

Evaluación de potencial hídrico superficial de Cinco Cuencas del
Eje Panamericano del Estado Mérida

Evaluation of surface water potential of five basins of the pan american
axis of the state Mérida

Yorley Bracho¹

Fecha de recepción: 09/11/2016

Fecha de aceptación: 08/06/2017

Resumen

Las modificaciones en los patrones climáticos y el deterioro de las cuencas hidrográficas junto con el incremento de la población y de las actividades económicas, impactan la disponibilidad de agua para atender las demandas actuales. El presente estudio evaluó la disponibilidad de agua en cinco cuencas del Eje Panamericano, a través de la aplicación del método de transferencia de caudales de la cuenca patrón Puente del Diablo en el río Capaz a las cuencas en estudios de los ríos Mucujepe, Capaz, Frio, Tucaní y San Pedro, tomándose como punto de cierre para estas cuencas la carretera panamericana del estado Mérida. Los resultados obtenidos demuestran que de las cinco cuencas analizadas en el eje panamericano, Capaz con $5,11 - 14,70m^3/s$ y Tucaní con $4,91 - 11,93m^3/s$ arrojaron que el 95 % del tiempo presentarían los mayores caudales, las restantes cuencas quedarían San Pedro, Río Frio y Mucujepe de última. Si consideramos que un 10 % de este caudal corresponde a lo que se conoce como caudal Ecológico, tenemos que la disponibilidad definitiva de los ríos para el 95 % del tiempo, se encuentra entre $3,89 - 12,58m^3/s$ para el río Capaz y de $4,10 - 10,22m^3/s$ para el río Tucaní.

Palabras clave: Potencial Hídrico, Cuenca, Método de transposición, Caudal.

Abstract

Changes in weather patterns and deterioration of watersheds together with increased population and economic activities impact the availability of water to meet current demands. The present study evaluated the water availability

¹Investigador Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida-Venezuela

in five basins of the Pan American Axis. The study was made through the application of the method of transfer of flows of the Puente del Diablo basin in the Capaz river to the basins in studies of the Mucujepe, Capaz, Frio, Tucaní and San Pedro rivers, taking as a point of closure for these basins the Pan-American highway of the Mérida state. The obtained results show that of the five basins analyzed in the Pan - American axis, Capaz with 5, 11 – 14, 70 m^3/s and Tucaní with 4, 91 – 11, 93 m^3/s showed that 95% of the time presented the highest flows, the remaining basins would be San Pedro, Rio Frio and Mucujepe last. If we consider that 10% of this flow corresponds to what is known as Ecological flow, we have that the final availability of the rivers, 95% of the time, is between 3.89 – 12.58 m^3/s for the river Capable and 4, 10 – 10, 22 m^3/s for the Tucaní River.

Keywords: Water potential, Basin, Transposition method, Flow rate.

Introducción

El abastecimiento seguro de agua para el consumo humano es una preocupación creciente que enfrentan los gobernantes de cara al cambio climático. Las modificaciones en los patrones climáticos, el cambio de uso de la tierra, el deterioro de las cuencas hidrográficas, están impactando severamente la disponibilidad de agua para atender las demandas de la biodiversidad, del consumo humano y del consumo de las actividades económicas.

En ese sentido el presente estudio evaluó la disponibilidad de agua para el consumo humano de cinco cuencas localizadas en un eje de fuerte dinamismo socioeconómico con riesgos importantes de desertificación y de cauces cortos y por ende con áreas de captación de aguas reducidas.

A fin de construir una idea clara del problema de la disponibilidad de agua para el consumo humano, se realizó una caracterización y análisis físico natural con énfasis en las variables que inciden directamente sobre la disponibilidad actual y potencial de agua, así como en aquellos componentes que inciden sobre la demanda actual y futura de agua para el consumo humano.

En tal sentido la caracterización y análisis físico natural de las cuencas se desarrolló a partir del variables clima e hidrología.

La estimación de la oferta hídrica de las cuencas se realizó a través de la aplicación

del Coeficiente de Transferencia que es el producto de las relaciones entre el área de la cuenca en estudio y la cuenca patrón con la precipitación de la cuenca en estudio y la cuenca patrón.

Los resultados del estudio coadyuvarán a los esfuerzos de las instancias con competencia en la gestión integral del agua para el desarrollo de planes de manejo del recurso agua bajo criterios de sustentabilidad. Esto último implica prever la armonización de la relación disponibilidad-necesidad futura en las cuencas analizadas (Pulido, 2011).

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio abarca las cuencas de 5 ríos (Mucujepe, Capaz, Frio, Tucaní y San Pedro), que se encuentran asentadas en dos regiones naturales altamente contrastantes, la Región Natural de los Andes y la Región Natural de la Depresión del Lago de Maracaibo. En la primera región se localizan las nacientes de los cauces y en la segunda, las áreas de desembocaduras de éstos al Lago de Maracaibo y de allí a la Vertiente del Mar Caribe (Figura 1).

En cuanto a la ubicación político administrativa el área de estudio comprende parte de los municipios Francisco Javier Pulgar y Sucre del estados Zulia (áreas desembocaduras) y parte de los municipios Alberto Adriani, Sucre, Andrés Bello, Campo Elías, Obispo Ramos de Lora, Caracciolo Parra y Olmedo, Tulio Febres Cordero y Justo Briceño de estado Mérida (áreas de nacientes y posiciones intermedias de las cuenca. A continuación una pequeña descripción de cada cuenca:

La cuenca del río Mucujepe se asienta en los municipios Alberto Adriani y Sucre, tiene una superficie de $174,75\text{Km}^2$ equivalentes a 17.475,40 ha. Nace entre 2800 y 3000 metros en el Páramo de El Tambor, parte alta del río Cacique. A nivel de la Troncal 001: tiene una altitud aproximada de 200 m.

En cuanto a la ubicación política administrativa se asienta en los municipios Alberto Adriani y Sucre en el estado Mérida y Francisco Javier Pulgar en el estado Zulia.

La cuenca del río Capaz se asienta en los municipios Obispo Ramos de Lora, Andrés Bello y Campo Elías. Tiene una superficie de 46.606,71 ha. Se extiende desde 100 hasta 4.200 metros de altitud aproximadamente en el páramo de La Atravesada ([Rodríguez, et al., 2005] citado por IFLA, 2014). Es parte de la Vertiente Norte

del estado Mérida y es una zona protectora para el Sistema Nacional de Áreas Bajo Administración Especial (ZP-35)².

La cuenca del río Frio se localiza en el municipio Caracciolo Parra y Olmedo. Tiene una superficie aproximada de 15.680 ha. Se extiende desde 0 hasta los 4.200 msnm el páramo de La Atravesada ([Rodríguez, et al., 2005] citado por IFLA, 2014). Es parte de la Vertiente Norte del estado Mérida, además del Parque Nacional Sierra del Norte o de la Culata y de la Zona Protectora (ZP-32)³

La cuenca del río Tucaní se localiza en el municipio Caracciolo Parra y Olmedo y Sucre del Estado Zulia. Tiene una superficie aproximada de 32.800 ha. Se extiende desde 0 hasta los 4.400 msnm el páramo de Tucaní. Es parte de la Vertiente Norte del estado Mérida, además del Parque Nacional Sierra del Norte o de la Culata.

La cuenca del río San Pedro se localiza en los municipios Tulio Febres Cordero y Justo Briceño del estado Mérida. Tiene una superficie aproximada de 22.577 ha. Se extiende desde 0 hasta los 3.400 msnm. Es parte de la Vertiente Norte del estado Mérida, además del Parque Nacional Sierra del Norte o de la Culata.

Metodología

Dado que la información disponible de los caudales instantáneos o diarios son limitados, los flujos medios para algún sitio de interés, se pueden determinar mediante métodos basados en análisis estadísticos, de sitios con información, y extrapolar estos valores a aquellos donde no existan mediciones.

El principal objetivo de la variable hidrológica en este estudio es determinar la disponibilidad superficial en las cuencas de los ríos Mucujepe, Capaz, Frio, Tucaní y San Pedro donde su punto de cierre corresponde a la carretera panamericana del estado Mérida, de los cinco ríos, el Capaz es el único que posee datos hidrométricos, en la estación puente el diablo (087) según archivos del ministerio del ambiente, que permiten conocer cuál es la producción de agua. En la Figura 1., se ilustra la ubicación de esta única estación, y por existir en el área de trabajo una carencia de estaciones hidrométricas se decidió trabajar con los datos de la estación Puente El Diablo en el río

²Decreto Nro 175 - Declaratoria de la Zona Protectora - Cuenca Hidrográfica del Río Capaz (Capazón)

³Nro 105 - Declaratoria de la Zona Protectora - Piedemonte Norte Cordillera Andina y Serranía Misoa Trujillo

Capaz. En la Tabla 1 se presentan los caudales medios correspondientes a esta estación hidrométrica corresponde a un periodo corto y antiguo (1965-1976).

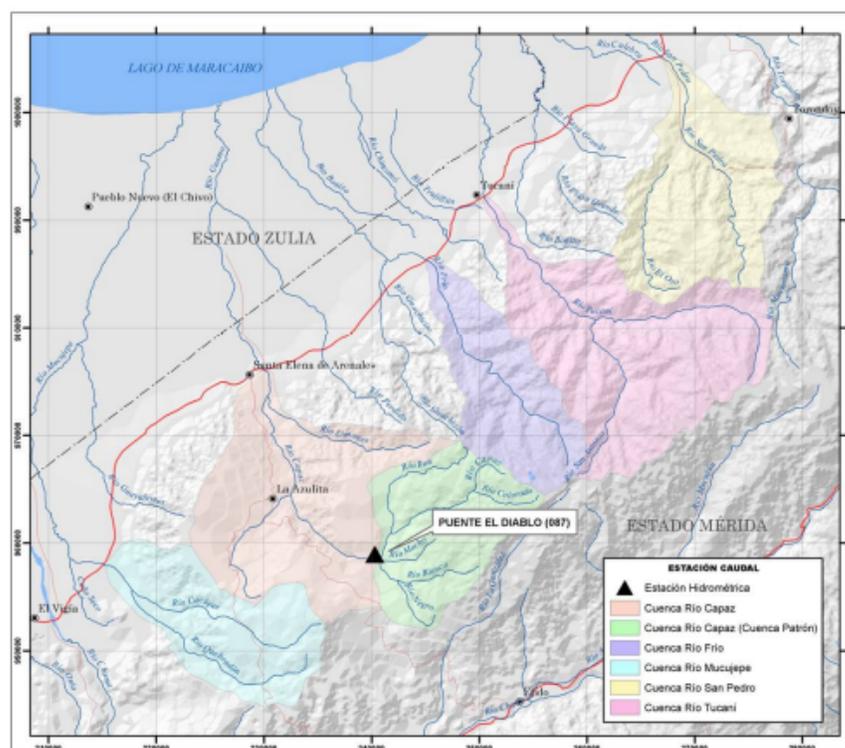


Figura 1: Área de estudio con la Estación hidrométrica.
Elaborado por IFLA, 2014, a partir del SIGOT 2008 y Archivos Maestros INAMEH.

Tabla 1: Promedio de los caudales medios mensuales y anuales registrados en la estación Puente El Diablo en el río Capaz.

