.70	701.60	712.60	389.10	3494.90
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	105.50	91.10	119.30	87.00	180.20	197.01	74.30	0.00	1529.45
Desv.	24.77	11.96	23.48	67.79	83.50	115.28	115.89	98.97	105.72	145.06	137.39	90.22	485.52
C.V.	2.12	2.64	2.14	1.03	0.34	0.43	0.45	0.33	0.32	0.37	0.52	0.99	0.22
C.A.	2.08	2.14	1.95	1.26	0.22	1.29	1.65	0.02	1.11	1.06	1.46	1.54	1.07
C.S.	6.05	8.22	8.33	2.81	1.97	4.13	4.94	2.04	4.70	2.30	4.35	4.55	2.62

Valores Extendidos

Valores Rellenados

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO VI. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006), PERÍODO 1974 – 2010.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1974	10.83	0.00	0.00	0.00	149.00	265.20	224.30	453.10	342.60	449.00	178.70	15.40	2088.13
1975	4.70	2.00	0.00	0.00	250.20	258.70	402.30	294.20	318.70	482.70	421.90	121.70	2557.10
1976	0.40	0.00	0.00	89.70	117.90	169.80	143.80	223.50	209.30	254.80	345.10	25.00	1579.30
1977	0.00	0.00	0.00	0.00	216.60	504.90	57.10	206.10	509.90	311.50	264.80	5.30	2076.20
1978	0.00	0.00	36.70	84.70	156.30	214.40	178.50	315.90	659.90	469.80	264.90	16.40	2397.50
1979	0.00	0.00	0.50	141.20	412.50	221.30	313.20	410.50	423.80	359.60	204.70	54.10	2541.40
1980	0.40	28.10	21.20	5.40	297.30	295.34	219.09	198.30	316.72	265.03	242.08	196.90	2085.86
1981	0.00	0.00	22.50	247.10	370.90	402.20	229.80	183.10	151.40	349.00	336.20	115.70	2407.90
1982	81.90	62.90	0.00	101.40	371.80	229.80	207.50	112.60	268.50	314.00	109.90	0.10	1860.40
1983	0.00	1.20	39.00	20.10	226.80	197.90	199.30	157.10	296.40	224.50	292.90	143.00	1798.20
1984	9.10	10.60	30.50	57.70	333.60	195.00	276.00	381.10	428.10	362.00	436.60	6.50	2526.80
1985	4.70	0.00	0.00	41.40	260.70	353.80	191.60	283.10	207.80	485.20	181.90	88.50	2098.70
1986	0.00	0.60	0.00	17.40	317.40	188.00	90.50	255.30	171.30	823.30	177.80	14.20	2055.80
1987	0.00	0.00	55.70	37.90	130.90	215.20	148.10	176.90	145.90	501.10	140.20	121.00	1672.90
1988	0.00	0.00	0.00	14.20	366.30	404.70	198.60	347.80	441.90	396.50	336.80	58.00	2564.80
1989	0.00	0.00	0.00	0.60	120.30	247.10	205.50	295.40	309.70	264.50	271.70	177.90	1892.70
1990	0.40	0.00	45.20	89.80	350.10	266.20	292.90	366.30	271.70	491.10	236.00	105.70	2515.40
1991	3.83	0.00	12.83	122.55	532.34	450.77	175.60	100.53	170.23	314.62	116.23	65.49	2065.02
1992	0.00	0.00	0.00	55.53	101.87	357.70	395.24	430.28	739.53	558.19	229.41	60.13	2927.88
1993	33.70	0.96	36.77	151.47	435.07	216.38	124.28	268.85	209.87	265.02	247.60	19.15	2009.12
1994	0.19	0.00	1.53	35.23	177.32	251.43	258.13	245.68	368.81	239.17	186.51	2.87	1766.87
1995	0.00	0.00	2.00	55.40	180.00	107.90	290.20	357.00	386.00	583.60	382.20	73.20	2417.50
1996	88.60	13.60	13.20	120.50	380.30	301.00	265.30	261.00	367.00	247.40	278.40	127.60	2463.90
1997	3.50	13.00	0.00	25.60	96.30	267.60	97.50	187.90	100.90	349.30	322.70	22.00	1486.30
1998	0.00	64.50	7.80	148.10	172.50	203.40	238.90	185.70	316.80	308.80	340.08	268.90	2255.48
1999	44.96	73.02	14.39	53.19	248.98	227.66	142.78	397.67	224.29	325.01	248.20	167.86	2168.01
2000	44.18	0.00	0.00	32.42	157.67	222.73	106.10	223.75	238.40	223.67	119.03	50.01	1417.96
2001	23.80	0.00	0.00	15.57	206.50	269.21	182.75	190.75	172.88	329.24	241.40	163.97	1796.07
2002	21.37	0.00	0.00	56.48	107.43	94.42	235.42	317.49	183.54	329.24	214.57	13.69	1573.65
2003	0.00	0.00	68.00	56.48	221.94	255.41	323.44	299.85	250.24	322.35	355.35	107.27	2260.33
2004	0.00	0.00	0.00	90.89	269.21	212.46	239.50	302.91	367.26	302.52	223.90	29.99	2038.64
2005	36.57	0.00	67.69	33.28	260.35	310.28	200.15	337.55	325.09	174.21	342.88	48.49	2136.54
2006	57.27	17.37	0.00	39.08	152.97	220.38	361.46	229.78	263.09	291.15	197.49	167.39	1997.43
2007	0.00	0.00	0.00	139.64	196.70	244.67	217.32	287.08	457.00	282.37	189.26	127.49	2141.53
2008	13.77	33.05	35.32	85.56	161.67	163.94	335.12	343.98	316.39	373.61	287.08	25.29	2174.78
2009	29.68	0.00	15.96	15.49	299.54	151.95	228.92	230.02	215.83	350.96	264.27	64.56	1867.18
2010	0.00	33.67	14.39	38.85	166.68	249.69	279.00	255.49	169.82	335.83	302.44	83.92	1929.78
Prom.	9.69	7.90	13.02	66.52	260.97	271.43	216.93	267.89	325.31	386.79	261.81	76.19	2164.45
Max.	88.60	64.50	55.70	247.10	532.34	504.90	402.30	453.10	739.53	823.30	436.60	268.90	2927.88
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	96.30	107.90	57.10	100.53	100.90	224.50	109.90	0.10	1486.30
Desv.	23.82	18.05	17.58	62.52	121.12	93.99	85.14	97.08	153.79	139.70	89.12	70.12	361.81
C.V.	2.46	2.28	1.35	0.94	0.46	0.35	0.39	0.36	0.47	0.36	0.34	0.92	0.17
C.A.	1.95	2.27	1.36	1.28	0.70	0.97	0.22	0.12	1.27	1.67	0.18	0.84	0.09
C.S.	7.47	11.59	8.18	2.87	1.71	2.89	2.77	1.73	2.97	3.77	1.99	2.84	2.55

Valores Extendidos

Valores Rellenados

Valores Corregido con CDA

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO VII. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN MACARACAS (128 – 004), PERÍODO 1974 – 2010.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1974	0.00	0.00	0.00	0.50	94.00	173.00	114.50	241.00	219.50	526.50	121.50	13.00	1503.50
1975	0.00	0.50	0.00	0.00	136.00	215.00	217.50	184.00	390.50	293.50	288.00	95.00	1820.00
1976	0.00	0.00	0.00	41.00	45.00	289.50	61.00	57.50	152.50	171.50	112.00	1.00	931.00
1977	0.00	0.00	0.00	0.00	175.00	318.50	116.50	225.00	366.50	242.50	132.00	0.00	1576.00
1978	4.00	0.00	93.50	101.50	339.00	140.00	85.50	142.50	222.50	369.45	107.50	34.00	1639.45
1979	0.00	0.00	59.50	178.00	184.00	102.30	205.00	290.55	289.00	251.16	308.10	137.00	2004.61
1980	0.00	2.50	0.00	0.00	177.50	179.50	140.50	232.80	255.00	224.50	289.10	50.10	1551.50
1981	0.00	0.00	3.00	249.60	354.10	340.30	270.70	206.50	212.50	300.10	270.30	83.00	2290.10
1982	97.00	11.00	0.00	52.50	477.40	156.30	77.50	42.00	267.00	306.70	93.80	0.00	1581.20
1983	0.00	0.00	12.50	0.50	152.10	205.80	125.50	88.50	192.00	200.00	321.20	18.50	1316.60
1984	5.50	0.00	0.00	1.00	273.60	247.10	164.00	162.00	302.00	198.50	294.80	1.50	1650.00
1985	0.00	0.00	0.00	56.50	93.50	353.90	113.00	227.80	144.50	313.00	84.00	71.50	1457.70
1986	0.00	0.00	0.00	19.50	276.30	163.00	58.00	174.00	189.50	543.70	74.50	13.50	1512.00
1987	0.00	3.00	1.00	31.00	278.20	79.00	142.00	205.80	188.40	336.80	71.00	25.50	1361.70
1988	0.50	0.00	1.50	0.50	193.50	346.10	208.00	413.80	352.00	319.80	364.40	36.50	2236.60
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	128.80	261.60	139.80	242.50	328.30	112.00	170.00	167.80	1550.80
1990	0.00	0.00	0.00	26.50	214.70	242.60	230.40	269.60	164.50	384.60	214.50	110.50	1857.90
1991	1.50	0.00	71.00	19.00	154.30	146.00	168.00	115.50	196.60	198.00	45.00	34.00	1148.90
1992	0.00	0.00	0.00	31.50	102.00	220.30	201.30	113.50	355.90	137.50	63.50	26.00	1251.50
1993	51.00	0.00	0.50	143.80	364.60	160.50	94.00	160.00	339.40	214.40	156.30	74.80	1759.30
1994	0.00	0.00	1.00	33.50	300.10	145.60	145.50	98.50	356.90	439.30	343.80	4.30	1868.50
1995	0.00	0.00	1.50	103.00	215.50	241.60	178.50	407.50	271.50	326.60	145.50	16.90	1908.10
1996	1.50	1.50	0.00	42.50	264.50	302.50	187.50	270.50	208.50	89.50	231.00	105.90	1705.40
1997	0.70	0.00	0.00	143.10	43.50	188.50	135.00	56.00	200.90	215.90	300.00	5.50	1289.10
1998	0.00	15.50	0.00	4.50	95.80	155.40	119.10	231.60	207.80	277.10	394.70	182.70	1684.20
1999	29.70	77.20	1.80	72.40	214.30	251.40	158.70	320.10	267.40	583.20	233.40	191.40	2401.00
2000	18.60	0.00	0.00	0.30	201.80	239.10	230.80	163.40	189.50	140.10	115.50	81.70	1380.80
2001	0.70	0.00	0.00	0.00	280.80	212.20	218.40	76.70	204.20	305.70	222.10	182.50	1703.30
2002	0.70	0.00	0.00	29.60	78.40	58.00	145.50	191.10	181.00	224.10	181.10	0.00	1089.50
2003	0.00	0.00	20.40	46.50	252.10	377.80	176.60	107.40	166.70	274.10	358.70	32.40	1812.70
2004	0.00	3.00	0.00	64.70	198.90	92.90	211.40	143.90	403.40	296.10	281.70	32.10	1728.10
2005	15.70	0.00	3.80	87.90	243.90	321.50	140.30	173.50	287.40	169.30	248.00	69.90	1761.20
2006	1.80	0.50	0.00	40.40	79.80	174.10	184.80	187.80	144.00	184.00	217.20	80.20	1294.60
2007	0.00	0.00	0.00	117.20	328.90	227.60	154.90	325.60	229.90	345.30	280.20	176.00	2185.60
2008	1.50	33.30	0.00	0.60	219.90	119.90	447.50	223.40	380.30	243.10	233.30	42.20	1945.00
2009	3.70	0.00	0.80	0.00	162.50	165.70	134.50	174.50	168.70	369.60	207.00	25.60	1412.60
2010	0.00	73.60	3.50	127.50	259.00	386.80	452.50	504.40	323.00	329.90	302.80	37.30	2800.30
Prom.	6.33	5.99	7.44	50.45	206.85	216.24	171.74	201.37	251.87	282.62	212.91	61.08	1674.87
Max.	97.00	77.20	93.50	249.60	477.40	386.80	452.50	504.40	403.40	583.20	394.70	191.40	2800.30
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	43.50	58.00	58.00	42.00	144.00	89.50	45.00	0.00	931.00
Desv.	18.31	17.91	21.01	59.55	98.10	85.92	83.66	102.42	78.04	113.90	97.32	59.08	383.56
C.V.	2.89	2.99	2.82	1.18	0.47	0.40	0.49	0.51	0.31	0.40	0.46	0.97	0.23
C.A.	4.03	3.50	3.25	1.52	0.44	0.29	1.96	0.93	0.46	0.83	-0.06	1.02	0.70
C.C.	20.45	14.66	12.90	5.44	3.38	2.55	8.27	4.38	2.11	3.97	2.10	3.11	4.19

