Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN 5
OBJETIOS 6
Objetivo General 6
Objetivos Específicos 6
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 7
INFORMACIÓN MUNICIPIO DE VALLEDUPAR Y CUENCA DE ESTUDIO 9
Temperatura 9
Caracterización Morfométrica 22
Caracterización hidrológica 26
Selección de estaciones meteorológicas: 26
Análisis de datos hidrológicos 29
Validez de datos extremos 29
Llenado de datos faltantes 31
Precipitación Media Anual Multianual 33
Precipitación Media Mensual Multianual 36
Construcción de curvas de intensidad – Duración – Frecuencia – idf 37
Cálculo de hietogramas para diferentes periodos de retorno. 39
Número de curva (CN) 43
Estimación de caudales para diferentes periodos de retorno 45
Método SCS Unit Hydrograph 46
Método Muskingum 46
Descripción del modelo hidrológico: 47
CONCLUSIONES 51
Morfometría 51
Análisis de las lluvias: 52
Estimación de caudales para periodos de retorno: 52
Variabilidad espacial y comportamiento hidrológico: 52
ANEXOS 53
BIBLIOGRAFÍA 54

Lista de Tablas

Tabla 1. Parámetros utilizados para la caracterización morfométrica 22
Tabla 2. Ecuaciones de tiempo de concentración 23
Tabla 3. Parámetros morfométricos de las 11 cuencas en mención 23
Tabla 4. Estaciones hidroclimatológicas seleccionadas en la zona de estudio 27
Tabla 5. Porcentaje anual de datos faltantes en cada estación 31
Tabla 6. Estaciones seleccionadas para el llenado de datos faltantes 32
Tabla 7. Precipitación media anual para ATANQUEZ 33
Tabla 8. Precipitación media anual para AEROPUERTO 34
Tabla 9. Número de Curva CN para las cuencas de análisis 45
Tabla 10. Datos de entrada HEC-HMS para las 11 cuencas de estudio. 46
Tabla 11. Resultados HEC-HMS para un periodo de retorno de 50 años 49
Tabla 12. Resultados HEC-HMS para un periodo de retorno de 100 años 49

Lista de figuras

Figura 1. Localización de las cuencas de estudio 9
Figura 2. Temperatura mínima media mensual multianual Rio Guatapurí 10
Figura 3. Temperatura media mensual multianual Rio Guatapurí 11
Figura 4. Temperatura máxima media mensual multianual Rio Guatapurí 11
Figura 5. Temperatura mínima media anual Rio Guatapurí 12
Figura 6. Temperatura media anual Rio Guatapurí 13
Figura 7. Temperatura máxima media anual Rio Guatapurí 13
Figura 8. Humedad relativa media mensual multianual Rio Guatapurí 14
Figura 9. Humedad relativa media anual Rio Guatapurí 15
Figura 10. Brillo solar media mensual multianual Rio Guatapurí 16
Figura 11. Brillo solar total anual Rio Guatapurí 17
Figura 12. Velocidad del viento media mensual Rio Guatapurí 18
Figura 13. Velocidad del viento media anual Rio Guatapurí 19
Figura 14. Evaporación media anual Rio Guatapurí 20
Figura 15. Zonificación Climática río Guatapurí 21
Figura 16. Estaciones seleccionadas dentro del área de estudio 27
Figura 17. Serie histórica de precipitaciones Estación Atanquez 28
Figura 18. Serie histórica de precipitaciones Estación Aeropuerto Alfonso López 28
Figura 19. Gráfica estación ATANQUEZ – Posibles atípicos 30
Figura 20. Gráfica estación Aeropuerto – Posibles atípicos 30
Figura 21. Precipitación Media Anual en la estación ATANQUEZ 35
Figura 22. Precipitación Media Anual en la estación AEROPUERTO 35
Figura 23. Precipitación media mensual en las estaciones analizadas 36
Figura 24. Curvas de Intensidad - Duración - frecuencia IDF estaciones analizadas 38
Figura 25. Hietogramas de diseño para la cuencas en estudio 39
Figura 26. Mapa de coberturas sobre la cuenca de estudio 43
Figura 27. Mapa de coberturas sobre la cuenca de estudio 44
Figura 28. Tipos de suelo hidrologico de acuerdo con el manual de drenaje del INVIAS 45
Figura 29. Modelo HEC-HMS 48
Figura 30. Hidrogramas de creciente para periodos de retorno de 50 y 100 años 50