Serial	Río	Estación	Período	Gastos Medios (M^3/s)												
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
087	Capaz	Puente El Diablo	65-76	3,87	3,04	3,25	5,74	8,12	6,72	5,73	7,17	9,12	9,08	8,23	6,22	6,35

Fuente: Archivos maestros INAMEH citado por IFLA 2014.

Una vez identificada la cuenca patrón (087), se le aplicó el método de transferencia de caudales para los ríos Mucujepe, Capaz, Frio, Tucaní y San Pedro, tomándose como punto de cierre para estas cuencas la carretera panamericana del estado Mérida. Para la predicción de la disponibilidad y variabilidad del agua, la hidrología hace uso de técnicas

que se apoyan en las estadísticas basadas en los antecedentes hidrometeorológicos y bajo el principio de que lo que ha ocurrido en el pasado puede esperarse ocurre en el futuro, siempre y cuando las condiciones del sistema permanezcan inalteradas.

La determinación de los caudales medios en el punto de cierre establecido para las cuencas de interés se realizó usando un Coeficiente de Transferencia, el cual depende del área de la cuenca y del promedio anual o mensual de precipitación en la misma, a continuación se presentan las ecuaciones que definen el coeficiente de transferencia:

$$Ct = \left[\frac{A_{est}}{A_{pat}} \right] x \left[\frac{P_{est}}{P_{pat}} \right] \quad (1)$$

Donde:

A_{est} : Área de la cuenca en estudio en km^2 .

A_{pat} : Área de la cuenca piloto o patrón en km^2 .

P_{est} : Precipitación promedio anual o mensual de la cuenca en estudio en mm.

P_{pat} : Precipitación promedio anual o mensual en estudio.

El Coeficiente de Transferencia es el producto de las relaciones entre el área de la cuenca en estudio y la cuenca patrón y entre la precipitación de las cuencas en estudio y la cuenca patrón. La determinación de la oferta hídrica en la cuenca en estudio, se determinó aplicando el coeficiente de Transferencia para cada una de las probabilidades empíricas consideradas, aplicando la siguiente expresión:

$$Q_{est.i} = Q_{pat.i} x Ct \quad (2)$$

Donde:

$Q_{est.i}$: Caudal de la unidad bajo estudio para el mes i, en m^3/s

$Q_{pat.i}$: Caudal para probabilidad de la cuenca patrón para el mes i, en m^3/s .

Ct : Coeficiente de transferencia.

Conceptualización del área de estudio.

La estación Puente del Diablo en el río Capaz se tomó como punto de cierre, a fin de considerarla como cuenca patrón y de esta forma extrapolar los caudales a las cuencas restantes, cuyos puntos de cierre quedaron definidos por la carretera Panamericana del estado Mérida. La Figura 2 muestra la delimitación de la cuenca patrón y de las cuencas en estudio, las áreas respectivas se muestran en la Tabla 2.

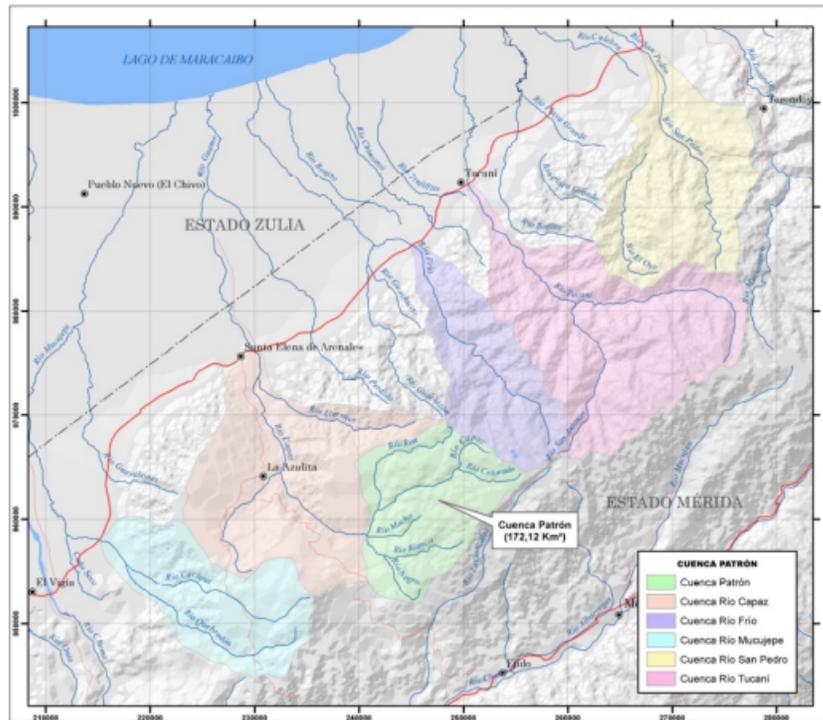


Figura 2: Delimitación de la cuenca patrón y cuencas estudios.
Fuente: Elaborado por IFLA, 2014, a partir del SIGOT 2008

Tabla 2: Área de la cuenca patrón y de las cuencas delimitadas.

Cuencas	Área (km^2)
Cuenca Patrón Río Capaz Estación Puente El Diablo	172,12
Cuenca Río Mucujepe- Carretera Panamericana	174,75
Cuenca Río Capaz- Carretera Panamericana	465,87
Cuenca Río frío- Carretera Panamericana	156,80
Cuenca Río Tucaní-Carretera Panamericana	328,51
Cuenca Río San Pedro-Carretera Panamericana	225,77

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano (2014).

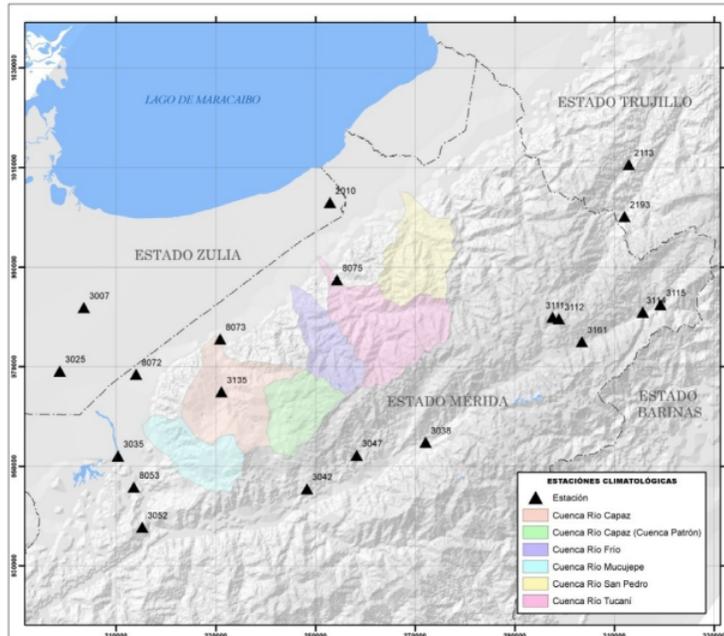


Figura 3: Distribución espacial de las estaciones climatológicas y estadísticas básicas de los datos de precipitación anual.

Fuente: Elaborado por IFLA, 2014, a partir del SIGOT 2008 y Archivos Maestros INAMEH.

Para el cálculo de la precipitación media mensual se consideraron 20 estaciones climatológicas ubicadas en el entorno al área de estudio (Figura 3). El cálculo de la precipitación media mensual se determinó con base en los valores medidos en estaciones con 16 años de registro, a partir de estos valores se calcularon los promedios mensuales para cada punto considerado.

La metodología utilizada para generar el mapa de precipitación media mensual y anual se basó en un análisis geoestadístico que permitió determinar la estructura y distribución espacial de la lluvia sobre el área de estudio, se interpolaron por kriging ordinario puntual el valor de precipitación media mensual y anual sobre una malla con resolución de 100 x 100m.

Determinación de la precipitación media cuenca Patrón y cuencas en estudio

Considerando la distribución espacial de la precipitación a nivel regional se estimaron los valores de precipitación media anual y mensual para la cuenca patrón, la Tabla 3.,

Potencial Hídrico del Eje Panamericano Edo. Mérida

muestra los promedios de precipitación media anual y la Figura 4., muestra la distribución espacial de la precipitación anual.

Tabla 3: Precipitación promedio anual (mm) para la cuenca patrón y cuencas delimitadas.

Cuencas	Precipitación Media Anual (mm)
Cuenca Patrón Río Capaz Estación Puente El Diablo	1632,62
Cuenca Río Mucujepe- Carretera Panamericana	1232,73
Cuenca Río Capaz- Carretera Panamericana	1.529,48
Cuenca Río frío- Carretera Panamericana	2.074,23
Cuenca Río Tucaní-Carretera Panamericana	1.444,59
Cuenca Río San Pedro-Carretera Panamericana	1.973,07

Fuente: Instituto Forestal Latinoamericano (2014).

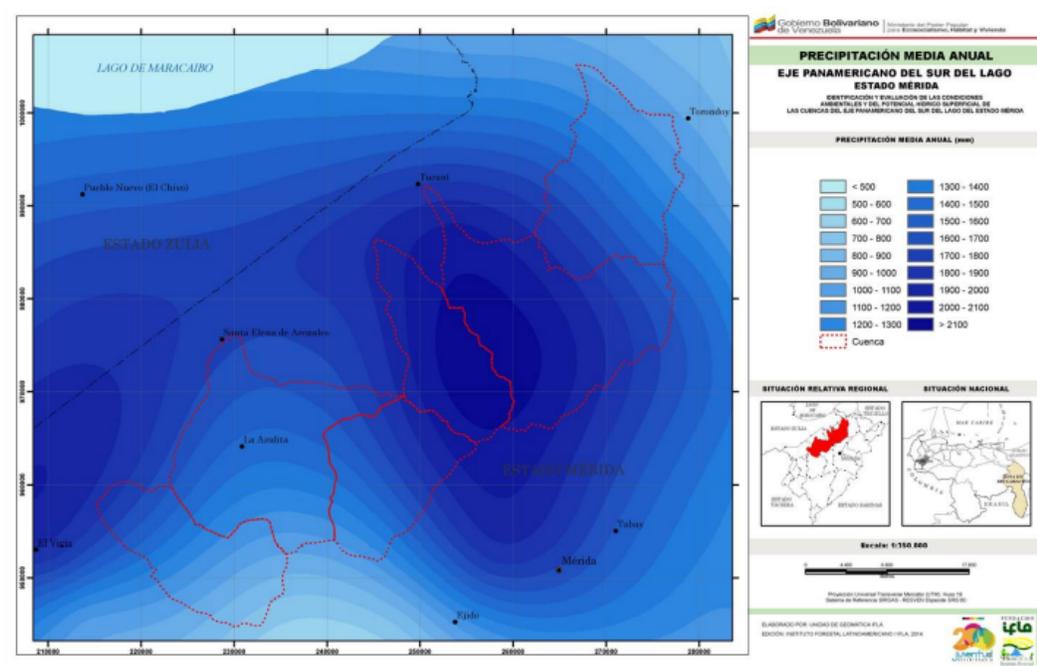


Figura 4: Precipitación media anual cuenca patrón y cuencas de estudio.

Fuente: Elaborado por IFLA, 2014, a partir del SIGOT 2008 y Archivos Maestros INAMEH.

Defiguermínación de la oferta hídrica para cada cuenca definida por los sitios de confluencia a través del coeficiente de transferencia.