Valores Rellenados

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

**ANEXO VIII. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN
LA MESA DE MACARACAS (128 – 005), PERÍODO
1974 – 2010.**

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1974	1.90	0.00	0.00	12.80	139.00	229.84	124.80	185.90	249.40	577.40	158.80	2.50	1682.34
1975	2.40	0.00	0.00	0.00	167.20	216.85	307.30	287.70	268.50	487.50	313.40	101.10	2151.95
1976	0.00	0.00	0.00	58.60	141.10	137.20	82.20	123.90	122.70	182.20	202.90	12.70	1063.50
1977	0.00	0.00	0.00	0.00	247.20	284.10	72.10	468.88	383.50	309.80	108.60	0.00	1874.18
1978	5.90	0.00	16.10	168.60	261.90	137.50	95.60	124.20	216.01	291.40	154.30	36.90	1508.41
1979	0.00	0.00	45.70	254.10	278.60	110.70	177.60	333.80	206.10	278.55	245.70	118.50	2049.35
1980	1.10	10.90	0.00	6.00	346.20	222.10	128.90	268.00	280.90	303.60	229.20	93.10	1890.00
1981	32.40	0.00	3.40	245.60	282.60	377.40	119.60	148.60	237.50	479.20	241.90	115.40	2283.60
1982	113.00	14.10	0.00	136.60	391.90	294.50	163.20	54.90	334.20	272.50	80.90	0.00	1855.80
1983	0.00	0.00	20.50	36.00	151.70	207.50	124.00	104.00	236.50	264.20	259.70	88.50	1492.60
1984	5.60	2.40	35.00	27.70	318.40	270.20	219.90	225.90	332.10	286.00	575.80	5.70	2304.70
1985	0.00	0.00	0.00	55.30	131.90	176.30	180.40	261.70	189.00	388.70	88.50	49.80	1521.60
1986	0.00	0.00	0.00	8.40	298.50	99.50	69.20	140.90	210.40	777.90	44.40	15.70	1664.90
1987	0.00	0.00	7.50	46.10	198.90	109.40	116.60	248.20	140.60	320.30	81.20	77.30	1346.10
1988	0.00	0.00	11.10	42.60	232.30	412.10	161.60	324.60	300.20	409.50	282.10	45.00	2221.10
1989	0.50	0.00	0.00	0.60	109.80	230.10	151.00	278.70	323.50	246.00	186.40	168.40	1695.00
1990	2.10	0.00	0.00	104.00	290.80	199.20	196.40	266.50	195.00	289.90	207.60	112.80	1864.30
1991	0.00	0.00	31.00	15.60	152.40	155.00	161.60	142.30	267.00	265.20	101.90	20.90	1312.90
1992	0.00	0.00	0.00	29.60	207.60	290.50	286.40	179.80	395.20	382.20	167.60	37.40	1976.30
1993	70.40	0.00	7.90	223.40	152.00	291.00	85.00	226.70	320.20	102.10	110.00	53.30	1642.00
1994	0.00	0.00	0.00	43.90	243.40	261.90	138.20	114.60	480.00	403.20	372.10	0.00	2057.30
1995	0.00	0.00	2.10	161.30	181.60	212.60	245.70	387.70	226.80	430.30	170.80	50.90	2069.80
1996	39.40	0.20	0.00	38.20	333.60	299.10	199.80	191.50	320.70	260.30	243.90	111.40	2038.10
1997	1.00	0.00	0.00	58.30	66.30	226.30	145.50	126.80	263.20	329.60	289.10	0.00	1506.10
1998	0.00	22.20	0.00	22.50	165.70	177.30	362.80	324.10	257.00	277.50	442.10	262.30	2313.50
1999	47.50	93.98	20.20	89.28	228.13	264.43	173.73	331.66	280.09	589.10	246.82	205.72	2570.64
2000	36.64	0.00	0.00	18.73	215.90	252.40	244.28	178.33	203.86	155.53	131.46	98.38	1535.51
2001	19.12	0.00	0.00	0.00	293.20	226.08	232.14	93.49	218.25	317.57	235.76	197.01	1832.62
2002	19.12	0.00	0.00	47.40	95.15	75.19	160.81	205.43	195.55	237.72	195.65	0.00	1232.02
2003	0.00	0.00	38.40	63.94	265.12	388.12	191.24	123.53	181.55	286.65	369.43	50.14	1958.12
2004	0.00	21.37	0.00	81.75	213.06	109.34	225.29	159.24	413.17	308.17	294.08	49.85	1875.32
2005	33.80	0.00	22.16	104.45	257.09	333.03	155.72	188.21	299.66	184.10	261.11	86.84	1926.17
2006	20.20	18.93	0.00	57.97	96.52	188.80	199.27	202.20	159.34	198.48	230.97	96.91	1469.59
2007	0.00	0.00	0.00	133.12	340.27	241.15	170.01	337.04	243.40	356.31	292.61	190.65	2304.56
2008	19.91	51.02	0.00	19.03	233.61	135.76	456.32	237.04	390.56	256.31	246.72	59.73	2106.01
2009	22.06	0.00	19.22	0.00	177.44	180.58	150.05	189.19	183.51	380.09	220.99	43.49	1566.62
2010	0.00	90.46	21.86	143.20	271.87	396.92	461.21	511.99	334.49	341.25	314.73	54.94	2942.92
Prom.	13.35	8.80	8.17	69.05	221.03	227.57	187.45	224.25	266.48	330.44	227.01	73.33	1856.91
Max.	113.00	93.98	45.70	254.10	391.90	412.10	461.21	511.99	480.00	777.90	575.80	262.30	2942.92
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	66.30	75.19	69.20	54.90	122.70	102.10	44.40	0.00	1063.50
Desv.	23.91	22.60	12.87	70.26	79.34	86.55	91.76	103.29	80.98	129.30	106.97	65.52	390.61
C.V.	1.79	2.57	1.58	1.02	0.36	0.38	0.49	0.46	0.30	0.39	0.47	0.89	0.21
C.A.	2.60	3.11	1.52	1.30	0.04	0.35	1.54	0.88	0.58	1.39	0.92	1.08	0.38
C.C.	10.98	12.31	4.48	4.12	2.53	2.85	5.82	3.89	3.26	6.26	5.16	4.04	3.64

Valores Extendidos

Valores Rellenados

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO IX. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN LLANO DE PIEDRA (128 – 011), PERÍODO 1974 – 2010.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1974	0.00	0.00	0.00	23.50	196.00	325.90	146.20	249.10	237.70	569.90	110.20	20.10	1878.60
1975	11.10	4.00	0.00	0.00	168.10	225.30	320.70	282.50	428.50	294.30	279.60	56.60	2070.70
1976	0.60	0.00	0.00	40.30	134.90	148.60	80.60	87.90	152.30	196.40	137.30	27.60	1006.50
1977	0.00	0.00	0.00	0.00	236.10	332.70	107.30	274.20	279.60	256.70	87.00	0.30	1573.90
1978	0.90	0.00	72.10	163.30	360.60	167.40	104.20	108.00	281.40	440.70	197.90	77.30	1973.80
1979	0.00	0.00	42.60	200.70	236.90	164.70	259.90	386.70	267.00	311.70	218.90	107.30	2196.40
1980	3.30	5.10	0.00	0.00	243.00	229.20	202.70	192.90	245.90	216.20	260.10	98.70	1697.10
1981	0.00	0.00	14.50	167.50	265.90	466.60	181.60	209.50	236.70	346.80	193.70	158.40	2241.20
1982	113.50	13.00	0.00	82.80	330.10	162.50	89.80	51.10	266.40	268.00	74.10	0.00	1451.30
1983	0.00	0.00	1.00	14.90	231.20	225.80	120.30	65.80	318.70	262.80	289.50	70.80	1600.80
1984	4.40	8.20	10.90	6.90	303.70	223.60	258.40	230.90	308.90	226.70	386.20	20.80	1989.60
1985	1.00	0.00	0.00	61.00	103.10	294.00	108.40	226.90	181.10	412.40	126.10	76.90	1590.90
1986	0.00	0.00	0.00	0.90	194.80	192.10	75.60	154.10	256.50	563.40	109.60	26.30	1573.30
1987	0.00	0.00	2.10	65.70	214.50	180.70	150.40	219.50	116.30	245.40	55.30	51.80	1301.70
1988	0.00	0.00	38.00	4.00	197.60	470.90	196.70	450.30	380.00	330.00	338.20	51.90	2457.60
1989	10.90	0.00	0.00	0.00	133.00	260.40	236.50	399.30	378.50	190.20	172.40	130.10	1911.30
1990	0.40	0.00	0.00	38.10	321.10	247.80	303.10	284.10	218.00	371.40	148.60	115.70	2048.30
1991	20.70	0.00	87.20	20.60	175.20	177.80	134.40	159.40	352.60	349.80	63.60	31.10	1572.40
1992	0.00	0.00	0.00	5.90	194.40	226.50	246.50	152.60	420.00	180.30	111.80	53.20	1591.20
1993	64.30	0.00	0.00	111.40	187.40	350.60	110.50	229.20	258.40	135.50	151.50	67.70	1666.50
1994	0.00	0.00	0.00	53.20	230.60	203.00	153.00	82.20	257.90	280.40	322.50	3.00	1585.80
1995	0.00	0.00	0.00	91.30	224.00	235.80	172.90	572.50	316.60	482.40	138.60	44.80	2278.90
1996	3.00	0.50	0.00	14.10	326.10	269.60	155.00	136.50	214.00	140.10	256.50	153.40	1668.80
1997	0.00	0.60	0.00	67.10	87.20	230.80	131.70	49.50	186.30	244.00	270.20	78.20	1345.60
1998	0.00	24.10	0.00	17.00	139.00	164.40	149.50	187.70	197.50	217.60	271.40	229.00	1597.20
1999	22.30	30.90	0.50	68.40	143.60	277.80	191.60	400.10	397.70	497.00	252.00	226.60	2508.50
2000	11.22	0.00	0.00	0.33	221.51	262.45	253.34	179.36	208.00	153.78	126.78	89.68	1506.45
2001	16.04	0.00	0.00	0.00	287.71	221.17	227.19	89.75	213.41	311.86	230.77	192.37	1790.27
2002	16.04	0.00	0.00	44.07	91.40	71.61	156.48	200.71	190.91	232.71	191.01	0.00	1194.94
2003	0.00	0.00	35.15	60.46	259.87	381.79	186.64	119.53	177.04	281.21	363.26	46.78	1911.73
2004	0.00	18.27	0.00	78.11	208.27	105.46	220.40	154.93	406.62	302.55	288.58	46.49	1829.68
2005	30.59	0.00	19.04	100.61	251.92	327.18	151.44	183.64	294.11	179.56	255.89	83.16	1877.14
2006	17.11	15.84	0.00	54.54	92.76	184.22	194.60	197.51	155.02	193.82	226.02	93.15	1424.59
2007	0.00	0.00	0.00	129.03	334.36	236.11	165.60	331.16	238.34	350.27	287.13	186.06	2258.06
2008	16.81	47.66	0.00	15.94	228.64	131.65	449.39	232.03	384.21	251.14	241.64	56.29	2055.40
2009	18.95	0.00	16.14	0.00	172.97	176.07	145.81	184.61	178.98	373.83	216.13	40.19	1523.68
2010	0.00	86.74	18.75	139.02	266.56	390.52	454.24	504.58	328.64	335.33	309.04	51.54	2884.96
Prom.	10.36	6.89	9.68	52.45	216.06	241.70	188.99	222.17	268.37	297.19	209.70	77.39	1800.94
Max.	113.50	86.74	87.20	200.70	360.60	470.90	454.24	572.50	428.50	569.90	386.20	229.00	2884.96
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	87.20	71.61	75.60	49.50	116.30	135.50	55.30	0.00	1006.50
Desv.	21.58	17.03	20.51	54.45	72.17	91.02	87.45	125.08	82.95	110.65	87.69	60.95	390.74
C.V.	2.08	2.47	2.12	1.04	0.33	0.38	0.46	0.56	0.31	0.37	0.42	0.79	0.22
C.A.	3.63	3.51	2.60	1.08	0.04	0.79	1.51	1.03	0.36	0.86	0.00	1.05	0.57
C.C.	17.99	16.69	9.71	3.65	2.65	3.79	5.87	4.02	2.44	3.54	2.32	3.73	3.70