INTRODUCCIÓN

Este volumen detalla el Estudio Hidrológico y Morfométrico del río Guatapurí, ubicado en el municipio de Valledupar, al norte del departamento del Cesar, Colombia. De acuerdo con (Nuñez & Fragoso-Castilla, 2021) el río Guatapurí, con un recorrido aproximado de 78 kilómetros desde su nacimiento en la Sierra Nevada de Santa Marta a 5,200 m.s.n.m. hasta su desembocadura en el río Cesar, constituye una de las fuentes hídricas más importantes de la región. Su cuenca, que cubre alrededor de 90,000 hectáreas, abarca también afluentes significativos como los ríos Donachuí, Curiba, Mamanquea y Los Mangos. Esta red hídrica sostiene una rica diversidad ecológica y una importante actividad social y económica en la región, lo cual resalta la necesidad de su conservación y gestión sostenible.

El enfoque del estudio se centra en la estimación de caudales y en el análisis morfométrico de la cuenca. Este análisis hidrológico es esencial para caracterizar el comportamiento del caudal del río a lo largo del año, identificando las variaciones estacionales que afectan tanto el volumen de agua disponible como la velocidad de flujo, factores fundamentales para la planificación de obras de infraestructura y la prevención de desbordamientos y erosión en las áreas adyacentes. Además, el análisis morfométrico de la cuenca permite evaluar características como la forma, pendiente y densidad de drenaje, proporcionando información clave sobre la susceptibilidad del terreno a la escorrentía y erosión, así como su capacidad de retención de agua, datos indispensables para la sostenibilidad del recurso hídrico.

Este estudio pretende así ofrecer una base sólida de información técnica que sirva de guía para la gestión de los recursos hídricos del río Guatapurí en el contexto del desarrollo urbano y rural de Valledupar, promoviendo una integración equilibrada entre conservación ambiental y aprovechamiento del recurso.

OBJETIOS

Objetivo General

Realizar un estudio hidrológico y morfométrico de la cuenca del río Guatapurí en el municipio de Valledupar, Cesar, con el propósito de estimar caudales de diseño y características físicas de la cuenca. Esto permitirá una planificación adecuada de estructuras viales, evaluar posibles impactos de inundaciones y contribuir a la gestión sostenible de los recursos hídricos locales.

Objetivos Específicos

1. Delimitar y definir las áreas de aporte del río Guatapurí utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para obtener una caracterización precisa de la cuenca media.
2. Calcular el número de curva (CN) para las áreas tributarias, considerando el tipo de cobertura vegetal y tipos de suelos presentes en la cuenca media del río Guatapurí, utilizando un modelo de elevación digital y análisis de imágenes satelitales mediante herramientas SIG.
3. Realizar los cálculos y la modelación hidrológica necesaria para estimar los caudales de diseño en los principales tramos de interés, garantizando un análisis preciso de los flujos y volúmenes de agua a partir de datos históricos y climáticos.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El río Guatapurí nace en la vertiente suroriental de la Sierra Nevada de Santa Marta, a una altitud aproximada de 5,200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Cesar, el Guatapurí recorre alrededor de 78 kilómetros, dividido en tres zonas: 42 kilómetros en su cuenca alta, 22 kilómetros en la cuenca media y 14 kilómetros en la cuenca baja. Su cuenca se extiende sobre una superficie aproximada de 90,000 hectáreas, un área notablemente diversa y compleja en términos de topografía, climatología y recursos naturales. Los principales afluentes que alimentan el río Guatapurí incluyen el Donachuí, Curiba, Mamanquea y Los Mangos, ríos de montaña que aportan caudal y biodiversidad a la región, especialmente en épocas de mayor precipitación.

La cuenca media del Guatapurí, que es el enfoque principal de este estudio, se ubica en una región donde la pendiente del terreno comienza a suavizarse al acercarse a las zonas bajas de Valledupar. Esta zona se caracteriza por un clima tropical de sabana, con variaciones estacionales en la precipitación que producen un régimen hídrico marcado. La temporada de lluvias, típicamente entre los meses de mayo y noviembre, incrementa significativamente los caudales del río, lo que contribuye a la dinámica de erosión y sedimentación en el área. Estas condiciones hidrológicas no solo son vitales para el suministro de agua de la ciudad de Valledupar, sino también para la recarga de acuíferos y el mantenimiento de humedales y ecosistemas ribereños que dependen del río para su subsistencia.