A los registros históricos de caudales en la estación hidrométrica Puente El Diablo en el río Capaz se le realizó un análisis de frecuencia para diferentes probabilidades, ello ya que los valores mensuales de estos factores tienen variabilidad en los años de registro y los valores promedios, no reflejan las condiciones reales.

La finalidad del análisis de frecuencia fue relacionar la magnitud de los caudales a través del uso de una distribución de probabilidades, basándose en los datos de caudales registrados en la estación hidrométrica. El cálculo de los gastos mensuales medios se realizó ajustando los datos a una distribución estadística, calculándose el caudal confiable para diferentes probabilidades de ocurrencia utilizando el modelo AJUSTE V3 desarrollado por Duque, 2000, aplicando un análisis de frecuencia para datos agrupados al periodo analizado de caudales de la estación Puente El Diablo en el río Capaz y de esta manera se construyó la curva de duración de caudales.

Diseño de Curva de Duración y Variación de Caudales

La curva de duración es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal Q , como ordenada y el número de días del año (generalmente expresado en % de tiempo) en que ese caudal Q , es excedido o igualado, como abscisa. La ordenada Q para cualquier porcentaje de probabilidad, representa la magnitud del flujo en un año promedio, que espera que sea excedido o igualado un porcentaje, P , del tiempo. Los datos del caudal medio anual o mensual fueron usados para construir la curva.

La duración de caudales indica los caudales para una probabilidad en términos de porcentaje del tiempo, en este sentido, los caudales mayores tienen menor probabilidad de ocurrir durante un año, o sea que se presentan en un porcentaje del tiempo menor que los caudales mínimos. Su importancia radica en que las curvas se pueden utilizar en la planificación y diseño de obras de aprovechamiento de agua.

La curva de variación estacional permite obtener información general acerca del comportamiento estacional de los caudales de un río (períodos de déficit y exceso). El conjunto de curvas de variación determinan el régimen de distribución de caudales en el tiempo y en función de la probabilidad con que los eventos son igualados o excedidos.

Resultados y discusión

Presentación de las cuencas

1. Río Mucujepe

La cuenca del río Mucujepe es la fuente principal del abastecimiento de agua para el consumo humano de la ciudad de El Vigía. Las aguas del río son tratadas en la planta potabilizadora Mucujepe y de allí son dispuestas para el consumo de la población. El año 2010 Corpoandes reportó que el Acueducto del mismo nombre atendía a una población de 98.291 habitantes equivalentes al 71,8 % de la población del municipio [Corpoandes, 2010a].

La cuenca es una zona de protección ZP-38 que fue decretada en 19 de noviembre de 1974 según Decreto Nro. 557 - Declaratoria de la Zona Protectora - Cuenca del Río Mucujepe.

Cualquier afectación que se realice en las áreas de captación de agua de la cuenca es por tanto una amenaza al abastecimiento seguro y de buena calidad de agua potable, a la vida útil de las instalaciones de potabilización de agua y a la sustentabilidad de los costos de operación. En tal sentido [Linares, 2004] señala que aproximadamente 11 % de la cuenca está afectada por problemas de erosión cuestión que se traduce en altos niveles de turbidez del agua cruda [Pascual, 2005]. Estudios realizados en la cuenca indican que el deterioro de las condiciones ambientales (deforestación y cambio de uso del suelo) están incidiendo en la calidad del agua ya que está aumentando el arrastre de partículas en suspensión además de problemas propios de contaminación por descargas de efluentes y lixiviados derivados de las actividades agrícolas locales [Pascual, 2005]. Se habla que aproximadamente el 10 % de la cuenca está afectada con problemas de erosión, el 0,4 % de la cuenca presenta una susceptibilidad a la erosión hídrica baja, 70,73 % presenta una susceptibilidad moderada, 28,75 susceptibilidad alta y 0.47 muy alta [Linares, 2004].

1.1. Caracterización Físico Natural

1.1.1 Clima

La cuenca presenta una diversidad climática asociada al gradiente antitérmico, las temperaturas medias en la base de la cuenca están en el orden de los 25,5°C, mientras que en las partes más altas no superan los 0°C con temperaturas medias en altitudes intermedias entre 14 y 22°C.

La precipitación oscila entre 2000 mm/año en las posiciones bajas de la cuenca y 800 mm/año en las posiciones altas. El régimen de precipitación es bimodal característico del patrón lacustre con dos picos de precipitación (abril-mayo y septiembre-octubre) y dos picos de sequía entre diciembre-marzo y entre junio y julio.

1.1.2 Hidrología

La cuenca del Río Mucujepe es de forma ensanchada, indicativo de violencia en las crecidas. Esto se debe a que el recorrido del escurrimiento no es tan corto, ocasionando que la concentración de la escorrentía sea mayor, originando así mayores crecidas. El patrón de drenaje de esta cuenca es dendrítico

Los ríos de la cuenca son Blanco, Cacique, Caña Brava, Caño Blanco, Caño El Quebradón, Quebrada Azul, Quebrada La Osa, Quebrada La Patijilla, Quebrada La Roncona, Quebrada Los Ranges, Quebrada Monte Redondo [Pascual, 2005]. El régimen de los ríos se caracteriza por la violencia de las crecientes que provocan graves inundaciones en la planicie aluvial, cambios abruptos en la dinámica fluvial, socavamiento de orillas, derrames detríticos y abundantes cargas de sedimentos.

1.2. Determinación de la oferta hídrica.

Ajustados los caudales medios de la cuenca patrón río Capaz para diferentes probabilidades de ocurrencia, determinada el área y la precipitación media mensual para la cuenca patrón y la cuenca del río Mucujepe, se procedió a determinar el Coeficiente de Transferencia, para posteriormente calcular los caudales medios mensuales de la misma. En la Tabla 4, se presentan las áreas y precipitaciones media mensuales de las cuencas patrón y cuenca del río Mucujepe En la Tabla 5, se muestran los Coeficientes de Transferencia mensuales del río Mucujepe.

Tabla 4: Áreas cuencas Patrón y Mucujepe.

Cuencas	Áreas (Km^2)
Cuenca Patrón Río Capaz Estación Puente El Diablo	172,12
Cuenca Rio Mucujepe- Carretera Panamericana	174,75

Fuente: IFLA, 2014

Potencial Hídrico del Eje Panamericano Edo. Mérida

Tabla 5: Coeficientes de transferencia mensuales para la cuenca del río Mucujepe.

Parámetros	Cuenca Mucujepe											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$A_{est}(km^2)$	174,75	174,75	174,75	174,75	174,75	174,75	174,75	174,75	174,75	174,75	174,75	174,75
$A_{pat}(km^2)$	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12
$P_{est}(km^2)$	51,42	55,39	94,54	129,38	132,88	143,87	86,591	107,68	114,47	160,29	128,18	95,85
$P_{pat}(km^2)$	39,11	61,62	84,57	149,56	202,99	156,13	23,55	155,12	182,54	224,07	170,64	84,25
Ct	1,15	0,91	1,14	0,78	0,66	0,94	0,71	0,70	0,64	0,73	0,76	1,15

Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

La determinación de la oferta hídrica de la cuenca del río Mucujepe definida por el punto de cierre en la carretera Panamericana, se obtuvo aplicando el coeficiente de transferencia a las diferentes probabilidades empíricas de los caudales obtenidos para la cuenca patrón con base en la siguiente ecuación:

$$Q_{est.i} = Q_{pat.i} \times Ct \quad (3)$$

$Q_{est.i}$: Caudal de la unidad bajo estudio para el mes i , en m^3/s $Q_{pat.i}$: Caudal para probabilidad de la cuenca patrón para el mes i , en m^3/s . Ct : Coeficiente de transferencia o factor de corrección.

En la Tabla 6, se pueden observar los caudales medios mensuales de las diferentes probabilidades empíricas obtenidos al aplicar el coeficiente de transferencia a los caudales de la cuenca patrón.

Tabla 6: Caudales mensuales obtenidos al aplicar coeficiente de transferencia a las diferentes probabilidades empíricas cuenca Río Mucujepe en (m^3/s).

Prob %	Caudales cuenca Mucujepe (m^3/s).											
	QEne	QFeb	QMar	QAbr	QMay	QJun	QJul	QAgo	QSep	QOct	QNov	QDic
100	1,87	1,55	2,04	1,84	2,26	2,71	2,21	3,10	3,44	4,36	3,89	3,23
90	2,47	1,81	2,32	2,44	2,92	3,71	2,58	3,47	4,06	4,84	4,44	3,87
80	3,06	2,08	2,60	3,03	3,58	4,71	2,96	3,83	4,68	5,33	4,99	4,50
70	3,66	2,34	3,15	3,62	4,23	5,42	3,34	4,20	5,14	5,82	5,54	5,13
60	4,26	2,60	3,43	4,21	4,80	5,85	3,71	4,65	5,45	6,24	6,01	5,77
50	4,98	2,87	3,71	4,81	5,33	6,28	4,09	5,14	5,76	6,63	6,45	6,40
40	5,73	3,13	3,71	5,47	5,86	6,71	4,47		6,07	7,02	6,89	7,18
30	6,48	3,39	3,98	6,51	6,38	7,13			6,38	7,41	7,33	8,65
20		3,65	4,75	7,54		7,56						10,13
10			6,00	8,58								

Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

Los caudales obtenidos para la cuenca del río Mucujepe muestran que los caudales oscilan entre $1,55m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 100 %

para el mes de febrero, y $10.13m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 20 % para el mes de diciembre.

1.2.1 Curva de Duración y Variación de Caudales.

Se presenta a continuación, la curva de duración de caudales considerando los valores de caudales medios obtenidos por el método de transferencia a partir de los datos de la estación Puente El Diablo en el río Capaz.

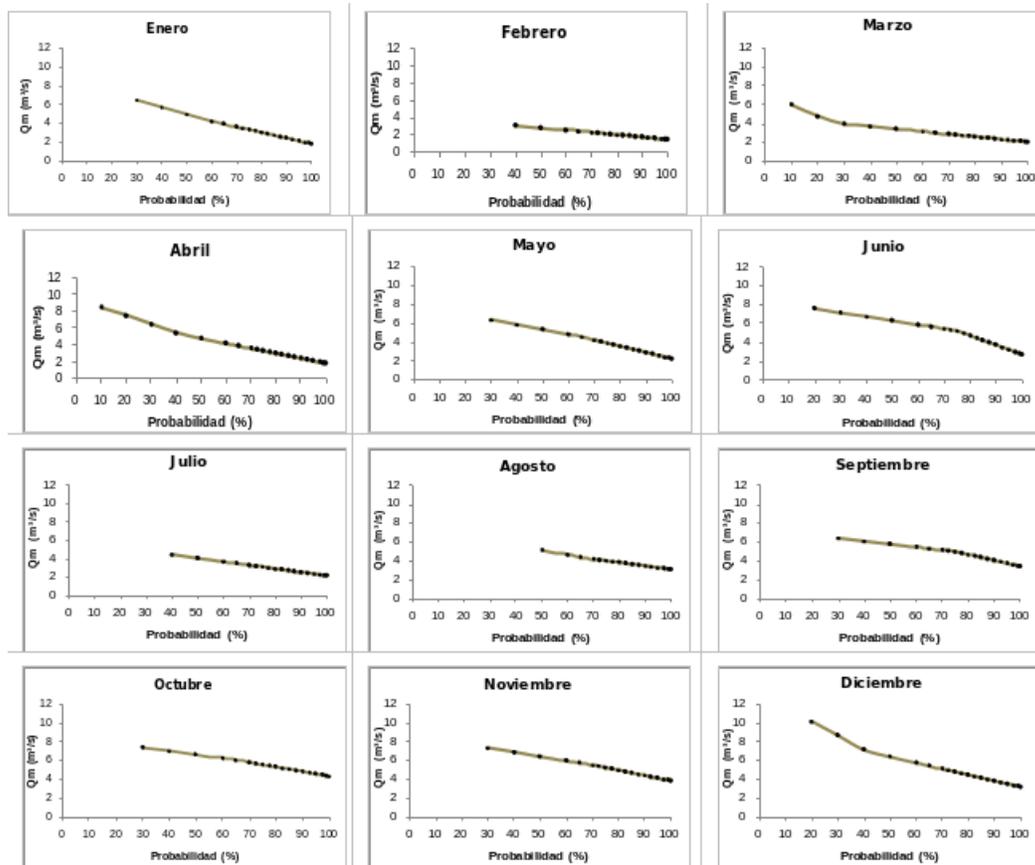


Figura 5: Curvas de duración de caudales, basada en caudales medios mensuales de la cuenca río Mucujepe.

Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

De acuerdo al procedimiento seguido la cuenca del río Mucujepe, al

considerar la curva de duración de caudales se consigue que febrero presenta los caudales más bajos donde el 95 % del tiempo el caudal medio mensual es de $1.68m^3/s$; y el 80 % del tiempo es de $2.08m^3/s$. Todo lo contrario sucede en el mes de octubre que presenta los mayores caudales donde el 95 % del tiempo el caudal medio mensual es de $4,60m^3/s$; y el 85 % del tiempo es de $5,09m^3/s$ (Figura 5).

Para la evaluación de la disponibilidad de agua superficial, es conveniente conocer su variación en función del tiempo y la probabilidad de ocurrencia.

La Figura 7 que corresponde a la curva de variación estacional, permite observar que el periodo de caudales bajos ocurre entre enero a abril siendo el mes de febrero el que presenta los meses de menor caudal entre un rango de $1,68-2.87m^3/s$. Los caudales máximos se presentan en dos periodos una conformada desde Mayo - Junio y otro desde agosto - diciembre, siendo el mes de octubre el que presenta los valores más altos de caudal con valores que van desde $4,60 - 6,63m^3/s$.

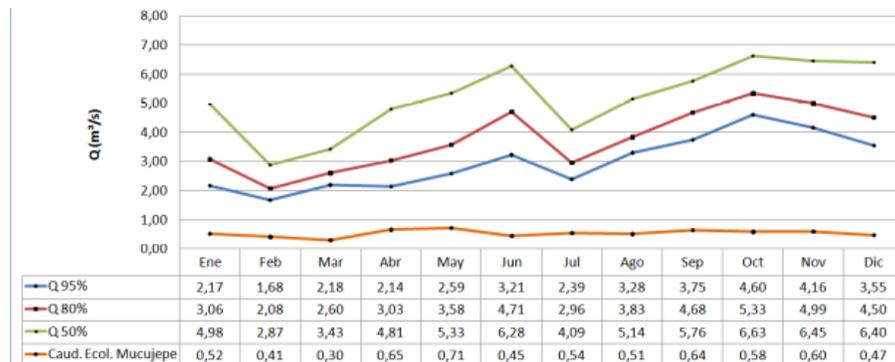


Figura 6: Curva de variación estacional del río Mucujepe-Panamericana.
Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

2. Río Capaz

La cuenca del río Capaz alimenta los acueductos de Santa Elena de Arenales (río Limones), Los Caños (quebrada El Merideño) y La Azulita (río Capaz y quebrada Guerrero). Son atendidas nueve comunidades a saber: Capazón, Santa Elena de Arenales, Caño Negro, Río Perdido, Caño Moro, Caño Carbón, Gavilancito, La Azulita y san Luis. De acuerdo a los datos aportados por [Aguas de Mérida, 2009]

los acueductos cuyas fuentes nacen en la cuenca del río Capaz tenían para la fecha, un total de 1588 suscriptores en el municipio Ramos de Lora y 762 suscriptores en el municipio Andrés Bello. En términos de población atendida para el 2009 la cuenca surtía de agua potable a 21.412 habitantes de Obispo Ramos de Lora y 11652 en Andrés Bello.

A continuación se presenta la caracterización y análisis de los aspectos físico natural y socioeconómico de la cuenca haciendo énfasis en aquellos aspectos que tienen directa relación la conservación de la cuenca y con el abastecimiento seguro de agua potable para el consumo humano. Buena parte de los elementos físico naturales han sido tomados del trabajo de [Rodríguez, et al., 2005] y [Sistema Venezolano de Información sobre Diversidad Biológica, 2005]

2.1. Caracterización Físico Natural

2.1.1. Clima

La cuenca presenta una diversidad climática asociada al gradiente altitérico, las temperaturas medias en la base de la cuenca están en el orden de los $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en las partes más altas no superan los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ con temperaturas medias en altitudes intermedias entre $14\text{y}22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La precipitación oscila entre 2000 mm/año las posiciones bajas de la cuenca y 800 mm/año en las posiciones altas, con valores intermedios (1400 mm/año) sitios como la Azulita ubicada a 1000 msnm.

El régimen de precipitación es bimodal característico del patrón lacustre con dos picos de precipitación (abril-mayo y septiembre-octubre) y dos picos de sequía entre diciembre-marzo y entre junio y julio.

2.1.2. Hidrografía

La cuenca del río Capaz forma parte de la cuenca del lago de Maracaibo, nace en el páramo de las Adjuntas [Rodríguez, et al., 2005] y los tributarios más importantes son los ríos Limones, Pan, Macho, Blanco y Colorado, además existen una serie de quebradas como: El Campanario, El Molino, Monte Frío, El Diablo, El Bao, El Tigral, El Paujil, Lucateva, Capas y La Azulita. El patrón de drenaje

que presenta en forma general es de tipo dendrítico bien integrado [Sistema Venezolano de Información sobre Diversidad Biológica, 2005].

2.2. Estimación de la Oferta Hídrica

Ajustados los caudales medios de la cuenca patrón río Capaz para diferentes probabilidades de ocurrencia, determinada el área y la precipitación media mensual para la cuenca patrón y la cuenca del río Capaz-Panamericano, se procedió a determinar el coeficiente de transferencia, para posteriormente calcular los caudales medios mensuales de la misma. En la Tabla 7 y 8 se presentan las áreas y precipitaciones media mensuales de las cuencas patrón y cuenca del río Capaz-Panamericano, así como los coeficientes de transferencia mensuales del río Capaz.

Tabla 7: Áreas cuencas patrón y Capaz-Panamericana.

Cuencas	Áreas (Km^2)
Cuenca Patrón Río Capaz Estación Puente El Diablo	172,12
Cuenca Río Capaz- Carretera Panamericana	465,87

Fuente: IFLA, 2014

Tabla 8: Coeficientes de transferencia mensuales para la cuenca del río Capoz-Panamericana.

Parámetros	Cuenca Mucujepe											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$A_{est}(km^2)$	465,87	465,87	465,87	465,87	465,87	465,87	465,87	465,87	465,87	465,87	465,87	465,87
$A_{pat}(km^2)$	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12
$P_{est}(km^2)$	45,47	63,40	99,16	144,98	177,01	143,86	120,23	146,78	157,35	192,12	151,99	95,85
$P_{pat}(km^2)$	39,11	61,62	84,57	149,56	202,99	156,13	23,55	155,12	182,54	224,07	170,64	84,25
Ct	3,15	2,78	3,17	2,62	2,36	2,49	2,63	2,56	2,33	2,32	2,41	2,86

Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

En la Tabla 9, se pueden observar los caudales medios mensuales de las diferentes probabilidades empíricas obtenidos al aplicar el coeficiente de transferencia a los caudales de la cuenca patrón.

Con caudales obtenidos para la cuenca del río Capaz-Panamericana se puede observar que estos oscilan entre $4,40m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 100 % para el mes de enero, y $25,63m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 20 % para el mes de diciembre.

Tabla 9: Caudales mensuales obtenidos al aplicar coeficiente de transferencia a las diferentes probabilidades empíricas cuenca Río Capaz-Panamericana en (m^3/s).

Prob %	Caudales Cuenca Capaz- Panamericana (m^3/s).											
	QEne	QFeb	QMar	QAbr	QMay	QJun	QJul	QAgo	QSep	QOct	QNov	QDic
100	4,40	4,73	5,71	5,51	8,02	7,23	8,17	11,27	12,60	13,92	12,30	8,01
90	5,81	5,54	6,49	7,28	10,36	9,89	9,56	12,60	14,87	15,48	14,03	9,58
80	7,22	6,34	7,26	9,05	12,70	12,55	10,96	13,93	17,14	17,03	15,77	11,15
70	8,63	7,14	8,04	10,82	15,03	14,45	12,35	15,26	18,84	18,59	17,50	12,72
60	10,04	7,94	8,82	12,59	17,06	15,60	13,75	16,89	19,98	19,94	19,01	14,28
50	11,75	8,74	9,59	14,35	18,93	16,74	15,15	18,67	21,11	21,18	20,40	15,85
40	13,51	9,55	10,37	16,35	20,80	17,88	16,54		22,25	22,42	21,78	17,77
30	15,27	10,35	11,14	19,44	22,67	19,02			23,38	23,67	23,17	21,43
20		11,15	13,28	22,54		20,16						25,09
10			16,77	25,63								

Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

2.2.1. Curva de Duración y Variación de Caudales.

Se presenta a continuación, la curva de duración de caudales considerando los valores de caudales medios obtenidos por el método de transferencia a partir de los datos de la estación Puente El Diablo en el río Capaz.

De acuerdo al procedimiento seguido la cuenca del río Capaz-Panamericana, al considerar la curva de duración de caudales se consigue que enero y febrero presenta los caudales más bajos, donde enero el 95 % del tiempo presenta un caudal medio mensual es de $5,11m^3/s$; y el 85 % del tiempo febrero presenta el caudal más bajo igual a $5,94m^3/s$. Todo lo contrario sucede en el mes de octubre que presenta los mayores caudales donde el 95 % del tiempo el caudal medio mensual es de $14,70m^3/s$; y el 85 % del tiempo es de $16,26m^3/s$ (Figura 6).

Para la evaluación de la disponibilidad de agua superficial, es conveniente conocer su variación en función del tiempo y la probabilidad de ocurrencia.

La Figura 8 que corresponde a la curva de variación estacional, permite observar que el período de caudales bajos ocurre entre enero a abril siendo el mes de febrero el que presenta los meses de menor caudal entre un rango de $5,14-8.74m^3/s$. Los caudales máximos se presentan

en dos periodos una conformada desde Mayo - Junio y otro desde agosto - diciembre, siendo el mes de octubre el que presenta los valores más altos de caudal con valores que van desde 14, 70–21, 18m³/s.

Este estudio es solamente un diagnostico preliminar de la capacidad de producción de agua superficial del Río Capaz-Panamericana. Se ha utilizado un método de transferencia con los únicos datos históricos disponibles y confiables, los cuales conforman una serie antigua (1965-1976) y son representativos de una superficie menor, cuenca del Río Capaz Estación Puente El Diablo (087). Hay que considerar que muchos cambios relevantes deben haber ocurrido en los últimos 38 años que afecten la producción de agua de esta cuenca típica de montaña.