Valores Extendidos

Valores Rellenados

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO X. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS (mm) DE LA ESTACIÓN PITALOZA ARRIBA (128 – 012), PERÍODO 1974 – 2010.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1974	9.60	0.00	13.10	13.60	146.20	271.40	163.20	345.90	281.20	514.80	211.60	5.30	1975.90
1975	10.80	2.30	0.00	0.00	267.70	148.40	310.50	262.20	310.60	615.00	431.90	154.20	2513.60
1976	0.00	0.00	0.00	61.20	139.70	115.10	171.30	192.70	181.20	323.50	164.90	39.60	1389.20
1977	0.00	0.00	0.00	24.70	283.00	324.70	87.70	261.50	432.10	390.30	162.50	0.00	1966.50
1978	0.00	0.00	13.45	163.20	381.00	161.00	149.70	133.30	434.70	315.30	165.70	60.60	1977.95
1979	0.00	0.00	5.50	176.30	396.60	124.30	118.80	315.90	261.10	437.80	325.30	227.20	2388.80
1980	1.00	0.00	0.00	28.40	232.90	223.80	222.10	256.10	235.70	299.40	165.90	67.00	1732.30
1981	13.90	0.00	17.70	200.90	311.00	380.10	135.50	294.30	193.30	564.90	396.20	119.20	2627.00
1982	91.00	6.30	0.00	87.60	346.00	309.60	113.60	61.40	426.30	287.10	94.70	0.00	1823.60
1983	0.00	0.00	45.40	9.90	132.70	308.20	98.00	122.30	268.20	246.40	227.80	144.70	1603.60
1984	2.90	5.50	63.50	38.40	392.90	231.70	173.90	363.70	338.30	343.70	497.00	4.80	2456.30
1985	1.40	0.00	0.00	84.90	117.90	231.60	188.10	277.90	109.80	541.50	168.10	92.20	1813.40
1986	0.00	0.00	0.00	29.10	418.60	79.10	101.60	230.00	314.90	818.80	114.00	21.70	2127.80
1987	0.00	0.00	18.40	85.10	230.80	237.50	139.00	231.50	220.00	373.30	123.80	89.40	1748.80
1988	0.00	0.00	0.00	60.40	231.70	433.70	203.70	546.20	256.10	587.70	300.50	38.40	2658.40
1989	3.80	0.00	0.00	0.00	146.80	248.80	141.60	403.50	341.30	236.40	274.10	210.70	2007.00
1990	6.20	0.00	0.00	108.40	360.70	217.20	227.10	344.10	287.00	362.80	277.70	120.90	2312.10
1991	27.20	0.00	51.70	68.30	223.30	164.60	190.30	149.90	207.20	329.80	122.00	16.80	1551.10
1992	0.00	0.00	0.00	74.70	183.00	285.90	194.00	166.70	445.10	407.10	151.90	23.80	1932.20
1993	50.60	0.00	21.40	212.70	209.10	334.80	105.07	272.28	348.40	153.20	238.90	62.00	2008.45
1994	0.00	0.00	0.00	51.90	397.70	253.20	186.30	190.30	341.40	367.50	304.60	0.00	2092.90
1995	0.00	0.00	0.00	268.90	339.30	334.70	253.10	512.70	429.90	687.40	216.10	34.81	3076.91
1996	169.60	5.50	0.00	132.60	413.40	381.90	195.10	250.80	353.50	204.20	353.50	182.30	2642.40
1997	5.20	0.00	0.00	134.00	146.60	225.00	114.70	144.50	413.30	244.50	425.40	6.80	1860.00
1998	0.00	40.90	20.00	8.40	216.50	173.60	267.30	217.20	272.90	292.30	393.80	398.30	2301.20
1999	33.80	104.50	0.00	118.20	179.40	197.50	148.30	296.10	351.50	514.50	509.00	284.00	2736.80
2000	38.06	0.00	0.00	0.39	264.87	313.83	302.93	214.47	248.72	183.88	151.60	107.23	1825.98
2001	27.81	0.00	0.00	0.00	331.58	257.18	263.91	110.23	248.51	358.58	267.92	224.97	2090.69
2002	27.81	0.00	0.00	59.15	112.08	89.95	184.85	234.30	223.34	270.09	223.45	0.00	1425.02
2003	0.00	0.00	49.17	77.48	300.45	436.77	218.57	143.53	207.84	324.31	416.06	62.19	2236.37
2004	0.00	30.30	0.00	97.22	242.76	127.80	256.31	183.11	464.54	348.17	332.55	61.86	2144.62
2005	44.08	0.00	31.17	122.38	291.56	375.72	179.21	215.21	338.74	210.66	296.01	102.86	2207.60
2006	29.00	27.59	0.00	70.86	113.59	215.86	227.47	230.72	183.22	226.60	262.60	114.03	1701.54
2007	0.00	0.00	0.00	154.15	383.74	273.88	195.04	380.16	276.38	401.53	330.93	217.92	2613.73
2008	28.68	63.16	0.00	27.70	265.53	157.08	512.36	269.33	439.49	290.69	280.06	72.82	2406.90
2009	31.06	0.00	27.92	0.00	203.28	206.75	172.92	216.30	210.01	427.88	251.54	54.81	1802.47
2010	0.00	106.87	30.85	165.32	307.94	446.53	517.79	574.07	377.34	384.83	355.44	67.50	3334.48
Prom.	17.66	10.62	11.06	81.53	261.13	251.32	200.84	259.85	304.68	375.31	269.87	94.35	2138.21
Max.	169.60	106.87	63.50	268.90	418.60	446.53	517.79	574.07	464.54	818.80	509.00	398.30	3334.48
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	112.08	79.10	87.70	61.40	109.80	153.20	94.70	0.00	1389.20
Desv.	32.49	26.67	17.68	68.38	95.45	97.67	94.66	115.70	90.84	146.92	109.57	91.38	440.03
C.V.	1.84	2.51	1.60	0.84	0.37	0.39	0.47	0.45	0.30	0.39	0.41	0.97	0.21
C.A.	3.31	2.89	1.59	0.81	0.05	0.27	2.01	1.05	0.09	1.08	0.39	1.41	0.64
C.C.	16.22	10.90	4.76	3.35	2.04	2.62	8.16	4.42	2.36	4.35	2.61	5.30	3.54