Desde una perspectiva morfométrica, la cuenca del Guatapurí presenta una forma alargada, que influye en la rapidez y concentración de los flujos hídricos, y una red de drenaje que exhibe características dendríticas típicas de cuencas en terrenos montañosos y piedemontanos. La pendiente pronunciada en la cuenca alta facilita la velocidad de escorrentía y el transporte de sedimentos hacia las zonas bajas, lo que incrementa el riesgo de erosión en las márgenes del río y afecta la estabilidad de las orillas en las áreas más pobladas de Valledupar. Estas características topográficas y geomorfológicas también determinan la capacidad de retención de agua de la cuenca y su susceptibilidad a eventos de inundación en la temporada de lluvias, especialmente en las zonas cercanas al río Cesar, donde el Guatapurí finalmente desemboca.

Cabecera Municipal de Valledupar

Valledupar, la capital del departamento del Cesar, se sitúa en la región del Caribe colombiano. Fundada en 1550, Valledupar es un importante centro cultural y económico, reconocido por su herencia vallenata y su papel como punto de encuentro para diversas comunidades. La ciudad está rodeada de montañas y valles, y el río Guatapurí juega un papel crucial en su ecosistema y desarrollo.

La ubicación de Valledupar, a orillas del río Guatapurí, le confiere una importancia estratégica tanto para el abastecimiento de agua como para el desarrollo agrícola y urbano. La ciudad se beneficia de la diversidad de recursos hídricos, que son vitales para las actividades productivas, especialmente la agricultura y la ganadería. La cuenca del Guatapurí, con su variabilidad climática y su topografía, contribuye a un régimen hídrico que sostiene tanto a la población urbana como a las comunidades rurales.

Características de la Cuenca

La cuenca media del río Guatapurí presenta varias características que impactan el entorno natural y la vida de los habitantes de Valledupar:

- **Clima**: La cuenca se caracteriza por un clima tropical de sabana, con una estación seca y una lluviosa bien definidas. Este clima influye en el caudal del río y las prácticas agrícolas en la región.

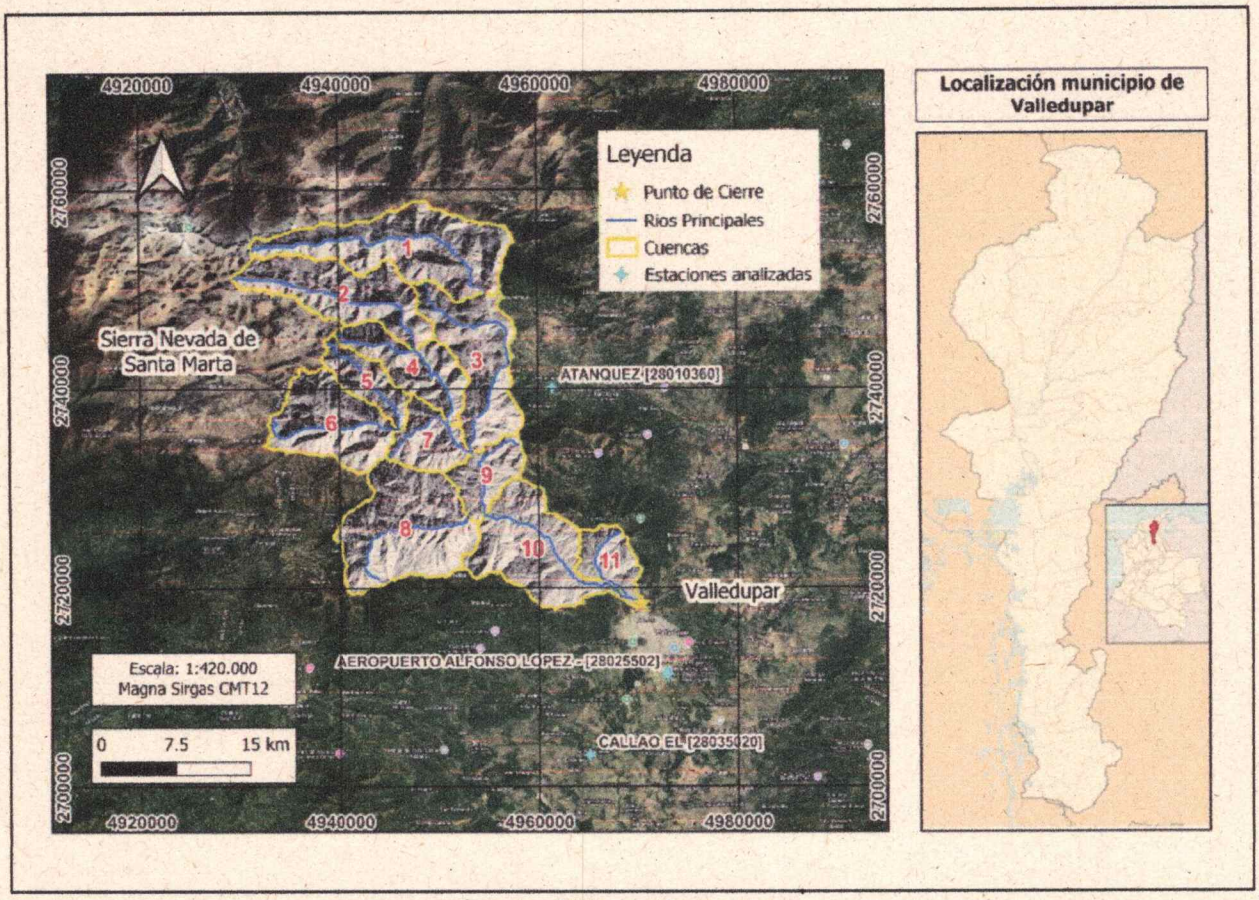
- **Biodiversidad**: La cuenca alberga una rica biodiversidad, gracias a la variedad de ecosistemas que se desarrollan a lo largo de su recorrido. Los afluentes son cruciales para el equilibrio ecológico de la zona, aportando nutrientes y hábitats diversos.
- **Recursos Naturales**: La interacción entre el río y la actividad humana ha generado un entorno donde la agricultura, el turismo y la conservación de recursos son esenciales para la economía local, aunque también han surgido desafíos como la contaminación.
- **Desarrollo Urbano**: La expansión urbana de Valledupar ha ejercido presión sobre los recursos hídricos de la cuenca. La gestión sostenible de estos recursos es vital para mitigar los efectos negativos del desarrollo urbano, especialmente en el contexto del cambio climático.