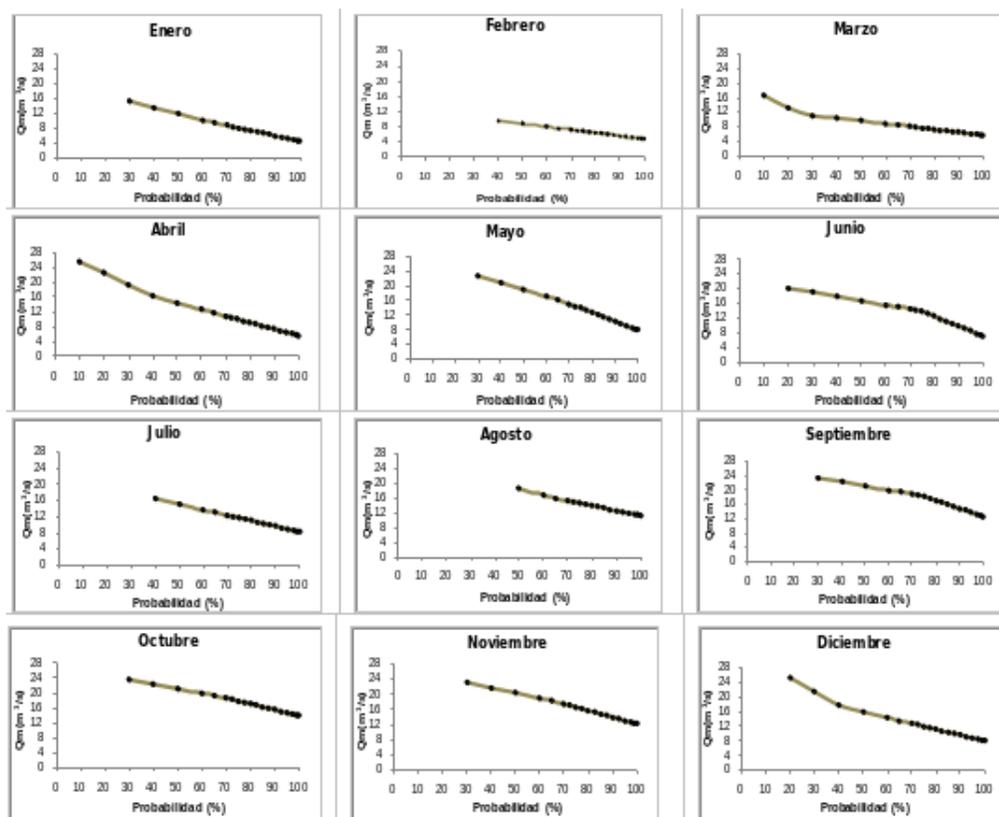


Figura 7: Curvas de duración de caudales, basada en caudales medios mensuales de la cuenca río Capaz.

Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH



Figura 8: Curva de variación estacional del río Capaz-Panamericana.
Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

Es recomendable que los entes con competencia e interés en este tipo de información, puedan tomar acciones que permitan realizar mediciones de niveles diarios en esta cuenca, lo cual permitiría obtener información real sobre los caudales en dicha fuente superficial. Con esta información se podrían validar los resultados obtenidos en el presente estudio hidrológico que como se mencionó anteriormente constituye solo un diagnóstico preliminar de la fuente estudiada.

3. Río Frio

La cuenca del río Frio es una pequeña cuenca que nace en el páramo de la Culata y desemboca en el río Guachizón. De acuerdo a la bibliografía consultada, al parecer no importancia directa en el suministro de agua potable a las poblaciones asentadas en el municipio Caracciolo Parra y Olmedo.

Funvisis reporta periodicidad en las inundaciones en el municipio Sucre y Javier Pulgar del estado Zulia por crecidas del río Frio.

3.1. Caracterización Físico Natural

3.1.1. Clima

La distribución espacial de la temperatura está referida al gradiente altitérmico, las temperaturas media van desde los 29 °C en posiciones que no superan los 900 metros de altitud a 0.8 °C en el paisaje de montaña a los 4000 msnm.

La precipitación oscila entre 2400 mm/año en las posiciones bajas de la cuenca, entre 900 y 2000 mm/año en el piedemonte y entre 1800 y 1000 en posiciones altas del paisaje de montaña respectivamente [Graterol, 2008].

El régimen de precipitación es bimodal característico del patrón lacustre con dos picos de precipitación (abril-mayo y septiembre-octubre) y dos picos de sequía entre diciembre-marzo y entre junio y julio. La zona presenta una gran nubosidad durante todo el año.

3.1.2 Hidrografía

Son parte de esta cuenca las quebradas El Encierro y El Charal y la Laguna El Encierro.

3.2. Determinación de la oferta hídrica.

Ajustados los caudales medios de la cuenca patrón río Capaz estación Puente El Diablo para diferentes probabilidades de ocurrencia, determinada el área y la precipitación media mensual para la cuenca patrón y la cuenca del río Frio, se procedió a determinar el coeficiente de transferencia, para posteriormente calcular los caudales medios mensuales de la misma. En la Tabla 10 y 11 se presentan las áreas y precipitaciones media mensuales de las cuencas patrón y cuenca del río Capaz-Panamericano y los coeficientes de transferencia mensuales del río Frio.

Tabla 10: Áreas cuencas patrón y Frio-Panamericana.

Cuencas	Áreas (Km^2)
Cuenca Patrón Río Capaz Estación Puente El Diablo	172,12
Cuenca Rio Frio- Carretera Panamericana	156,80

Fuente: IFLA, 2014

Tabla 11: Coeficientes de transferencia mensuales para la cuenca del río Frio-Panamericana.

Parámetros	Cuenca Frio-Panamericana											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$A_{est}(km^2)$	156,80	156,80	156,80	156,80	156,80	156,80	156,80	156,80	156,80	156,80	156,80	156,80
$A_{pat}(km^2)$	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12
$P_{est}(km^2)$	76,46	98,12	140,62	222,37	255,78	185,44	161,34	174,68	193,34	241,81	211,82	125,54
$P_{pat}(km^2)$	39,11	61,62	84,57	149,56	202,99	156,13	23,55	155,12	182,54	224,07	170,64	84,25
Ct	3,15	2,78	3,17	2,62	2,36	2,49	2,63	2,56	2,33	2,32	2,41	2,86

Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

La determinación de la oferta hídrica de la cuenca del río Frio-Panamericana definida por el punto de cierre en la carretera panamericana, se obtuvo aplicando el coeficiente de transferencia a las diferentes probabilidades empíricas de los caudales obtenidos para la cuenca patrón y se realizó con base en la siguiente ecuación:

$$Q_{est.i} = Q_{pat.i} \times Tc \quad (4)$$

Donde:

$Q_{est.i}$: Caudal de la unidad bajo estudio para el mes i, en m^3/s

$Q_{pat.i}$: Caudal para probabilidad de la cuenca patrón para el mes i, en m^3/s .

Ct : Coeficiente de transferencia o factor de corrección.

En los Tabla 12 se pueden observar los caudales medios mensuales de las diferentes probabilidades empíricas obtenidos al aplicar el coeficiente de transferencia a los caudales de la cuenca patrón.

Con caudales obtenidos para la cuenca del río Frio-Panamericana nos puede observar que estos oscilan entre $2,47m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 100% para el mes de febrero, y $13,23m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 10% para el mes de Abril.

Tabla 12: Caudales mensuales obtenidos al aplicar coeficiente de transferencia a las diferentes probabilidades empíricas cuenca Río Frio-Panamericana en (m^3/s).

Prob %	Caudales Cuenca Frio- Panamericana (m^3/s).											
	QEne	QFeb	QMar	QAbr	QMay	QJun	QJul	QAgo	QSep	QOct	QNov	QDic
100	2,49	2,47	2,73	2,84	3,90	3,14	3,69	4,51	5,21	5,90	5,77	3,80
90	3,29	2,88	3,10	3,76	5,04	4,29	4,32	5,05	6,15	6,56	6,58	4,55
80	4,09	3,30	3,47	4,67	6,18	5,45	4,95	5,58	7,09	7,22	7,40	5,29
70	4,89	3,72	3,84	5,58	7,31	6,27	5,58	6,11	7,79	7,87	8,21	6,03
60	5,68	4,14	4,21	6,50	8,30	6,77	6,21	6,77	8,26	8,45	8,92	6,78
50	6,65	4,55	4,58	7,41	9,21	7,26	6,84	7,48	8,73	8,97	9,57	7,52
40	7,65	4,97	4,95	8,44	10,11	7,76	7,47		9,20	9,50	10,22	8,43
30	8,64	5,39	5,32	10,04	11,02	8,25			9,67	10,03	10,87	10,17
20		5,81	6,34	11,63		8,74						11,91
10			8,00	13,23								

Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

3.2.1. Curva de Duración y Variación de Caudales.

Se presenta a continuación, la curva de duración de caudales considerando los valores de caudales medios obtenidos por el método de transferencia a partir de los datos de la estación Puente El Diablo en el río Capaz.

De acuerdo al procedimiento seguido la cuenca del río Frio-Panamericana, al considerar la curva de duración de caudales se consigue que febrero presenta los caudales más bajos, el 95 % del tiempo presenta un caudal medio mensual es de $2,67m^3/s$; y el 85 % del tiempo presenta $3,09m^3/s$. Todo lo contrario sucede en el mes de octubre que presenta los mayores caudales donde el 95 % del tiempo el caudal medio mensual es de $6,23m^3/s$; y el 85 % del tiempo es de $6,89m^3/s$. (Figura 9).

Para la evaluación de la disponibilidad de agua superficial, es conveniente conocer su variación en función del tiempo y la probabilidad de ocurrencia.

La Figura 10 que corresponde a la curva de variación estacional, permite observar que el período de caudales bajos ocurre entre enero a abril siendo el mes de febrero el que presenta los meses de menor caudal entre un rango de $5,14-8.74m^3/s$. Los caudales máximos se presentan

en dos periodos una conformada desde Mayo - Junio y otro desde agosto - diciembre, siendo el mes de octubre el que presenta los valores más altos de caudal con valores que van desde 14, 70-21, 18m³/s.