Valores Extendidos

Valores Rellenados

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO XI. REGISTROS DE CAUDALES (m³/s) DE LA ESTACIÓN TONOSÍ, GUANIKUITO (124 – 01 – 02), PERÍODO 1980 – 2000.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1980	2.90	1.22	0.71	0.53	1.58	2.61	2.25	3.54	5.78	8.95	11.64	12.16	4.49
1981	6.46	4.20	1.99	1.58	6.43	28.34	18.83	28.40	25.30	40.98	36.52	14.66	17.81
1982	5.26	2.52	1.70	3.06	16.31	10.27	11.25	2.24	7.45	7.51	7.40	3.52	6.54
1983	1.89	1.40	1.24	1.02	1.41	2.98	3.61	2.85	4.99	7.18	5.25	7.99	3.48
1984	3.27	1.66	0.43	0.40	2.75	10.43	12.08	15.44	26.90	26.41	16.73	5.27	10.15
1985	2.59	1.75	1.37	1.10	1.87	4.19	3.79	6.61	8.31	19.29	9.41	7.25	5.63
1986	3.42	1.80	1.49	1.52	3.65	2.82	3.82	3.21	8.09	19.98	10.83	5.25	5.49
1987	2.99	2.08	1.58	1.91	2.65	4.68	11.13	11.72	9.80	15.97	9.39	4.24	6.51
1988	3.11	1.52	0.60	0.86	3.79	12.74	10.39	11.30	20.85	24.37	18.65	10.07	9.86
1989	4.41	2.62	1.75	1.15	2.26	5.58	8.54	15.56	22.98	13.65	12.47	18.11	9.09
1990	3.66	2.97	2.11	2.07	2.84	3.95	6.93	5.32	6.12	26.98	21.94	12.23	8.09
1991	5.00	2.75	1.97	1.32	2.35	3.39	5.70	3.72	12.09	10.26	5.58	2.25	4.70
1992	0.27	0.29	0.27	0.53	1.83	2.81	2.89	3.79	13.57	12.15	7.71	4.65	4.23
1993	2.88	2.08	1.88	2.12	3.92	4.88	6.18	5.50	10.16	12.95	12.23	7.97	6.06
1994	3.95	2.63	1.67	2.21	5.28	10.54	6.56	7.37	17.26	12.72	12.31	3.16	7.14
1995	2.60	1.26	1.85	1.14	6.36	10.64	6.80	10.89	12.28	26.08	11.11	9.99	8.42
1996	8.63	4.58	3.58	3.57	8.00	13.45	16.86	13.33	20.41	29.38	19.76	11.76	12.78
1997	3.01	2.06	1.43	1.11	0.93	2.04	1.80	1.45	3.82	5.71	8.96	4.34	3.06
1998	1.92	1.26	0.75	0.55	0.71	1.34	2.59	3.28	6.07	8.88	8.42	10.26	3.84
1999	3.01	2.06	1.43	6.63	2.25	9.22	7.19	13.15	20.76	26.40	24.21	13.33	10.80
2000	7.57	3.44	1.16	0.82	2.02	2.91	5.20	5.89	10.46	7.72	7.02	4.07	4.86
Prom.	3.75	2.20	1.47	1.68	3.77	7.13	7.35	8.31	13.02	17.31	13.22	8.22	7.29
Max.	8.63	4.58	3.58	6.63	16.31	28.34	18.83	28.40	26.90	40.98	36.52	18.11	17.81
Min.	0.27	0.29	0.27	0.40	0.71	1.34	1.80	1.45	3.82	5.71	5.25	2.25	3.06
Desv.	1.94	1.02	0.72	1.40	3.46	6.20	4.65	6.48	7.20	9.49	7.53	4.38	3.58
C.V.	0.52	0.46	0.49	0.83	0.92	0.87	0.63	0.78	0.55	0.55	0.57	0.53	0.49
C.A.	1.03	0.71	0.82	2.45	2.64	2.15	1.08	1.59	0.61	0.79	1.71	0.54	1.40
C.C.	4.64	4.03	5.88	10.52	11.44	9.14	4.09	6.48	2.43	3.39	6.62	2.83	5.63

Valores Rellenados

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO XII. REGISTROS DE CAUDALES (m³/s) DE LA ESTACIÓN LA VILLA, MACARACAS (128 – 01 – 01), PERÍODO 1980 – 2000.

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
1980	11.00	4.63	2.70	2.08	6.01	10.24	8.52	13.41	22.66	33.93	32.47	20.33	14.00
1981	9.79	5.82	4.00	5.70	13.76	42.47	24.73	27.07	28.47	57.42	53.08	27.20	24.96
1982	14.91	7.54	4.43	3.75	12.29	18.56	11.32	8.72	21.97	39.88	26.06	10.01	14.95
1983	5.38	3.32	2.53	2.08	3.06	6.62	4.04	3.87	13.44	12.61	23.98	16.87	8.15
1984	7.59	4.66	3.15	2.42	8.27	16.49	21.27	22.96	51.33	40.63	60.92	14.42	21.18
1985	6.97	4.30	3.19	2.77	4.32	8.26	6.44	17.66	17.31	40.31	28.09	15.05	12.89
1986	7.59	4.90	3.08	2.35	11.10	5.85	5.18	6.94	16.67	103.84	22.98	10.77	16.77
1987	5.30	2.86	2.14	2.50	4.98	6.43	6.61	11.49	14.06	29.53	17.99	13.82	9.81
1988	7.85	4.75	2.93	2.13	8.56	23.49	21.57	50.23	52.20	70.01	39.54	18.48	25.15
1989	9.16	5.36	3.51	2.21	3.09	5.89	6.26	15.17	30.24	31.62	29.83	41.72	15.34
1990	10.92	6.04	3.88	3.17	7.39	11.13	15.92	21.81	26.27	52.41	38.63	29.44	18.92
1991	10.98	5.87	4.31	3.17	6.28	10.17	10.03	10.62	22.64	40.81	15.83	9.60	12.53
1992	5.72	3.94	3.02	2.57	4.46	6.12	6.95	11.75	24.65	26.67	26.67	11.60	11.18
1993	10.53	3.75	2.91	4.54	8.00	17.82	17.81	18.72	32.46	28.61	24.44	14.40	15.33
1994	7.76	4.68	3.21	3.43	17.76	13.42	14.50	12.95	34.71	50.38	59.17	18.59	20.05
1995	9.43	5.85	4.16	4.87	11.76	19.63	19.33	57.38	48.96	80.42	42.34	19.80	26.99
1996	13.45	7.12	5.11	4.05	12.91	31.19	29.42	20.83	39.79	48.36	39.41	27.95	23.30
1997	12.94	7.94	5.02	3.82	3.54	7.75	6.84	5.51	14.50	21.67	33.99	16.47	11.66
1998	7.28	4.78	2.83	2.10	2.71	5.08	9.83	12.43	23.02	33.67	31.94	38.92	14.55
1999	15.33	9.17	5.59	4.49	9.26	19.99	19.24	31.09	47.04	58.90	64.19	33.64	26.49
2000	13.61	7.47	4.39	3.09	7.64	11.02	19.73	22.35	39.66	29.27	26.63	15.45	16.69
Prom.	9.69	5.46	3.62	3.20	7.96	14.17	13.60	19.19	29.62	44.33	35.15	20.21	17.18
Max.	15.33	9.17	5.59	5.70	17.76	42.47	29.42	57.38	52.20	103.84	64.19	41.72	103.84
Min.	5.30	2.86	2.14	2.08	2.71	5.08	4.04	3.87	13.44	12.61	15.83	9.60	2.08
Desv.	3.06	1.63	0.93	1.05	4.10	9.51	7.37	13.54	12.62	21.18	13.94	9.37	5.67
C.V.	0.32	0.30	0.26	0.33	0.52	0.67	0.54	0.71	0.43	0.48	0.40	0.46	0.33
C.A.	0.35	0.61	0.54	0.82	0.67	1.60	0.49	1.70	0.53	1.26	0.87	1.06	0.38
C.C.	2.52	3.23	2.84	3.27	3.27	6.04	2.53	6.18	2.48	5.23	3.23	3.55	2.44

Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

ANEXO XIII. VALORES CRÍTICOS DE Δ_0 DEL ESTADÍSTICO SMIRNOV – KOLMOGOROV Δ , PARA VARIOS VALORES N Y NIVELES DE SIGNIFICACIÓN α .

Tamaño muestral N	Nivel de significación α				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
N>35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fuente: Villón (2006).

ANEXO XIV. DISTRIBUCIÓN EMPÍRICA (WEIBULL) DE LA SERIE DE VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).

Registro		Orden (m)	Datos	P % ($X \geq 24$ máx)	P % ($X < 24$ máx)	T_r
Año	P24 máx (mm)					
1966	73.00	1	219.00	1.96	98.04	51.00
1967	70.00	2	200.50	3.92	96.08	25.50
1968	71.00	3	177.50	5.88	94.12	17.00
1969	78.50	4	155.80	7.84	92.16	12.75
1970	71.00	5	151.50	9.80	90.20	10.20
1971	83.50	6	133.30	11.76	88.24	8.50
1972	65.50	7	122.80	13.73	86.27	7.29
1973	219.00	8	119.80	15.69	84.31	6.38
1974	82.50	9	119.30	17.65	82.35	5.67
1975	91.00	10	116.80	19.61	80.39	5.10
1976	101.50	11	107.00	21.57	78.43	4.64
1977	85.50	12	101.50	23.53	76.47	4.25
1978	80.00	13	101.30	25.49	74.51	3.92
1979	177.50	14	101.00	27.45	72.55	3.64
1980	91.80	15	100.40	29.41	70.59	3.40
1981	75.80	16	99.80	31.37	68.63	3.19
1982	99.80	16	99.80	31.37	68.63	3.19
1983	70.80	16	99.80	31.37	68.63	3.19
1984	75.80	19	98.40	37.25	62.75	2.68
1985	90.80	20	98.20	39.22	60.78	2.55
1986	70.80	21	96.00	41.18	58.82	2.43
1987	57.80	22	92.80	43.14	56.86	2.32
1988	155.80	23	91.80	45.10	54.90	2.22
1989	92.80	23	91.80	45.10	54.90	2.22
1990	116.80	25	91.20	49.02	50.98	2.04
1991	122.80	26	91.00	50.98	49.02	1.96
1992	119.80	27	90.80	52.94	47.06	1.89
1993	99.80	28	90.20	54.90	45.10	1.82
1994	107.00	29	85.50	56.86	43.14	1.76
1995	82.80	30	84.80	58.82	41.18	1.70
1996	99.80	31	84.00	60.78	39.22	1.65
1997	200.50	32	83.50	62.75	37.25	1.59
1998	84.80	33	82.80	64.71	35.29	1.55
1999	151.50	34	82.50	66.67	33.33	1.50
2000	91.80	35	80.00	68.63	31.37	1.46
2001	59.40	36	78.50	70.59	29.41	1.42
2002	75.50	36	78.50	70.59	29.41	1.42
2003	119.30	38	77.10	74.51	25.49	1.34
2004	101.30	39	75.80	76.47	23.53	1.31
2005	90.20	39	75.80	76.47	23.53	1.31
2006	98.20	41	75.50	80.39	19.61	1.24
2007	84.00	42	73.00	82.35	17.65	1.21
2008	133.30	43	71.00	84.31	15.69	1.19
2009	77.10	43	71.00	84.31	15.69	1.19
2010	98.40	45	70.80	88.24	11.76	1.13
2011	91.20	45	70.80	88.24	11.76	1.13
2012	100.40	47	70.00	92.16	7.84	1.09
2013	78.50	48	65.50	94.12	5.88	1.06
2014	96.00	49	59.40	96.08	3.92	1.04
2015	101.00	50	57.80	98.04	1.96	1.02

Fuente: Elaboración propia.

P % ($X \geq 24$ máx): Probabilidad de ocurrencia, P % ($X < 24$ máx): Probabilidad de no ocurrencia y T_r : Período de retorno.