Este estudio de caudales y morfometría ofrece un análisis exhaustivo del comportamiento hídrico del río Guatapurí y sus implicancias para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región. La información recopilada es esencial para implementar estrategias de ordenamiento territorial, especialmente en un contexto de cambio climático, donde los patrones de lluvia y los fenómenos extremos pueden acentuar los desafíos hidrológicos que enfrenta Valledupar.

Para llevar a cabo un análisis hidrológico exhaustivo del río Guatapurí, se segmentó la cuenca principal en 11 subcuencas (ver

Figura 1. Localización de las cuencas de estudio), una estrategia que permite evaluar las condiciones hidrológicas específicas y variaciones dentro de cada subdivisión, lo cual es esencial en áreas con complejidad geomorfológica y variabilidad de usos del suelo. Este enfoque detallado facilita la identificación de características hidrológicas locales, como la distribución del caudal, la pendiente y la respuesta hídrica de cada subcuenca. El punto de cierre de la cuenca, localizado en las coordenadas Norte: 2718442.61 y Este: 4970387.61 (sistema de referencia Magna-SIRGAS CMT12), ofrece una referencia geoespacial precisa que es fundamental para la recopilación de datos, el modelado hidrológico y la proyección de escenarios futuros, mejorando la precisión en la planificación de recursos hídricos y la gestión de riesgos en la región.

Figura 1. Localización de las cuencas de estudio



Fuente: Elaboración propia

INFORMACIÓN MUNICIPIO DE VALLEDUPAR Y CUENCA DE ESTUDIO

A continuación, se presenta la información regional de la zona de estudio especificada en el POMCA del río Guatapurí (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018):