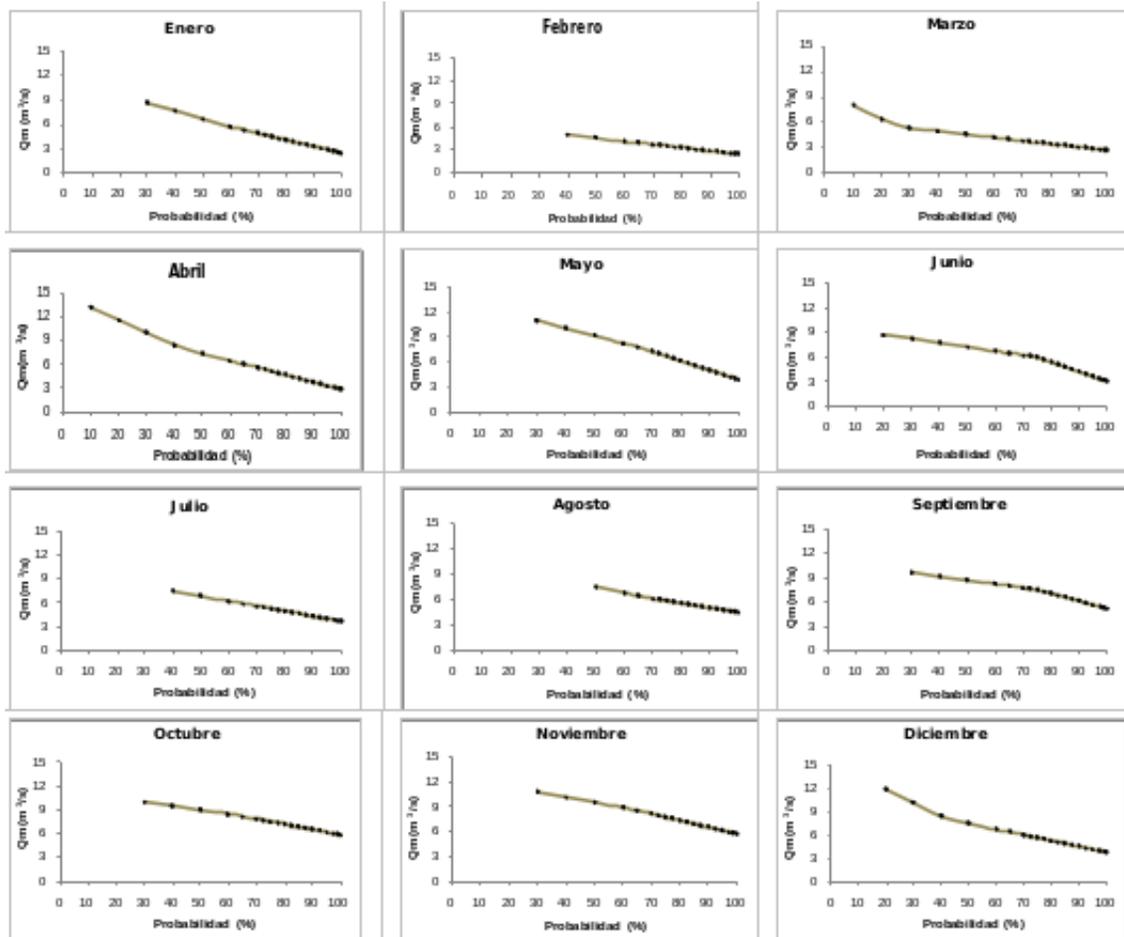


Figura 9: Curvas de duración de caudales, basada en caudales medios mensuales de la cuenca río Frio.

Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

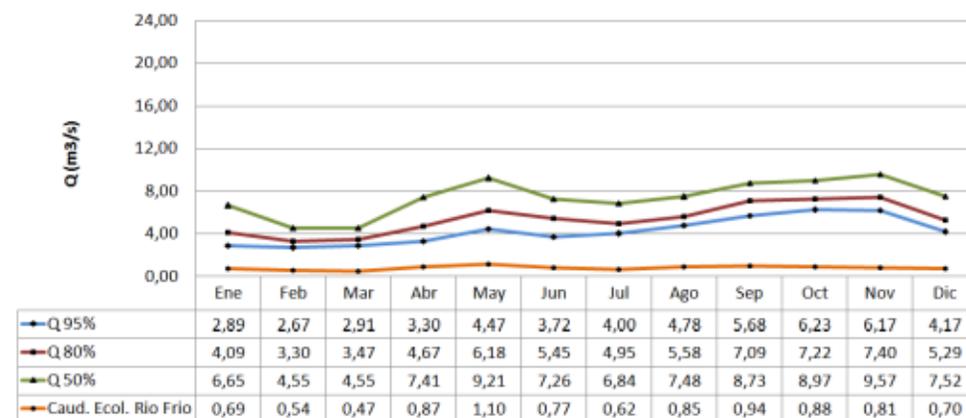


Figura 10: Curva de variación estacional del río Frio-Panamericana.
Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

4. Río Tucaní

La cuenca del río Tucaní es una pequeña cuenca que nace en el páramo de la Culata y desemboca en el Lago de Maracaibo. Es la fuente principal de abastecimiento de agua para consumo humano de los centros poblados Tucaní, Tucanizito, Las Rokolitas, Zona Nueva, La Chinera, El Vijao y Puerto Escondido pertenecientes a las parroquias Capital y Florencia Ramírez del municipio Caracciolo Parra y Olmedo [Aguas de Mérida, 2009].

La cuenca es por tanto estratégica para el municipio y cualquier acción derivada de la ejecución de políticas públicas y/o intereses particulares deben realizarse con criterios de conservación estrictos, a fin de no vulnerar la capacidad de la cuenca para producir agua potable para una población de 17.017 habitantes [Aguas de Mérida, 2009]. De allí la necesidad de identificar y evaluar las condiciones ambientales y de potencial hídrico de la misma.

Adicionalmente dada las alteraciones que hoy existen en la cuenca en cuanto a cobertura vegetal son frecuentes los eventos de crecidas y desbordamiento del río Tucaní que producen inundaciones y afectación de tierras cultivadas y población en los municipios Sucre y Javier Pulgar del estado Zulia.

4.1. Caracterización Físico Natural.

4.1.1. Clima.

La temperatura en la cuenca varía de acuerdo al gradiente altitérico, a 1000 metros de altitud las temperaturas oscilan entre $15y22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ascendiendo las temperaturas bajan encontrándose oscilaciones entre $1,4a15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a altitudes entre 2000 y 2800 msnm. Por encima de los 2800 metros las temperaturas descienden a un más pudiendo llegar a $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el páramo de Tucaní a 4400 msnm.

La precipitación que sigue un patrón lacustre, oscila entre 2000 mm/año en la parte baja de la cuenca a 1100 en las zonas de páramos y paisajes periglaciales [Graterol, 2008].

4.1.2. Hidrografía

Entre los afluentes están las quebradas El Oso, La Cebolla, La Honda, Agua Blanca, La Loma, El Zapallo, La Cuesta, Costa Rica, El Delirio, San José, La Enfadosa, El Rincón, El Bejuco, Las Calaveras. Adicionalmente existen muchas lagunas entre las que se incluyen Las Alpargatas, Las Hondas, Ávila, Las González, Santa Elena, Los Barros.

4.2. Determinación de la oferta hídrica.

Ajustados los caudales medios de la cuenca patrón río Capaz estación Puente El Diablo para diferentes probabilidades de ocurrencia, determinada el área y la precipitación media mensual para la cuenca patrón y la cuenca del río Tucaní, se procedió a determinar el coeficiente de transferencia, para posteriormente calcular los caudales medios mensuales de la misma. En las Tabla 13 y 14, se presentan las áreas y precipitaciones medias mensuales de las cuencas patrón y cuenca del río Tucaní-Panamericano y los coeficientes de transferencia mensuales del río Tucaní.

Tabla 13: Áreas cuencas patrón y Tucaní-Panamericana.

Cuencas	Áreas (Km^2)
Cuenca Patrón Río Capaz Estación Puente El Diablo	172,12
Cuenca Río Tucaní - Carretera Panamericana	328,51

Fuente: IFLA, 2014

Tabla 14: Coeficientes de transferencia mensuales para la cuenca del río Tucaní-Panamericana.

Parámetros	Cuenca Frio-Panamericana											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$A_{est}(km^2)$	328,51	328,51	328,51	328,51	328,51	328,51	328,51	328,51	328,51	328,51	328,51	328,51
$A_{pat}(km^2)$	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12
$P_{est}(km^2)$	72,37	85,99	125,71	219,23	248,69	130,70	170,67	178,40	188,52	221,03	189,82	119,00
$P_{pat}(km^2)$	39,11	61,62	84,57	149,56	202,99	156,13	23,55	155,12	182,54	224,07	170,64	84,25
Ct	3,53	2,66	2,84	2,79	2,34	1,59	2,64	2,19	1,97	1,88	2,12	2,69

Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

La determinación de la oferta hídrica de la cuenca del río Tucaní-Panamericana definida por el punto de cierre en la carretera panamericana, se obtuvo aplicando el coeficiente de transferencia a las diferentes probabilidades empíricas de los caudales obtenidos para la cuenca patrón y se realizó con base en la siguiente ecuación:

$$Q_{est.i} = Q_{pat.i} \times Tc \quad (5)$$

Donde:

$Q_{est.i}$: Caudal de la unidad bajo estudio para el mes i, en m^3/s

$Q_{pat.i}$: Caudal para probabilidad de la cuenca patrón para el mes i, en m^3/s .

Ct : Coeficiente de transferencia o factor de corrección.

En la Tabla 15 se pueden observar los caudales medios mensuales de las diferentes probabilidades empíricas obtenidos al aplicar el coeficiente de transferencia a los caudales de la cuenca patrón.

Con caudales obtenidos para la cuenca del río Tucaní-Panamericana nos puede observar que estos oscilan entre $4,53m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 100% para el mes de febrero, y $24,03m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 10% para el mes de abril.

Tabla 15: Caudales mensuales obtenidos al aplicar coeficiente de transferencia a las diferentes probabilidades empíricas cuenca Río Tucaní-Panamericana en (m^3/s).

Prob %	Caudales Cuenca Tucaní- Panamericana (m^3/s).											
	QEne	QFeb	QMar	QAbr	QMay	QJun	QJul	QAg	QSep	QOct	QNov	QDic
100	4,94	4,53	5,11	5,87	7,95	4,63	8,17	9,66	10,64	11,30	10,83	7,55
90	6,53	5,30	5,80	7,76	10,27	6,34	9,57	10,80	12,56	12,56	12,36	9,03
80	8,11	6,06	6,49	9,65	12,58	8,04	10,97	11,94	14,48	13,82	13,89	11,98
70	9,69	6,83	7,19	11,53	14,89	9,26	12,37	13,08	15,92	15,08	15,41	13,46
60	11,27	7,60	7,88	13,42	16,90	9,99	13,76	14,48	16,88	16,17	16,74	14,94
50	13,19	8,36	8,57	15,31	18,75	10,72	15,16	16,00	17,84	17,18	17,96	16,75
40	15,16	9,13	9,27	17,43	20,60	11,45	16,56		18,80	18,19	19,19	20,20
30	17,14	9,90	9,96	20,73	22,46	12,19			19,76	19,20	20,41	23,65
20		10,66	11,87	24,03		12,92						13,46
10			14,99	27,33								

Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

4.2.1. Curva de Duración y Variación de Caudales.

Se presenta a continuación, la curva de duración de caudales considerando los valores de caudales medios obtenidos por el método de transferencia a partir de los datos de la estación Puente El Diablo en el río Capaz.

De acuerdo al procedimiento seguido la cuenca del río Tucaní-Panamericana, al considerar la curva de duración de caudales se consigue que febrero presenta los caudales más bajos donde el 95 % del tiempo el caudal medio mensual es de $4,91m^3/s$; y el 85 % del tiempo es de $5,68m^3/s$. Todo lo contrario sucede en octubre que presenta el caudal más alto donde el 95 % del tiempo el caudal medio mensual es de $11,93m^3/s$; y el 85 % del tiempo es mayo el que presenta un caudal medio mensual de $13,19m^3/s$. (Figura 11).