**ANEXO XV. DISTRIBUCIÓN EMPÍRICA (WEIBULL) DE LA SERIE DE VALORES
EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS,
ESTACIÓN TONOSÍ (124 – 004).**

Registro		Orden (m)	Datos	P % ($X \geq 24$ máx)	P % ($X < 24$ máx)	T_r
Año	P24 máx (mm)					
1971	55.80	1	333.00	2.27	97.73	44.00
1972	94.50	2	203.80	4.55	95.45	22.00
1973	198.20	3	198.20	6.82	93.18	14.67
1974	203.80	4	150.00	9.09	90.91	11.00
1975	91.10	5	134.60	11.36	88.64	8.80
1976	99.60	6	134.40	13.64	86.36	7.33
1977	98.50	7	127.60	15.91	84.09	6.29
1978	60.60	8	127.30	18.18	81.82	5.50
1979	102.70	9	119.90	20.45	79.55	4.89
1980	65.90	10	115.50	22.73	77.27	4.40
1981	72.30	11	114.00	25.00	75.00	4.00
1982	75.60	12	110.30	27.27	72.73	3.67
1983	47.90	13	102.70	29.55	70.45	3.38
1984	75.50	14	102.60	31.82	68.18	3.14
1985	63.20	15	100.00	34.09	65.91	2.93
1986	333.00	16	99.60	36.36	63.64	2.75
1987	100.00	17	99.00	38.64	61.36	2.59
1988	150.00	18	98.50	40.91	59.09	2.44
1989	115.50	19	94.50	43.18	56.82	2.32
1990	89.10	20	92.80	45.45	54.55	2.20
1991	67.50	21	91.70	47.73	52.27	2.10
1992	110.30	22	91.40	50.00	50.00	2.00
1993	114.00	23	91.10	52.27	47.73	1.91
1994	119.90	24	89.10	54.55	45.45	1.83
1995	78.20	25	87.20	56.82	43.18	1.76
1996	72.50	26	78.20	59.09	40.91	1.69
1997	74.20	27	76.80	61.36	38.64	1.63
1998	68.60	28	75.60	63.64	36.36	1.57
1999	76.80	29	75.50	65.91	34.09	1.52
2000	53.10	30	74.20	68.18	31.82	1.47
2001	67.80	31	74.00	70.45	29.55	1.42
2002	91.40	32	72.50	72.73	27.27	1.38
2003	102.60	33	72.30	75.00	25.00	1.33
2004	74.00	34	68.60	77.27	22.73	1.29
2005	134.60	35	67.80	79.55	20.45	1.26
2006	87.20	36	67.50	81.82	18.18	1.22
2007	134.40	37	65.90	84.09	15.91	1.19
2008	127.30	38	63.20	86.36	13.64	1.16
2009	92.80	39	60.60	88.64	11.36	1.13
2010	127.60	40	55.80	90.91	9.09	1.10
2011	91.70	41	53.90	93.18	6.82	1.07
2012	99.00	42	53.10	95.45	4.55	1.05
2013	53.90	43	47.90	97.73	2.27	1.02

Fuente: Elaboración propia.

P % ($X \geq 24$ máx): Probabilidad de ocurrencia, P % ($X < 24$ máx): Probabilidad de no ocurrencia y T_r : Período de retorno.

ANEXO XVI. DISTRIBUCIÓN EMPÍRICA (WEIBULL) DE LA SERIE DE VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).

Registro		Orden (m)	Datos	P % ($X \geq 24$ máx)	P % ($X < 24$ máx)	T_r
Año	P24 máx (mm)					
1974	101.50	1	133.60	3.70	96.30	27.00
1975	111.10	2	121.00	7.41	92.59	13.50
1976	87.00	3	120.60	11.11	88.89	9.00
1977	120.60	4	111.10	14.81	85.19	6.75
1978	61.40	5	101.50	18.52	81.48	5.40
1979	133.60	6	100.00	22.22	77.78	4.50
1980	100.00	6	100.00	22.22	77.78	4.50
1981	70.00	8	87.00	29.63	70.37	3.38
1982	70.00	9	83.50	33.33	66.67	3.00
1983	62.40	10	80.00	37.04	62.96	2.70
1984	83.50	11	75.20	40.74	59.26	2.45
1985	121.00	12	70.00	44.44	55.56	2.25
1986	47.40	12	70.00	44.44	55.56	2.25
1987	51.60	14	66.20	51.85	48.15	1.93
1988	57.30	15	65.60	55.56	44.44	1.80
1989	40.00	16	64.50	59.26	40.74	1.69
1990	65.60	17	62.40	62.96	37.04	1.59
1991	51.80	18	61.40	66.67	33.33	1.50
1992	58.80	19	58.80	70.37	29.63	1.42
1993	64.50	20	57.30	74.07	25.93	1.35
1994	75.20	21	51.80	77.78	22.22	1.29
1995	66.20	22	51.60	81.48	18.52	1.23
1996	49.00	23	50.00	85.19	14.81	1.17
1997	100.00	24	49.00	88.89	11.11	1.13
1998	80.00	25	47.40	92.59	7.41	1.08
1999	50.00	26	40.00	96.30	3.70	1.04

Fuente: Elaboración propia.

P % ($X \geq 24$ máx): Probabilidad de ocurrencia, P % ($X < 24$ máx): Probabilidad de no ocurrencia y T_r : Período de retorno.

ANEXO XVII. DISTRIBUCIÓN EMPÍRICA (WEIBULL) DE LA SERIE DE VALORES EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).

Registro		Orden (m)	Datos	P % ($X \geq 24$ máx)	P % ($X \leq 24$ máx)	T_r
Año	P24 máx (mm)					
1974	84.60	1	203.80	3.85	96.15	26.00
1975	73.80	2	148.10	7.69	92.31	13.00
1976	66.20	3	138.20	11.54	88.46	8.67
1977	84.10	4	117.50	15.38	84.62	6.50
1978	78.10	5	114.50	19.23	80.77	5.20
1979	69.50	6	112.90	23.08	76.92	4.33
1980	63.30	7	93.70	26.92	73.08	3.71
1981	63.50	8	92.70	30.77	69.23	3.25
1982	74.20	9	88.30	34.62	65.38	2.89
1983	63.60	10	87.30	38.46	61.54	2.60
1984	117.50	11	84.60	42.31	57.69	2.36
1985	112.90	12	84.10	46.15	53.85	2.17
1986	203.80	13	78.10	50.00	50.00	2.00
1987	88.30	14	77.70	53.85	46.15	1.86
1988	93.70	15	75.50	57.69	42.31	1.73
1989	75.50	16	74.20	61.54	38.46	1.63
1990	138.20	17	73.90	65.38	34.62	1.53
1991	70.00	18	73.80	69.23	30.77	1.44
1992	87.30	19	70.00	73.08	26.92	1.37
1993	77.70	20	69.50	76.92	23.08	1.30
1994	27.90	21	66.20	80.77	19.23	1.24
1995	92.70	22	63.60	84.62	15.38	1.18
1996	73.90	23	63.50	88.46	11.54	1.13
1997	114.50	24	63.30	92.31	7.69	1.08
1998	148.10	25	27.90	96.15	3.85	1.04

Fuente: Elaboración propia.

P % ($X \geq 24$ máx): Probabilidad de ocurrencia, P % ($X < 24$ máx): Probabilidad de no ocurrencia y T_r : Período de retorno.

**ANEXO XVIII. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV – KOLMOGOROV,
ESTACIÓN LA LLANA (124 – 002).**

Datos	K_r	T_r	F % (X)	P % (X)	Δ	F (X) - P (X)
219.00	3.64	189.70	0.53	1.96		1.43
200.50	3.08	93.07	1.07	3.92		2.85
177.50	2.39	38.57	2.59	5.88		3.29
155.80	1.73	16.96	5.90	7.84		1.95
151.50	1.60	14.44	6.92	9.80		2.88
133.30	1.06	7.41	13.49	11.76		1.73
122.80	0.74	5.12	19.55	13.73		5.82
119.80	0.65	4.62	21.67	15.69		5.98
119.30	0.63	4.54	22.04	17.65		4.39
116.80	0.56	4.17	23.98	19.61		4.38
107.00	0.26	3.03	33.00	21.57		11.43
101.50	0.10	2.56	39.06	23.53		15.53
101.30	0.09	2.54	39.29	25.49		13.80
101.00	0.08	2.52	39.65	27.45		12.19
100.40	0.06	2.48	40.36	29.41		10.94
99.80	0.05	2.43	41.08	31.37		9.70
99.80	0.05	2.43	41.08	33.33		7.74
99.80	0.05	2.43	41.08	35.29		5.78
98.40	0.00	2.34	42.78	37.25		5.53
98.20	0.00	2.32	43.03	39.22		3.81
96.00	-0.07	2.18	45.80	41.18		4.63
92.80	-0.16	2.00	50.00	43.14		6.86
91.80	-0.19	1.95	51.35	45.10		6.25
91.80	-0.19	1.95	51.35	47.06		4.29
91.20	-0.21	1.92	52.16	49.02		3.14
91.00	-0.22	1.91	52.44	50.98		1.46
90.80	-0.22	1.90	52.71	52.94		0.23
90.20	-0.24	1.87	53.53	54.90		1.37
85.50	-0.38	1.66	60.11	56.86		3.25
84.80	-0.41	1.64	61.10	58.82		2.28
84.00	-0.43	1.61	62.24	60.78		1.46
83.50	-0.44	1.59	62.95	62.75		0.20
82.80	-0.47	1.56	63.95	64.71		0.76
82.50	-0.47	1.55	64.37	66.67		2.30
80.00	-0.55	1.47	67.91	68.63		0.72
78.50	-0.60	1.43	70.02	70.59		0.57
78.50	-0.60	1.43	70.02	72.55		2.53
77.10	-0.64	1.39	71.96	74.51		2.55
75.80	-0.68	1.36	73.74	76.47		2.73
75.80	-0.68	1.36	73.74	78.43		4.70
75.50	-0.69	1.35	74.14	80.39		6.25
73.00	-0.76	1.29	77.46	82.35		4.90
71.00	-0.82	1.25	80.00	84.31		4.31
71.00	-0.82	1.25	80.00	86.27		6.27
70.80	-0.83	1.25	80.25	88.24		7.99
70.80	-0.83	1.25	80.25	90.20		9.95
70.00	-0.85	1.23	81.23	92.16		10.93
65.50	-0.99	1.16	86.34	94.12		7.78
59.40	-1.17	1.09	91.95	96.08		4.13
57.80	-1.22	1.07	93.15	98.04		4.89
Verificación de ajuste						
Δo	0.1923					
Δ	0.1553					
$\Delta < \Delta o$	El ajuste es bueno, al nivel de significancia seleccionado.					

Fuente: Elaboración propia.

K_r : Factor de frecuencia, F % (X): Probabilidad de ocurrencia teórica, P (X): probabilidad de ocurrencia empírica (Weibull), y T_r : Período de retorno.

ANEXO XIX. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV – KOLMOGOROV, ESTACIÓN TONOSÍ (124 – 004).