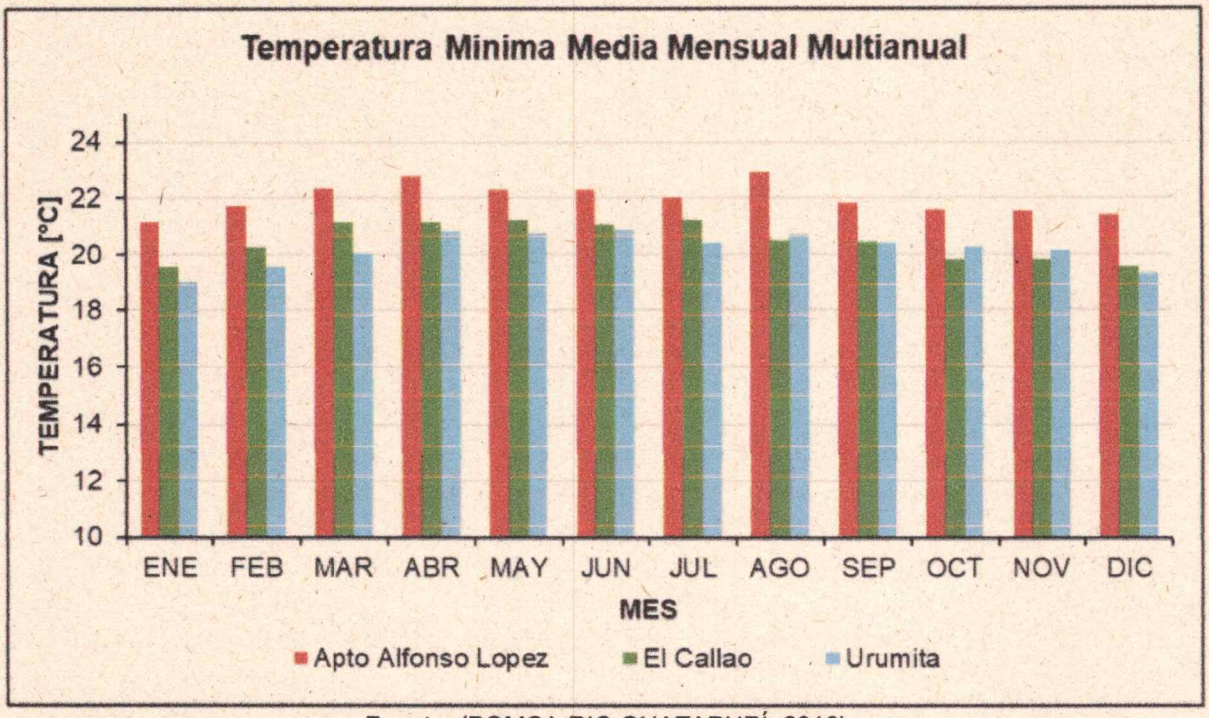
Temperatura

Distribución de la temperatura multianual: La cuenca del Río Guatapurí muestra variaciones significativas en sus valores de temperatura. La temperatura mínima mensual multianual, registrada en estaciones como el Apto Alfonso López y Callao El, oscila entre 19,04°C y 22,9°C. La estación Urumita presenta, en promedio, las temperaturas mínimas más bajas en los meses de enero y febrero (19°C). En contraste, las temperaturas medias mensuales multianuales oscilan entre 26,6°C y 29,9°C. La temperatura máxima mensual multianual alcanza hasta 38,8°C en marzo, principalmente en la estación Callao El.

Patrón estacional: La temperatura en la cuenca sigue un patrón estacional: los valores aumentan de enero a abril, alcanzando picos máximos en marzo y abril, mientras que disminuyen de septiembre a diciembre. En el periodo de análisis (2000-2014), la tendencia general de la temperatura es decreciente, con una tasa de -0,04°C por cada década, lo cual fue validado estadísticamente mediante el test de Mann-Kendall.