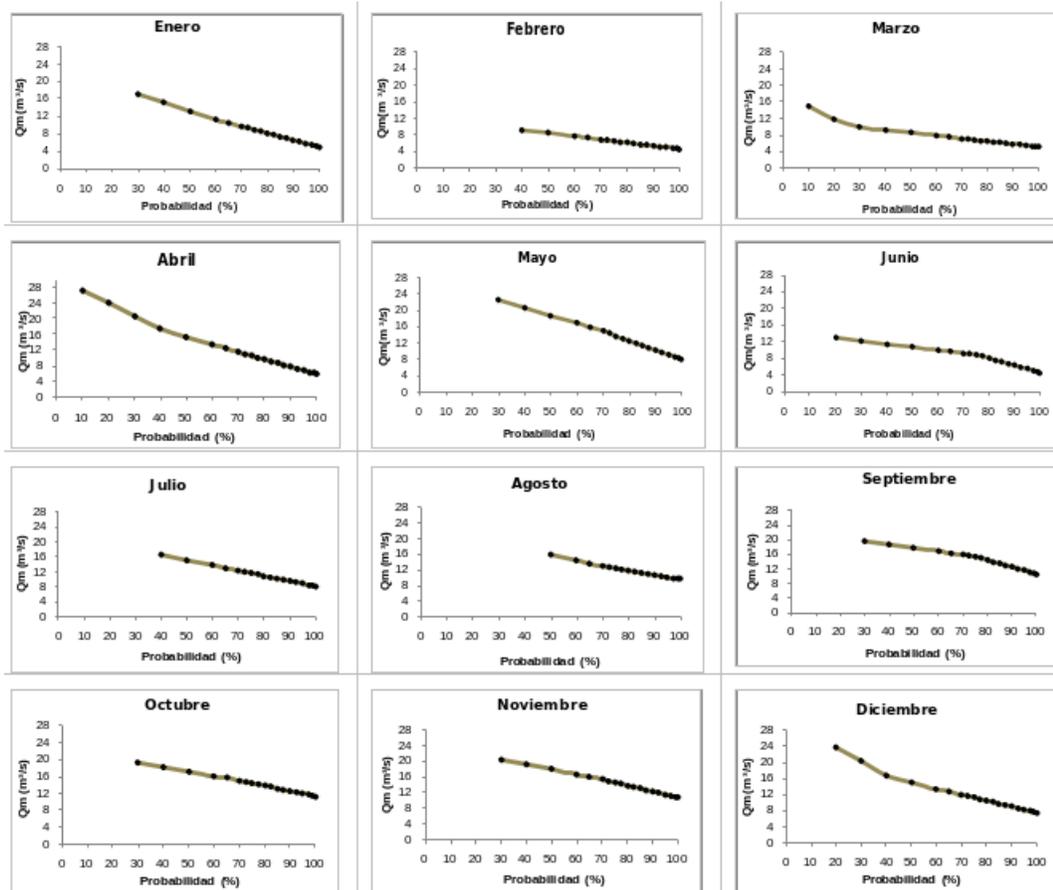


Figura 11: Curvas de duración de caudales, basada en caudales medios mensuales de la cuenca río Tucaní.

Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

Para la evaluación de la disponibilidad de agua superficial, es conveniente conocer su variación en función del tiempo y la probabilidad de ocurrencia.

La Figura 12 que corresponde a la curva de variación estacional, permite observar que el periodo de caudales bajos ocurre entre enero a Marzo siendo el mes de febrero el que presenta los meses de menor caudal entre un rango de $4,91-8,36m^3/s$. Los caudales máximos se presentan en dos periodos una conformada por Abril y Mayo, otro desde Julio - diciembre, siendo el mes de octubre el que presenta los valores más altos de caudal con valores que van desde $11,93-17,18m^3/s$. Aunque

mayo el 50 % del tiempo presenta el caudal más alto correspondiente a $18,75m^3/s$.

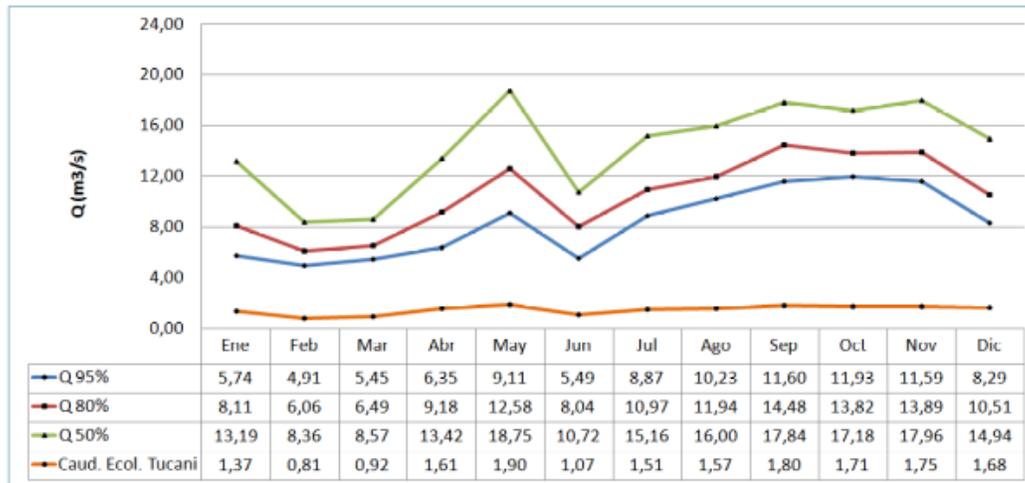


Figura 12: Curva de variación estacional del río Tucaní-Panamericana.
Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

5. Río San Pedro.

La cuenca del río San Pedro es una cuenca que nace en el páramo de la Culata a 3400 msnm. y desemboca en el Lago de Maracaibo.

La cuenca abastece a una serie de acueductos rurales por lo que su conservación resulta estratégica para el mantenimiento de poblaciones y actividades rurales del municipio. Algunos de estos acueductos están identificados como Santa Apolonia y Las Virtudes [Aguas de Mérida, 2009]. De allí la necesidad de identificar y evaluar las condiciones ambientales y de potencial hídrico de la misma.

Adicionalmente dada las alteraciones que hoy existen en la cuenca en cuanto a cobertura vegetal son frecuentes los eventos de crecidas y desbordamiento del río San Pedro que producen inundaciones y afectación de tierras cultivadas y población en la localidad de Palmarito.

5.1. Caracterización Físico Natural

5.1.1. Clima ⁴

La temperatura en la cuenca varía de acuerdo al gradiente altitérico, por debajo de los 800 metros las temperaturas oscilan en torno a los $29^{\circ}C$. Ascendiendo en altitud oscilan entre $15y22,8^{\circ}C$. y en las partes altas es factible encontrar temperaturas en torno $1,415^{\circ}C$ a altitudes entre 2000 y 2800 msnm.

La precipitación oscila entre 2400 mm/año en las posiciones bajas de la cuenca, entre 900 y 2000 mm/año en el piedemonte y entre 1800 y 1000 en posiciones altas del paisaje de montaña respectivamente [Graterol, 2008]. El régimen de precipitación es bimodal característico del patrón lacustre con dos picos de precipitación (abril-mayo y septiembre-octubre) y dos picos de sequía entre diciembre-marzo y entre junio y julio. La zona presenta una gran nubosidad durante todo el año.

5.1.2. Hidrografía

Aun cuando en la cartografía de Corpoandes [Corpoandes, 2010b] se observa una densa red de drenajes de la cuenca, el único curso identificado es la Quebrada Blanca.

5.2. Determinación de la oferta hídrica.

Ajustados los caudales medios de la cuenca patrón río Capaz estación Puente El Diablo para diferentes probabilidades de ocurrencia, determinada el área y la precipitación media mensual para la cuenca patrón y la cuenca del río Tucaní, se procedió a determinar el coeficiente de transferencia, para posteriormente calcular los caudales medios mensuales de la misma. En el Tabla 16 y 17 se presentan las áreas y precipitaciones media mensuales de las cuencas patrón y cuenca del río San Pedro-Panamericano y los coeficientes de transferencia mensuales del río Tucaní.

⁴No fue posible encontrar información climática para la cuenca, por lo que se recurrió a extrapolar el comportamiento de las variables climáticas de las cuencas vecinas a saber: cuenda de los ríos Tucaní y Frio

Tabla 16: Áreas cuencas patrón y San Pedro-Panamericana.

Cuencas	Áreas (Km^2)
Cuenca Patrón Río Capaz Estación Puente El Diablo	172,12
Cuenca Río San Pedro - Carretera Panamericana	225,77

Fuente: IFLA, 2014

Tabla 17: Coeficientes de transferencia mensuales para la cuenca del río San Pedro-Panamericana.

Parámetros	Cuenca Frio-Panamericana											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$A_{est}(km^2)$	225,77	225,77	225,77	225,77	225,77	225,77	225,77	225,77	225,77	225,77	225,77	225,77
$A_{pat}(km^2)$	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12	172,12
$P_{est}(km^2)$	40,12	67,79	111,23	157,89	175,02	160,05	133,99	146,46	150,32	153,51	111,92	90,29
$P_{pat}(km^2)$	39,11	61,62	84,57	149,56	202,99	156,13	23,55	155,12	182,54	224,07	170,64	84,25
Ct	3,53	2,66	2,84	2,79	2,34	1,59	2,64	2,19	1,97	1,88	2,12	2,69

Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

La determinación de la oferta hídrica de la cuenca del río San Pedro -Panamericana definida por el punto de cierre en la carretera panamericana, se obtuvo aplicando el coeficiente de transferencia a las diferentes probabilidades empíricas de los caudales obtenidos para la cuenca patrón y se realizó con base en la siguiente ecuación:

$$Q_{est.i} = Q_{pat.i} \times Ct \quad (6)$$

Donde:

$Q_{est.i}$: Caudal de la unidad bajo estudio para el mes i, en m^3/s

$Q_{pat.i}$: Caudal para probabilidad de la cuenca patrón para el mes i, en m^3/s .

Ct : Coeficiente de transferencia o factor de corrección.

En el Tabla 18 se pueden observar los caudales medios mensuales de las diferentes probabilidades empíricas obtenidos al aplicar el coeficiente de transferencia a los caudales de la cuenca patrón.

Tabla 18: audales mensuales obtenidos al aplicar coeficiente de transferencia a las diferentes probabilidades empíricas cuenca Río San Pedro-panamericana en (m^3/s).

Prob %	Caudales Cuenca Tucaní- Panamericana (m^3/s)											
	QEne	QFeb	QMar	QAbr	QMay	QJun	QJul	QAgo	QSep	QOct	QNov	QDic
100	1,88	2,45	3,11	2,91	3,85	3,90	4,41	5,45	5,83	5,39	4,39	3,94
90	2,49	2,87	3,53	3,84	4,96	5,33	5,16	6,09	6,88	5,99	5,01	4,71
80	3,09	3,28	3,95	4,78	6,08	6,77	5,92	6,74	7,94	6,60	5,63	5,48
70	3,69	3,70	4,37	5,71	7,20	7,79	6,67	7,38	8,72	7,20	6,25	6,25
60	4,30	4,12	4,79	6,64	8,17	8,41	7,43	8,17	9,25	7,72	6,78	7,02
50	5,02	4,53	5,21	7,58	9,07	9,02	8,18	9,03	9,77	8,20	7,28	7,79
40	5,78	4,95	5,64	8,63	9,97	9,64	8,93		10,30	8,68	7,77	8,73
30	6,53	5,36	6,06	10,26	10,86	10,25			10,83	9,16	8,27	10,53
20		5,78	7,22	11,89		10,87						12,33
10			9,11	13,53								

Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

Con caudales obtenidos para la cuenca del río San Pedro-Panamericana nos puede observar que estos oscilan entre $1,88m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 100 % para el mes de enero, y $13,53m^3/s$ correspondiente a la probabilidad del 10 % para el mes de abril.