Datos	K_t	T_r	F % (X)	P % (X)	Δ F (X) - P (X)
333.00	4.68	720.75	0.14	2.27	2.13
203.80	2.08	26.22	3.81	4.55	0.73
198.20	1.97	22.76	4.39	6.82	2.43
150.00	1.00	6.93	14.42	9.09	5.33
134.60	0.69	4.84	20.68	11.36	9.32
134.40	0.69	4.81	20.78	13.64	7.14
127.60	0.55	4.13	24.24	15.91	8.33
127.30	0.54	4.10	24.40	18.18	6.22
119.90	0.39	3.48	28.72	20.45	8.26
115.50	0.31	3.17	31.56	22.73	8.83
114.00	0.28	3.07	32.58	25.00	7.58
110.30	0.20	2.84	35.18	27.27	7.91
102.70	0.05	2.44	40.99	29.55	11.45
102.60	0.05	2.43	41.07	31.82	9.26
100.00	-0.01	2.31	43.20	34.09	9.11
99.60	-0.01	2.30	43.53	36.36	7.17
99.00	-0.03	2.27	44.03	38.64	5.39
98.50	-0.04	2.25	44.45	40.91	3.54
94.50	-0.12	2.09	47.89	43.18	4.71
92.80	-0.15	2.02	49.39	45.45	3.93
91.70	-0.17	1.99	50.37	47.73	2.64
91.40	-0.18	1.97	50.64	50.00	0.64
91.10	-0.18	1.96	50.91	52.27	1.36
89.10	-0.22	1.90	52.73	54.55	1.82
87.20	-0.26	1.84	54.47	56.82	2.35
78.20	-0.44	1.59	62.93	59.09	3.84
76.80	-0.47	1.56	64.26	61.36	2.90
75.60	-0.50	1.53	65.40	63.64	1.76
75.50	-0.50	1.53	65.49	65.91	0.42
74.20	-0.52	1.50	66.72	68.18	1.46
74.00	-0.53	1.49	66.91	70.45	3.54
72.50	-0.56	1.46	68.32	72.73	4.40
72.30	-0.56	1.46	68.51	75.00	6.49
68.60	-0.64	1.39	71.95	77.27	5.32
67.80	-0.65	1.38	72.69	79.55	6.86
67.50	-0.66	1.37	72.96	81.82	8.86
65.90	-0.69	1.34	74.41	84.09	9.68
63.20	-0.75	1.30	76.81	86.36	9.56
60.60	-0.80	1.27	79.04	88.64	9.60
55.80	-0.89	1.21	82.94	90.91	7.97
53.90	-0.93	1.18	84.39	93.18	8.79
53.10	-0.95	1.18	84.98	95.45	10.47
47.90	-1.05	1.13	88.56	97.73	9.17

Verificación de ajuste

Δo 0.2074

Δ 0.1145

$\Delta < \Delta o$ **El ajuste es bueno, al nivel de significancia seleccionado.**

Fuente: Elaboración propia.

K_t : Factor de frecuencia, F %(X): Probabilidad de ocurrencia teórica, P(X): probabilidad de ocurrencia empírica (Weibull), y T_r : Período de retorno.

ANEXO XX. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV – KOLMOGOROV, ESTACIÓN EL CORTEZO (124 – 005).

Datos	K_t	T_r	F % (X)	P % (X)	$\Delta F(X) - P(X) $
133.60	2.22	31.31	3.19	3.70	0.51
121.00	1.74	17.00	5.88	7.41	1.52
120.60	1.72	16.67	6.00	11.11	5.11
111.10	1.35	10.60	9.43	14.81	5.38
101.50	0.98	6.78	14.75	18.52	3.77
100.00	0.92	6.33	15.79	22.22	6.43
100.00	0.92	6.33	15.79	25.93	10.14
87.00	0.42	3.58	27.93	29.63	1.70
83.50	0.28	3.10	32.27	33.33	1.06
80.00	0.15	2.70	37.09	37.04	0.05
75.20	-0.04	2.25	44.46	40.74	3.72
70.00	-0.24	1.88	53.29	44.44	8.84
70.00	-0.24	1.88	53.29	48.15	5.14
66.20	-0.38	1.66	60.11	51.85	8.26
65.60	-0.41	1.63	61.20	55.56	5.65
64.50	-0.45	1.58	63.21	59.26	3.95
62.40	-0.53	1.49	67.03	62.96	4.07
61.40	-0.57	1.45	68.84	66.67	2.18
58.80	-0.67	1.36	73.46	70.37	3.09
57.30	-0.73	1.31	76.05	74.07	1.98
51.80	-0.94	1.18	84.70	77.78	6.92
51.60	-0.95	1.18	84.99	81.48	3.50
50.00	-1.01	1.15	87.16	85.19	1.98
49.00	-1.05	1.13	88.44	88.89	0.45
47.40	-1.11	1.11	90.32	92.59	2.27
40.00	-1.40	1.04	96.57	96.30	0.27

Verificación de ajuste

Δo 0.2640

Δ 0.1014

$\Delta < \Delta o$ **El ajuste es bueno, al nivel de significancia seleccionado.**

Fuente: Elaboración propia.

K_T : Factor de frecuencia, F %(X): Probabilidad de ocurrencia teórica, P(X): probabilidad de ocurrencia empírica (Weibull), y T_r : Período de retorno.

ANEXO XXI. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV – KOLMOGOROV, ESTACIÓN ALTOS DE GÜERA (124 – 006).

Datos	K_t	T_r	F % (X)	P % (X)	$\Delta F(X) - P(X) $
203.80	3.27	118.21	0.85	3.85	3.00
148.10	1.67	15.72	6.36	7.69	1.33
138.20	1.39	11.08	9.02	11.54	2.51
117.50	0.80	5.46	18.32	15.38	2.93
114.50	0.71	4.95	20.22	19.23	0.99
112.90	0.66	4.69	21.30	23.08	1.77
93.70	0.11	2.60	38.43	26.92	11.51
92.70	0.09	2.53	39.54	30.77	8.77
88.30	-0.04	2.24	44.65	34.62	10.03
87.30	-0.07	2.18	45.86	38.46	7.40
84.60	-0.15	2.03	49.21	42.31	6.91
84.10	-0.16	2.01	49.85	46.15	3.69
78.10	-0.33	1.73	57.70	50.00	7.70
77.70	-0.34	1.72	58.23	53.85	4.39
75.50	-0.41	1.63	61.19	57.69	3.50
74.20	-0.44	1.59	62.95	61.54	1.41
73.90	-0.45	1.58	63.35	65.38	2.03
73.80	-0.46	1.58	63.49	69.23	5.74
70.00	-0.56	1.46	68.60	73.08	4.47
69.50	-0.58	1.44	69.27	76.92	7.65
66.20	-0.67	1.36	73.61	80.77	7.16
63.60	-0.75	1.30	76.90	84.62	7.71
63.50	-0.75	1.30	77.03	88.46	11.43
63.30	-0.76	1.29	77.28	92.31	15.03
27.90	-1.77	1.00	99.57	96.15	3.41

Verificación de ajuste

Δo 0.2700

Δ 0.1503

$\Delta < \Delta o$ **El ajuste es bueno, al nivel de significancia seleccionado.**

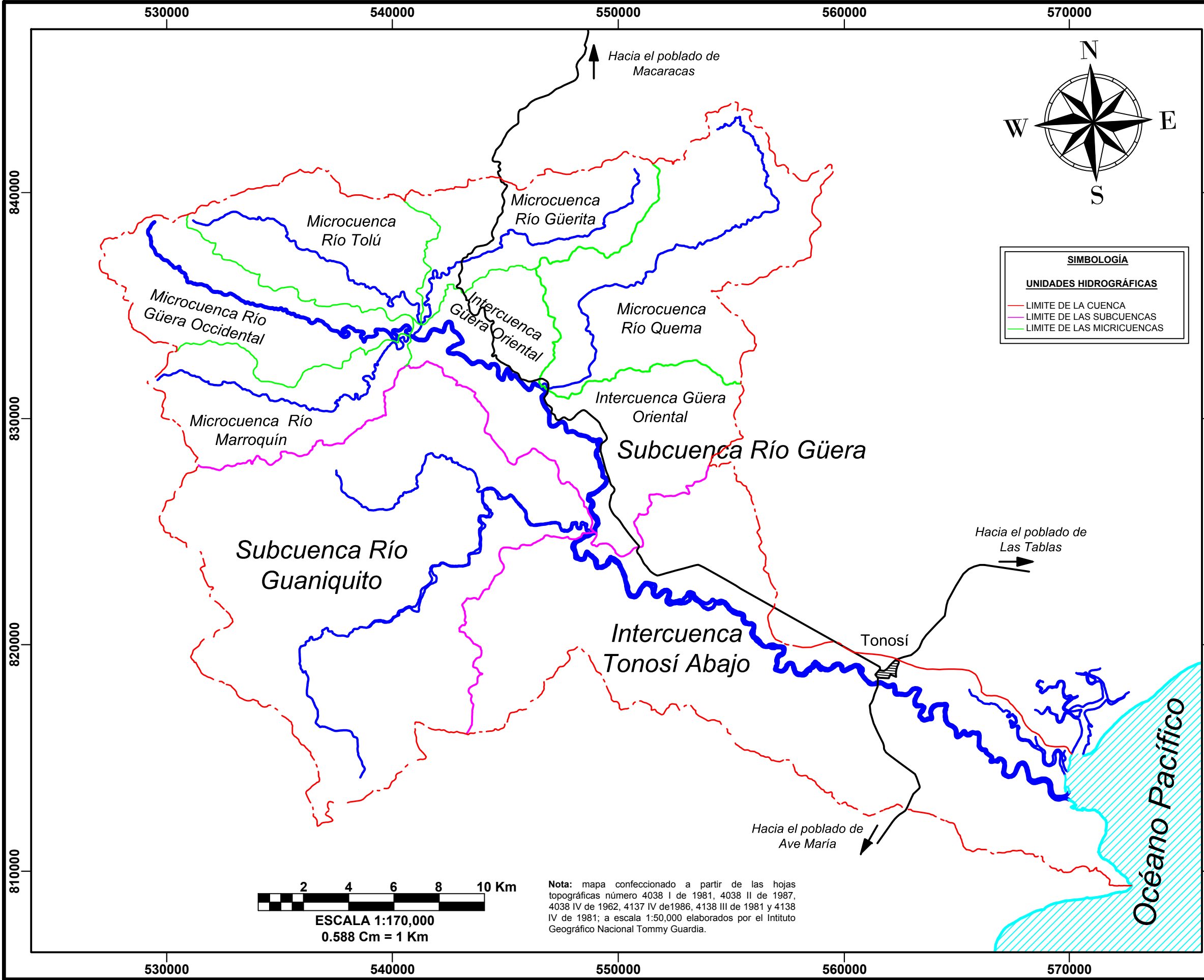
Fuente: Elaboración propia.

K_T : Factor de frecuencia, F %(X): Probabilidad de ocurrencia teórica, P(X): probabilidad de ocurrencia empírica (Weibull), y T_r : Período de retorno.

ANEXO XXII. FACTOR DE CORRECCIÓN, POR DURACIÓN MEDIA DE LAS HORAS DE SOL EXPRESADA EN UNIDADES DE 30 DÍAS, CON 12 HORAS DE SOL DE CADA UNA.

	Latitud	Ene.	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Norte	0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
	10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
	15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
	20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.12	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
	25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
	30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
	35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
	40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
	45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
	50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
	Latitud	Ene.	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Sur	0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	5	1.06	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
	45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
	50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

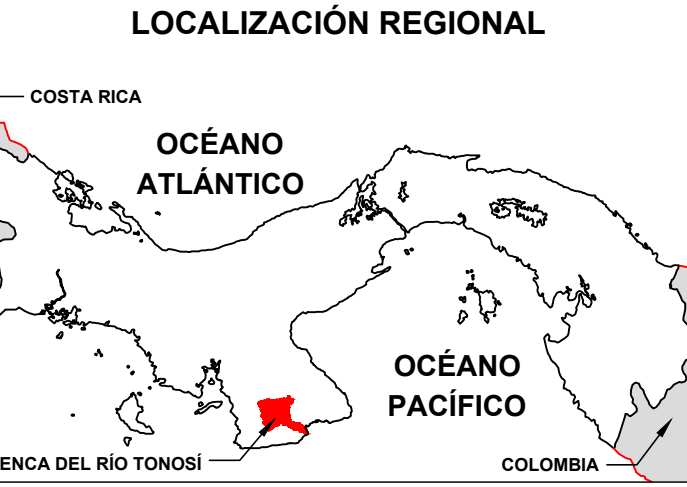
Fuente: Villón (2004).