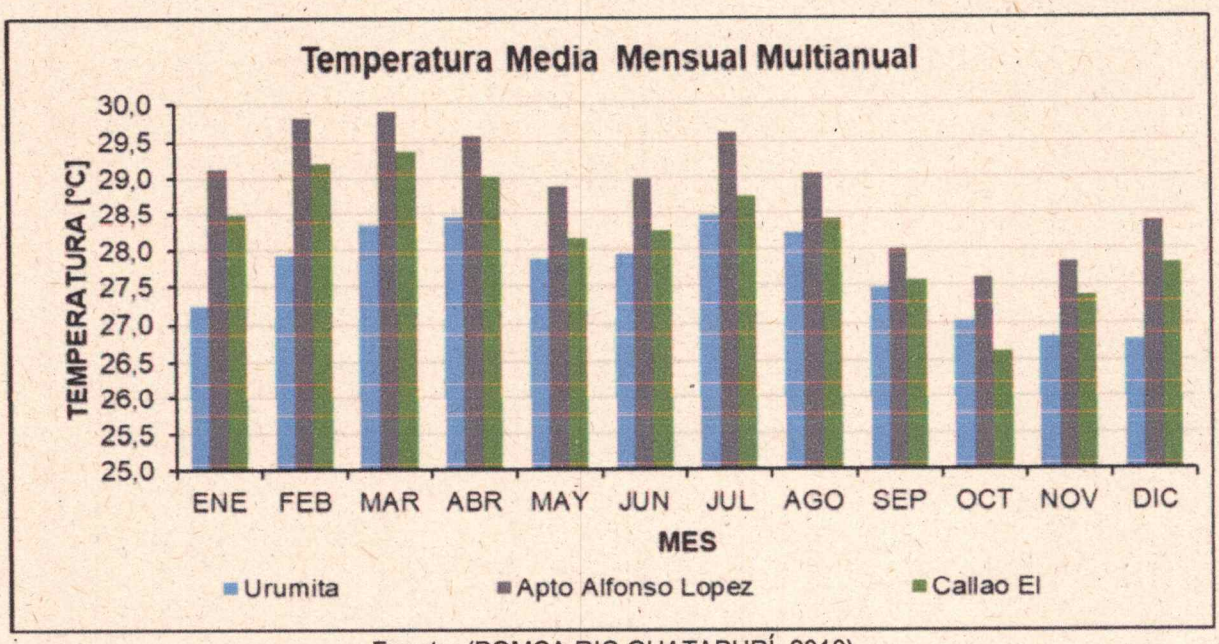
Distribución espacial: Para representar la distribución espacial de la temperatura, se utilizaron datos interpolados de WorldClim, debido a la limitada cantidad de estaciones en la parte alta de la cuenca. Los mapas generados muestran valores de temperatura que decrecen con la altitud, con las zonas de mayor altitud, como la Sierra Nevada, presentando temperaturas cercanas a 10°C, mientras que la zona baja, hacia el sureste, alcanza temperaturas de 28,4°C.

Figura 2. Temperatura mínima media.mensual multianual Rio Guatapurí



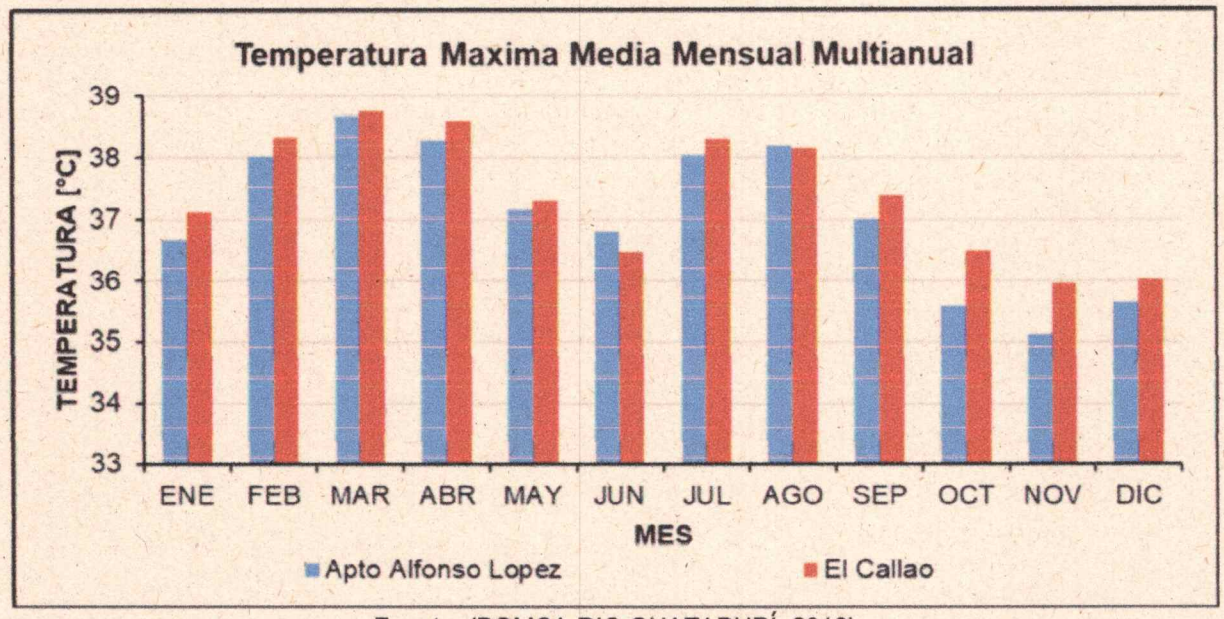
Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Figura 3. Temperatura media mensual multianual Rio Guatapurí