5.2.1. Curva de Duración y Variación de Caudales.

Se presenta a continuación, la curva de duración de caudales considerando los valores de caudales medios obtenidos por el método de transferencia a partir de los datos de la estación Puente El Diablo en el río Capaz.

De acuerdo al procedimiento seguido la cuenca del río San Pedro-Panamericana, al considerar la curva de duración de caudales se consigue que Enero presenta los caudales más bajos donde el 95 % del tiempo el caudal medio mensual es de $2,19m^3/s$; y el 85 % del tiempo es de $2,79m^3/s$. Todo lo contrario sucede en septiembre que presenta el caudal más alto donde el 95 % del tiempo el caudal medio mensual es de $6,36m^3/s$; y el 85 % del tiempo presenta un caudal medio mensual de $7,41m^3/s$. (Figura 13).

Para la evaluación de la disponibilidad de agua superficial, es conveniente conocer su variación en función del tiempo y la probabilidad de ocurrencia.

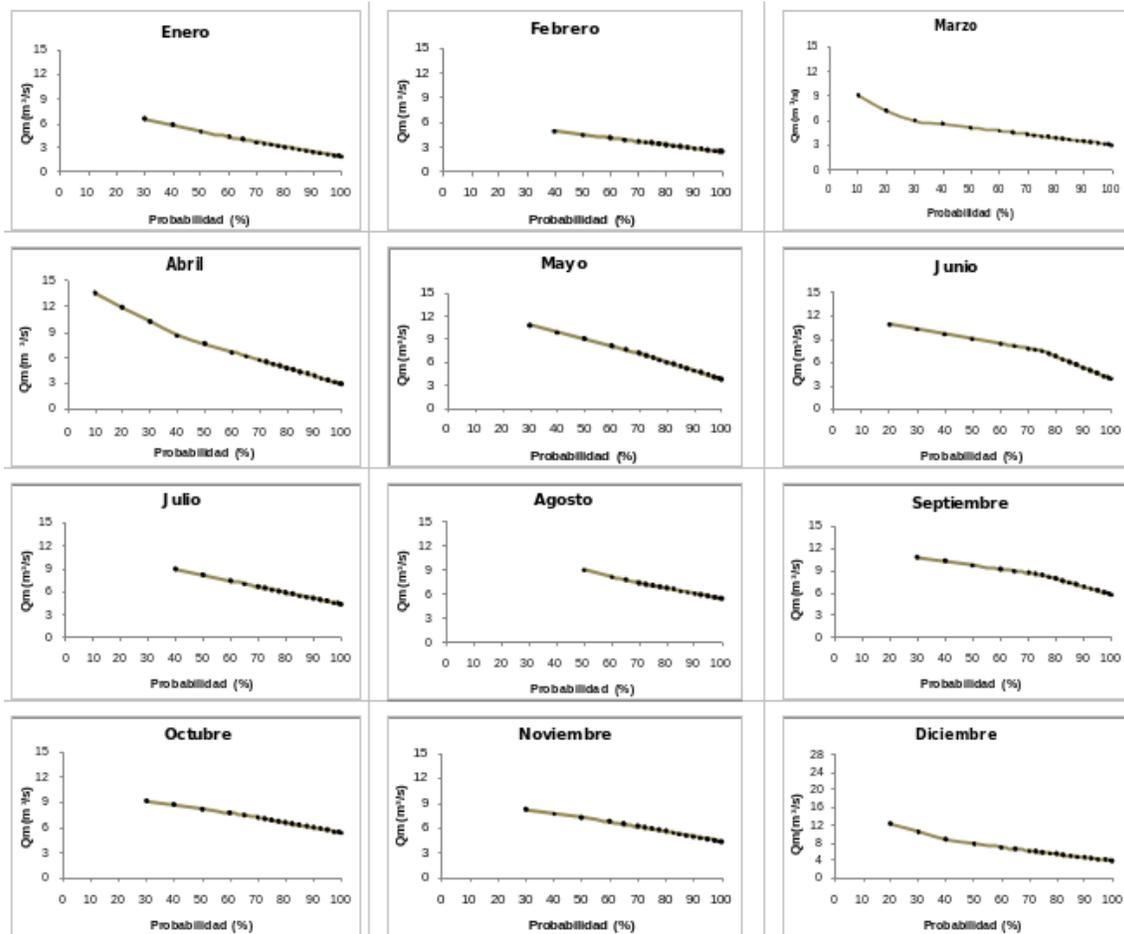


Figura 13: Curvas de duración de caudales, basada en caudales medios mensuales de la cuenca río San Pedro.

Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

La Figura 14 que corresponde a la curva de variación estacional, permite observar que el periodo de caudales bajos ocurre entre enero a Abril siendo el mes de febrero el que presenta los meses de menor caudal entre un rango de $4,91-8,36m^3/s$. Los caudales máximos se presentan en dos periodos una conformada por Abril y Mayo, otro desde Julio - diciembre, siendo el mes de octubre el que presenta los valores más altos de caudal con valores que van desde $11,93-17,18m^3/s$. Aunque mayo el 50 % del tiempo presenta el caudal más alto correspondiente a $18,75m^3/s$.

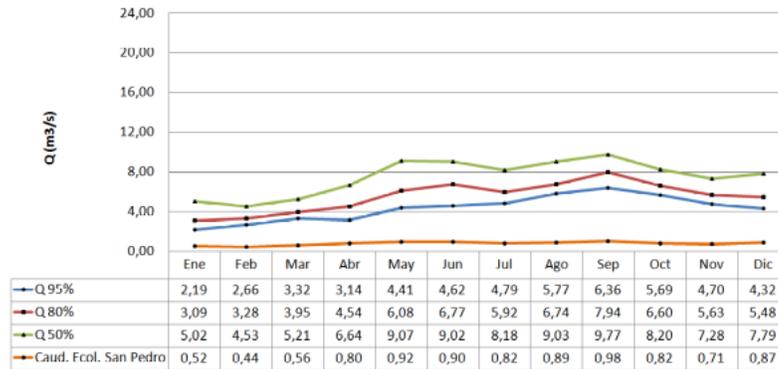


Figura 14: Curva de variación estacional del río San Pedro-Panamericana.
Fuente: Elaborado por IFLA, 2014 a partir Archivos Maestros del INAMEH

Conclusiones

Este estudio es solamente un diagnóstico preliminar de la capacidad de producción de agua superficial de las cuencas Mucujepe, Capaz, Frio, Tucaní y San Pedro. Se utilizó el método de transferencia con los únicos datos históricos disponibles y confiables, los cuales conformaron una serie antigua de 12 años (1965-1976) cuenca del Río Capaz Estación Puente El Diablo (087) y son representativos de una superficie menor a cada cuenca en estudio. Hay que considerar que muchos cambios relevantes deben haber ocurrido en los últimos 38 años que afecten la producción de agua de esta cuenca típica de montaña.

Se asumieron de todas las probabilidades de ocurrencia los valores de 80 % y 95 %, con base en que para el caso de riego se podría permitir el riesgo de que un 20 % del tiempo el caudal esperado no se presente; pero para la aparte de abastecimiento poblacional, comercial, agroindustrial se debería garantizar que esté presente el 95 % del tiempo.

De las cinco cuencas analizadas en el eje panamericano, Capaz y Tucaní son las que arrojaron los mayores caudales para el 95 % del tiempo, Capaz entre $5,11 - 14,70 m^3/s$ y Tucaní entre $4,91 - 11,93 m^3/s$, en orden descendente las restantes cuencas por los caudales que arrojaron quedarían San Pedro, Rio Frio y Mucujepe de ultima. Si consideramos que un 10 % de este caudal corresponde a lo que se conoce como caudal Ecológico, que constituye el caudal mínimo que es necesario dejar en el río para garantizar la supervivencia de su ecosistema el cual se representó en las curvas de variación estacional para cada cuenca, tenemos que la disponibilidad definitiva de los ríos para el 95 % del tiempo, se encuentra entre $3,89 - 12,58 m^3/s$ para el río Capaz y de $4,10 - 10,22 m^3/s$ para el río Tucaní.

Es recomendable que los entes con competencia e interés en este tipo de información, puedan tomar acciones que permitan realizar mediciones de niveles diarios en estas cuencas, lo cual permitiría obtener información real sobre los caudales en dicha fuente superficial. Con esta información se podrían validar los resultados obtenidos en el presente estudio hidrológico que como se mencionó anteriormente constituye solo un diagnóstico preliminar de la fuente estudiada.

Agradecimiento

La presente autora desea expresar el agradecimiento al Instituto Forestal Latinoamericano, por su apoyo en la realización de la presente investigación, la cual se enmarca en el proyecto “Identificación y Evaluación de las Condiciones Ambientales y del Potencial Hídrico Superficial de las Cuencas del Eje Panamericano del Sur del Lago de Maracaibo del Estado Mérida. Mérida – Venezuela” llevado a cabo en el año 2014.

Bibliografía

- [Aguas de Mérida, 2009] Aguas de Mérida. (2009). *Total de suscriptores de aguas de Mérida por mes. Departamento de planificación*. Recuperado de: <http://soporte.aguasdemerida.com.ve/pdf/acueductos/pana.pdf>.
- [Corpoandes, 2010a] *Dossier Municipal 2010* Alberto Adriani. Mérida. Corpoandes.
- [Corpoandes, 2010b] *Dossier Municipal 2010 Tulio Febres Cordero*. Mérida. Corpoandes.
- [Duque, 2000] Duque, R.(2000). *Modelo AJUSTE* (Versión 3). (Software).
- [Graterol, 2008] Graterol, G. (2008). *Propuesta de uso de la tierra para el municipio Caracciolo Parra y Olmedo del Estado Mérida. Aplicación del análisis multicriterio y los SIG para el ordenamiento territorial*. Trabajo especial de grado para optar al título de Magister Scientiae en Ordenación del Territorio. Instituto de Geografía y Conservación. Universidad de los Andes, Mérida - Venezuela.
- [Linares, 2004] Linares, Y. (2004). Determinación de las fuentes actuales y potenciales de erosión en la cuenca media y alta del río Mucujepe, estado Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 48 (2), 127.
- [Pascual, 2005] Pascual, J. Estudios de costos de la producción de agua potable superficial y subterránea. Caso de estudio Acueducto de El Vigía, Estado Mérida. CIDIAT. Mérida: Trabajo Especial de Grado para optar al Título Magister Scientiae en

Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente. PULIDO, N. (2011). El crecimiento urbano en las cuencas de la región Andes de Venezuela y su articulación con el recurso agua. *Revista Geográfica Venezolana*, 52 (2), 101-122.

[Rodríguez, 2005] Rodríguez, M. (2005). **Cambio del paisaje en la cuenca del río Capaz**. Trabajo Especial de Grado, Universidad de Los Andes, Departamento de Biología, Mérida.

[Sistema Venezolano de Información sobre Diversidad Biológica, 2005] Sistema Venezolano de Información sobre Diversidad Biológica (21 de Noviembre de 2014). Cuenca Hidrográfica del Río Capaz (Capazón). Ministerio del Ambiente Recuperado de: <http://diversidadbiologica.minamb.gob.ve/areas/ficha/257>.