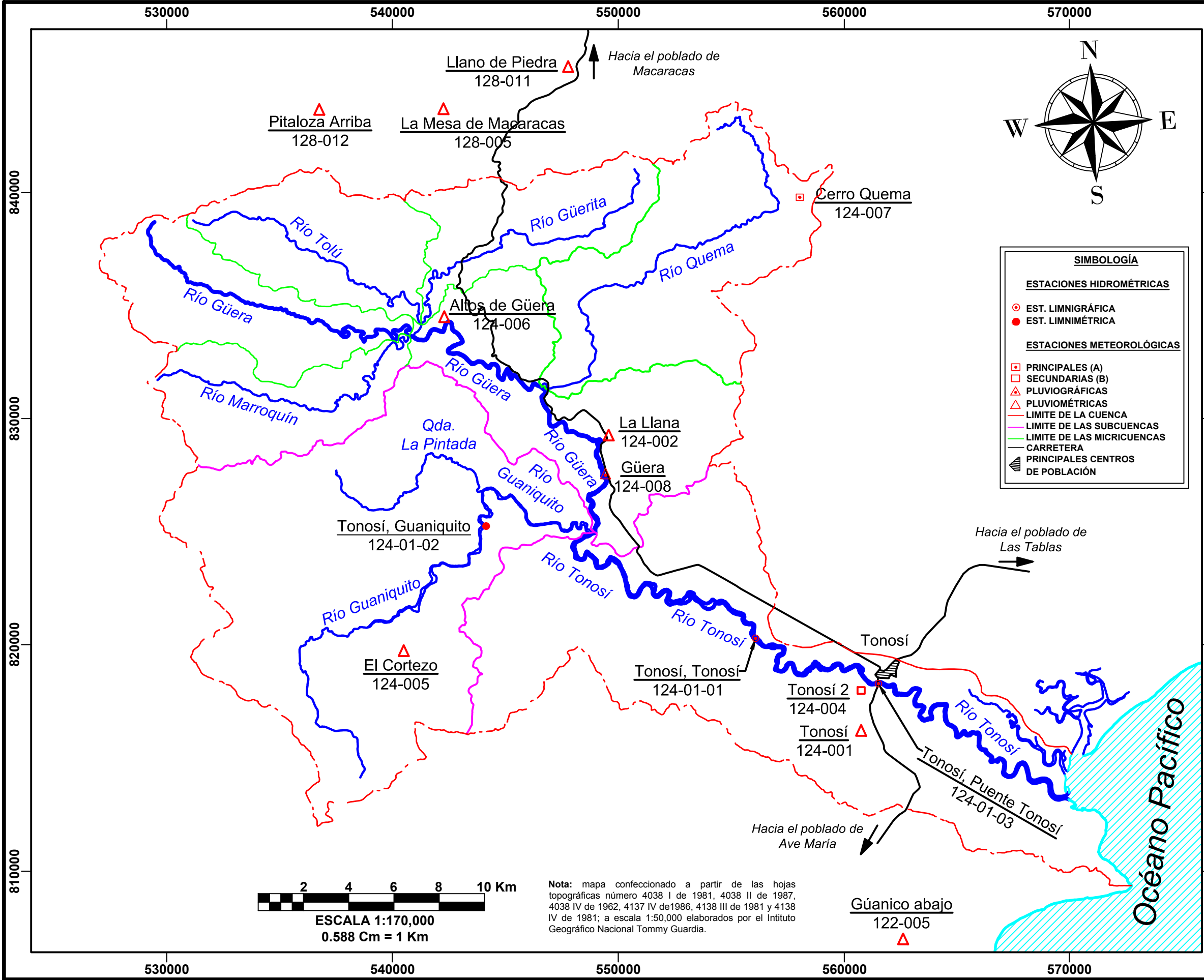
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA N° 124 RÍO TONOSÍ

ANEXO XXIII:
UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ



REFERENCIAS DE ELABORACIÓN	
Autor: Jaime Ortega	Revisado y aprobado por: Prof. Ing. Noé Aguilar Prof. Ing. Cecilio Estribí Prof. Ing. Tirso Solís
Dibujo: Jaime Ortega	
Fecha: junio 2017	
Coordenadas: UTM, NAD-27 Canal Zone 17 N	

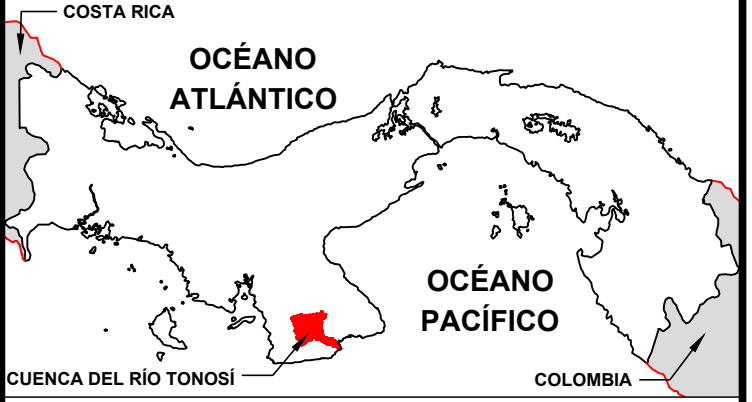


UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA
CUENCA HIDROGRÁFICA N° 124 RÍO TONOSÍ

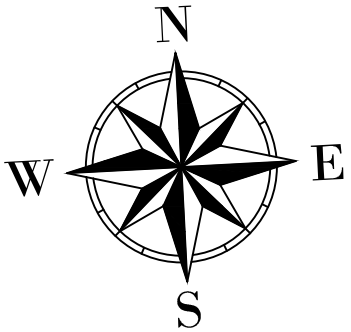
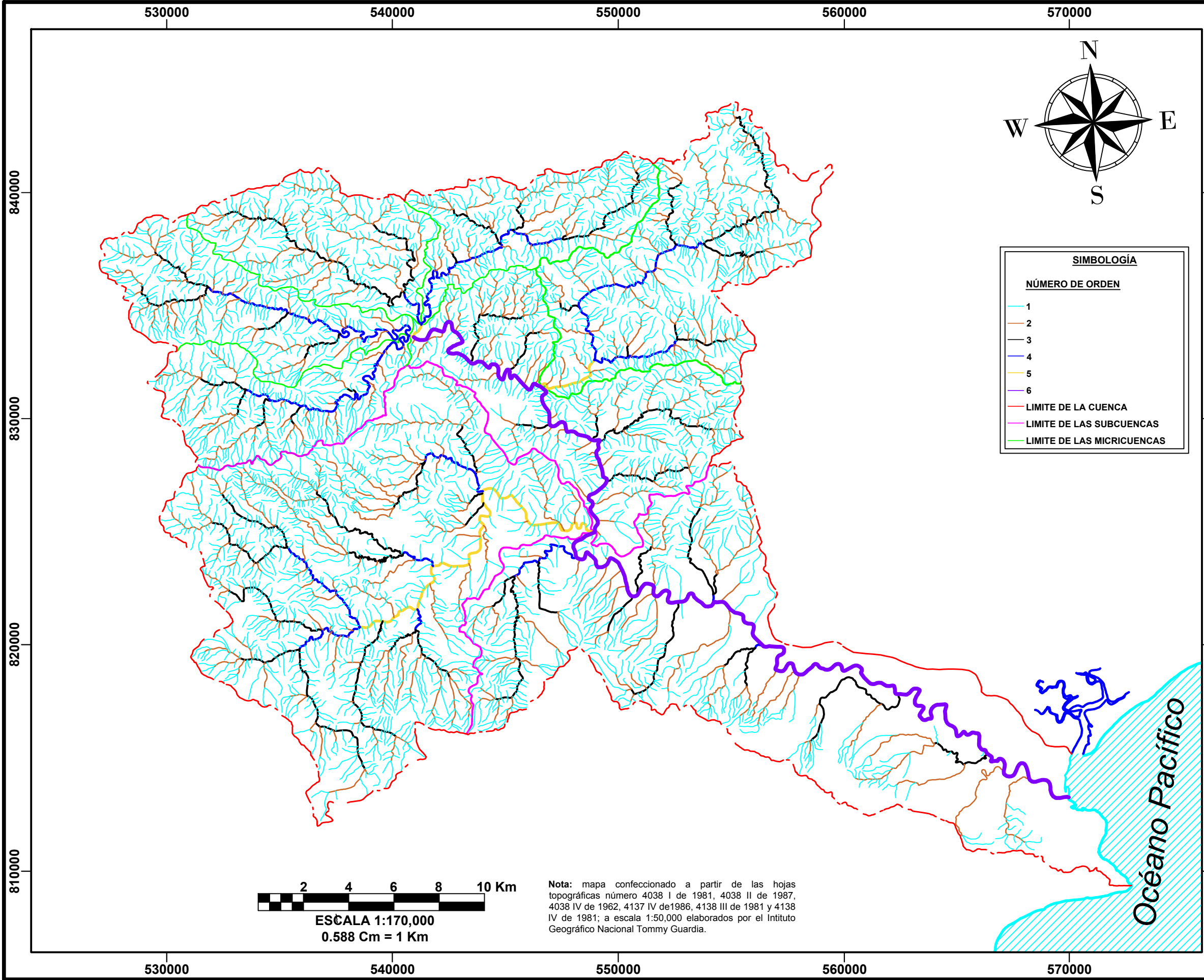
ANEXO XXIV:
PRINCIPALES ESTACIONES
HIDROMETEOROLÓGICAS UTILIZADAS

LOCALIZACIÓN REGIONAL



REFERENCIAS DE ELABORACIÓN

Autor: Jaime Ortega	Revisado y aprobado por: Prof. Ing. Noé Aguilar Prof. Ing. Cecilio Estribí Prof. Ing. Tirso Solís
Dibujo: Jaime Ortega	
Fecha: junio 2017	
Coordenadas: UTM, NAD-27 Canal Zone 17 N	