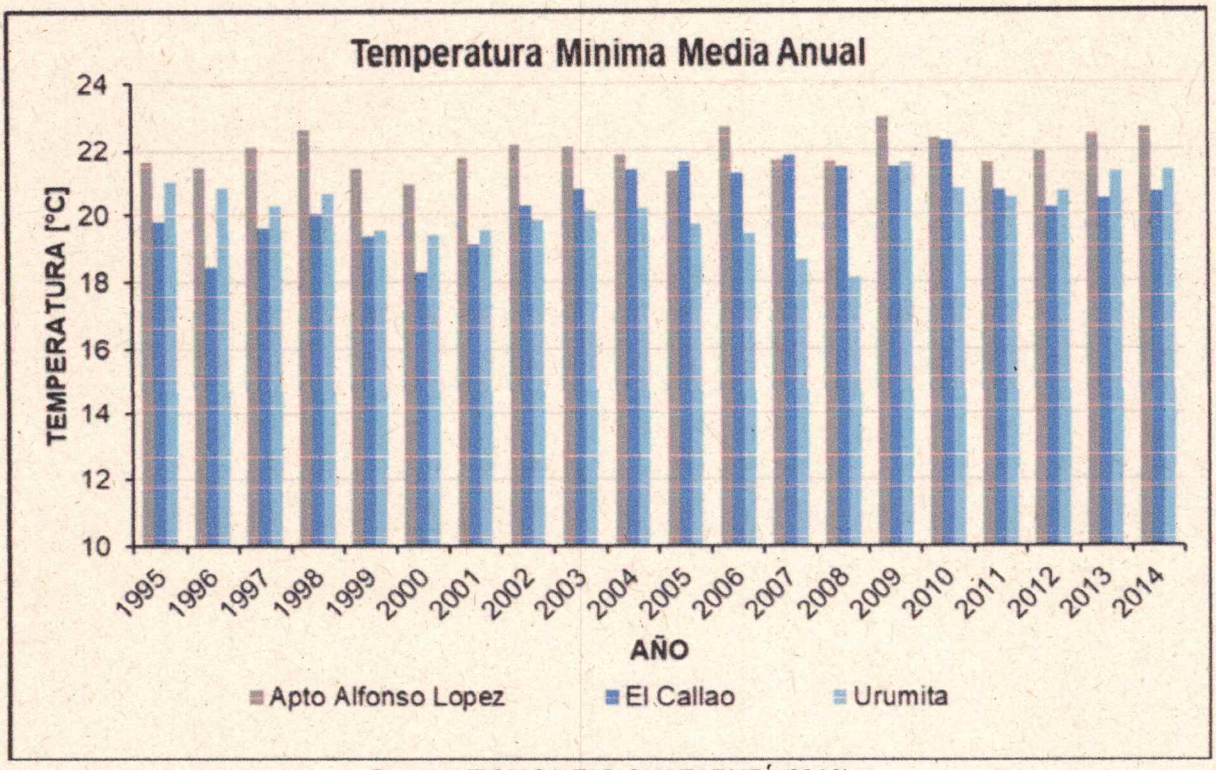
Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Figura 4. Temperatura máxima media mensual multianual Rio Guatapurí