SIMBOLOGÍA

NÚMERO DE ORDEN

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

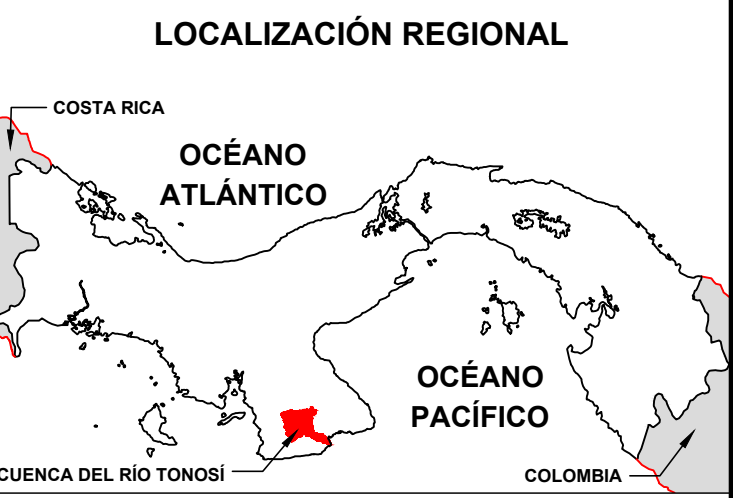
— LIMITE DE LA CUENCA
— LIMITE DE LAS SUBCUENCAS
— LIMITE DE LAS MICRICUENCAS



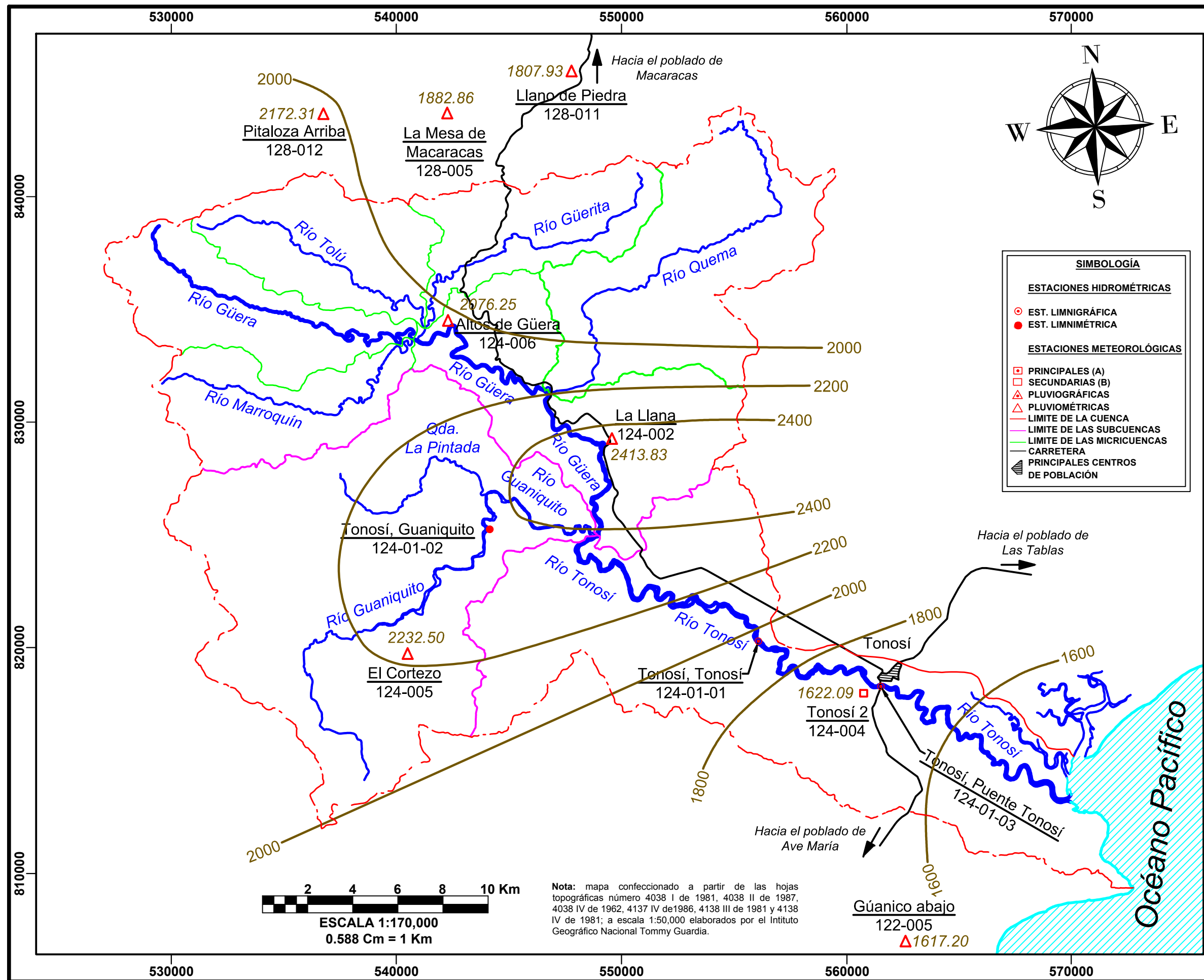
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA N° 124 RÍO TONOSÍ

ANEXO XXV:
CLASIFICACIÓN ORDINAL DE LA CORRIENTES (MÉTODO STRAHLER)



REFERENCIAS DE ELABORACIÓN	
Autor: Jaime Ortega	Revisado y aprobado por: Prof. Ing. Noé Aguilar Prof. Ing. Cecilio Estribí Prof. Ing. Tirso Solís
Dibujo: Jaime Ortega	
Fecha: junio 2017	
Coordenadas: UTM, NAD-27 Canal Zone 17 N	



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA N° 124 RÍO TONOSÍ

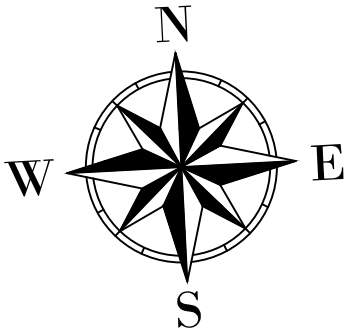
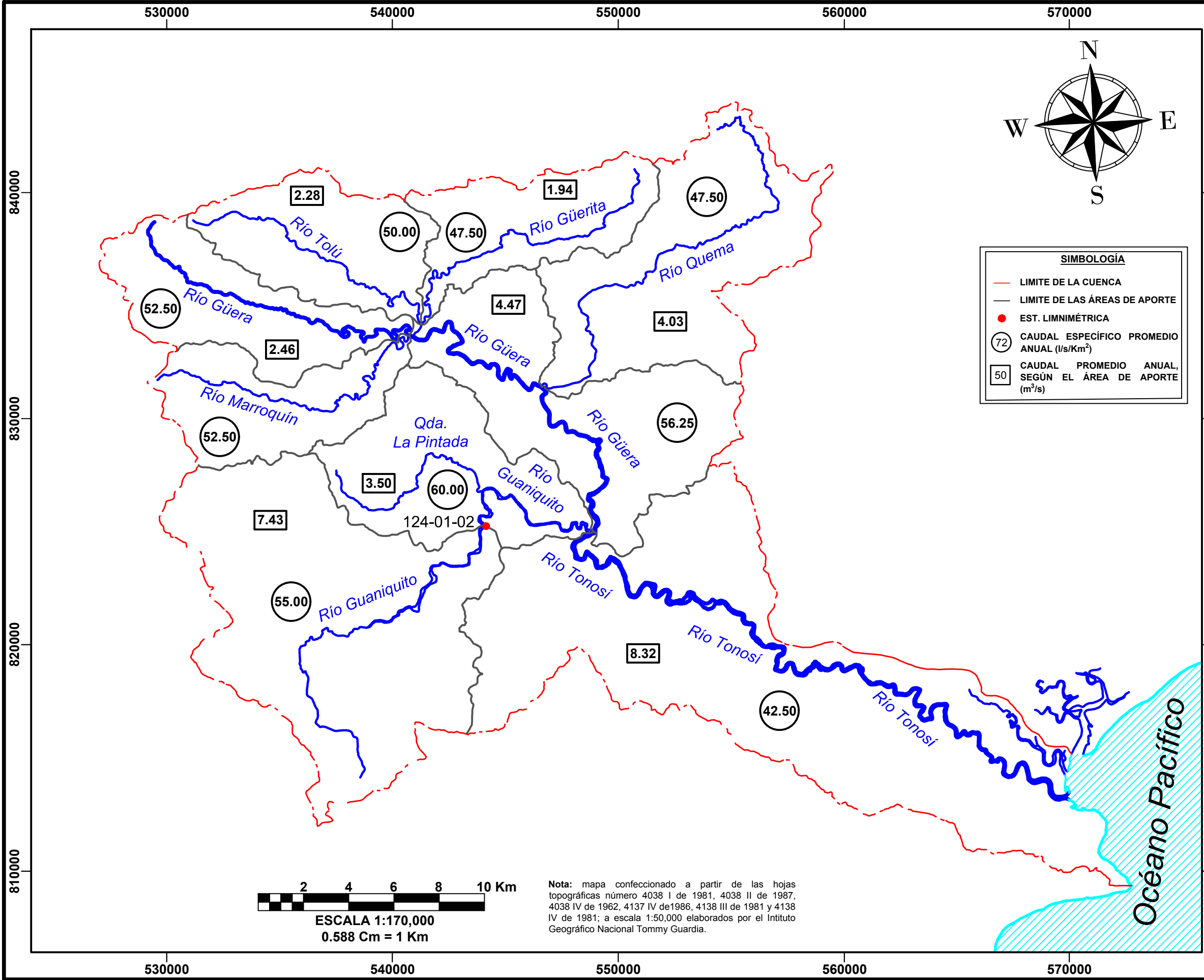
ANEXO XXVI:

ISOYETAS ANUALES (mm)

LOCALIZACIÓN REGIONAL

REFERENCIAS DE ELABORACIÓN

Autor: Jaime Ortega	Revisado y aprobado por: Prof. Ing. Noé Aguilar Prof. Ing. Cecilio Estribí Prof. Ing. Tirso Solís
Dibujo: Jaime Ortega	
Fecha: junio 2017	
Coordenadas: UTM, NAD-27 Canal Zone 17 N	



SIMBOLOGÍA

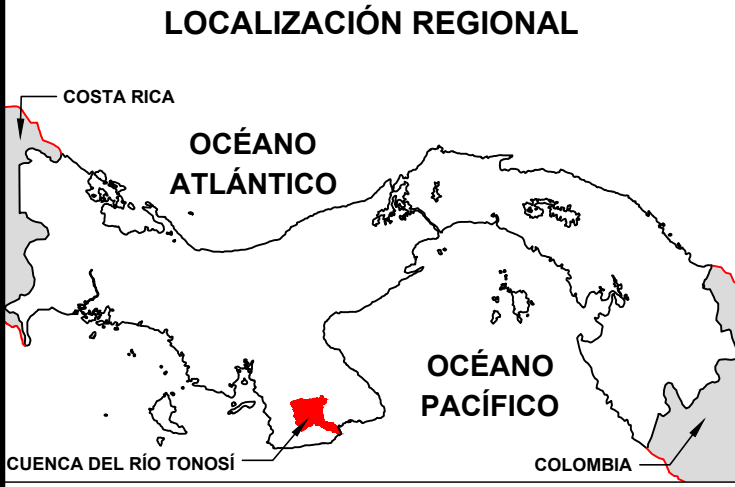
- LIMITE DE LA CUENCA
- LIMITE DE LAS ÁREAS DE APORTE
- EST. LIMNIMÉTRICA
- 72 CAUDAL ESPECÍFICO PROMEDIO ANUAL (l/s/Km²)
- 50 CAUDAL PROMEDIO ANUAL, SEGÚN EL ÁREA DE APORTE (m³/s)



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA N° 124 RÍO TONOSÍ

ANEXO: XXVII
CAUDALES ESPECÍFICOS DE LA CUENCA DEL RÍO TONOSÍ



REFERENCIAS DE ELABORACIÓN	
Autor: Jaime Ortega	Revisado y aprobado por: Prof. Ing. Noé Aguilar Prof. Ing. Cecilio Estribí Prof. Ing. Tirso Solís
Dibujo: Jaime Ortega	
Fecha: junio 2017	
Coordenadas: UTM, NAD-27 Canal Zone 17 N	