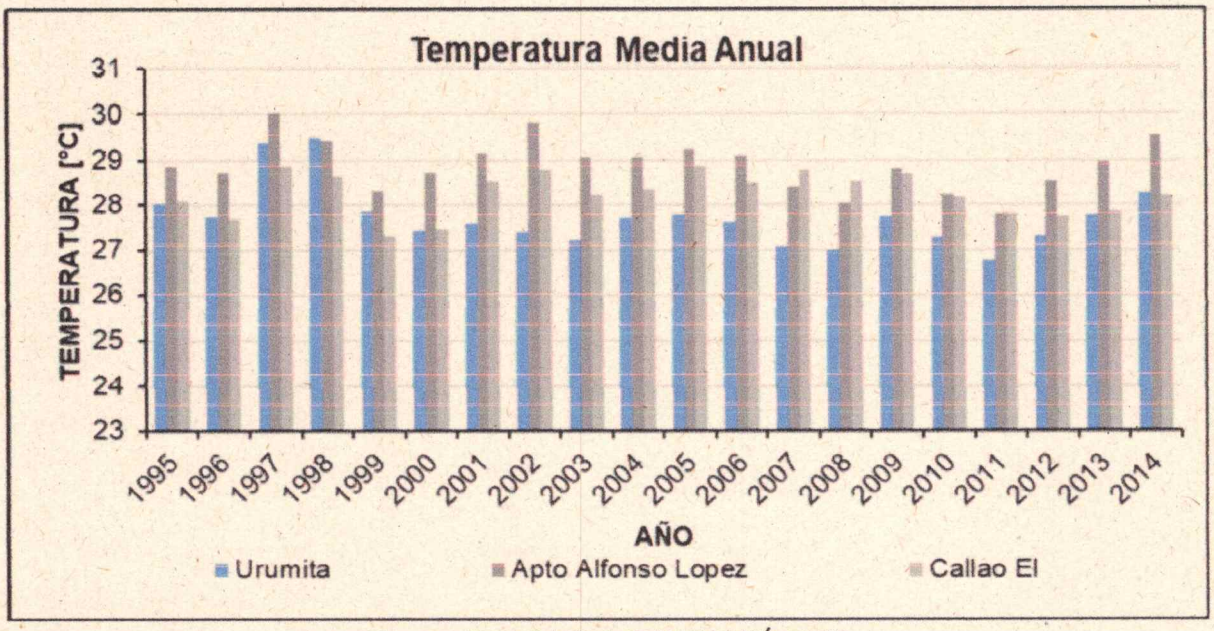
Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Figura 5. Temperatura mínima media anual Rio Guatapurí



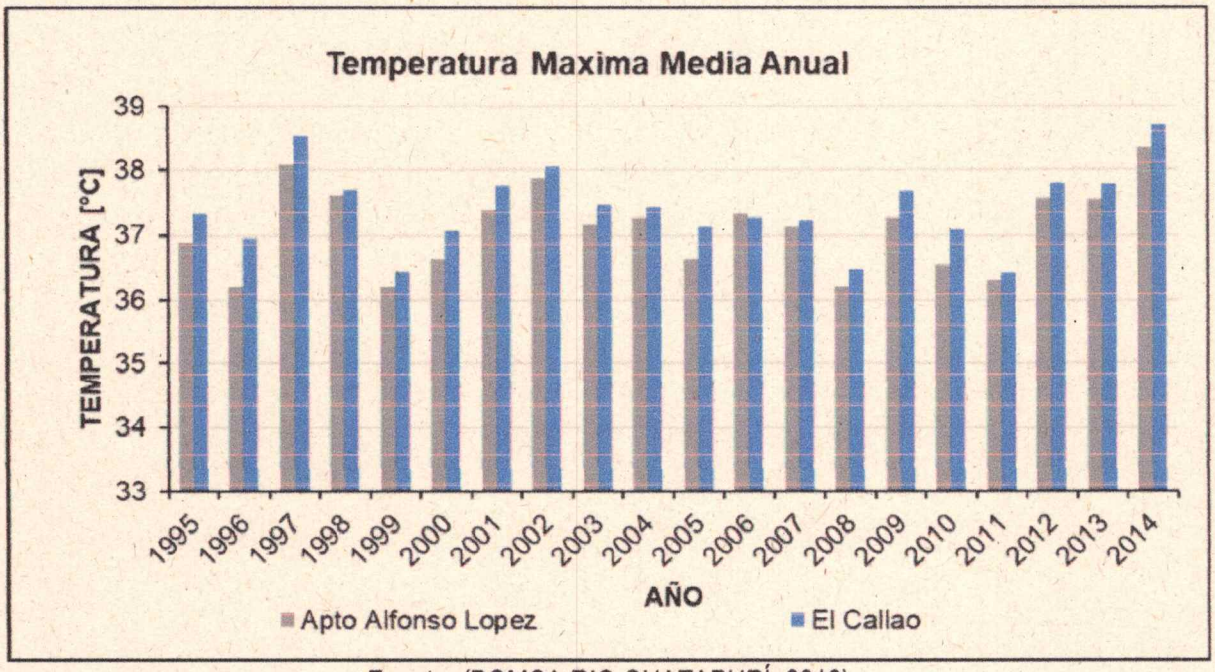
Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Figura 6. Temperatura media anual Rio Guatapurí



Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Figura 7. Temperatura máxima media anual Rio Guatapurí



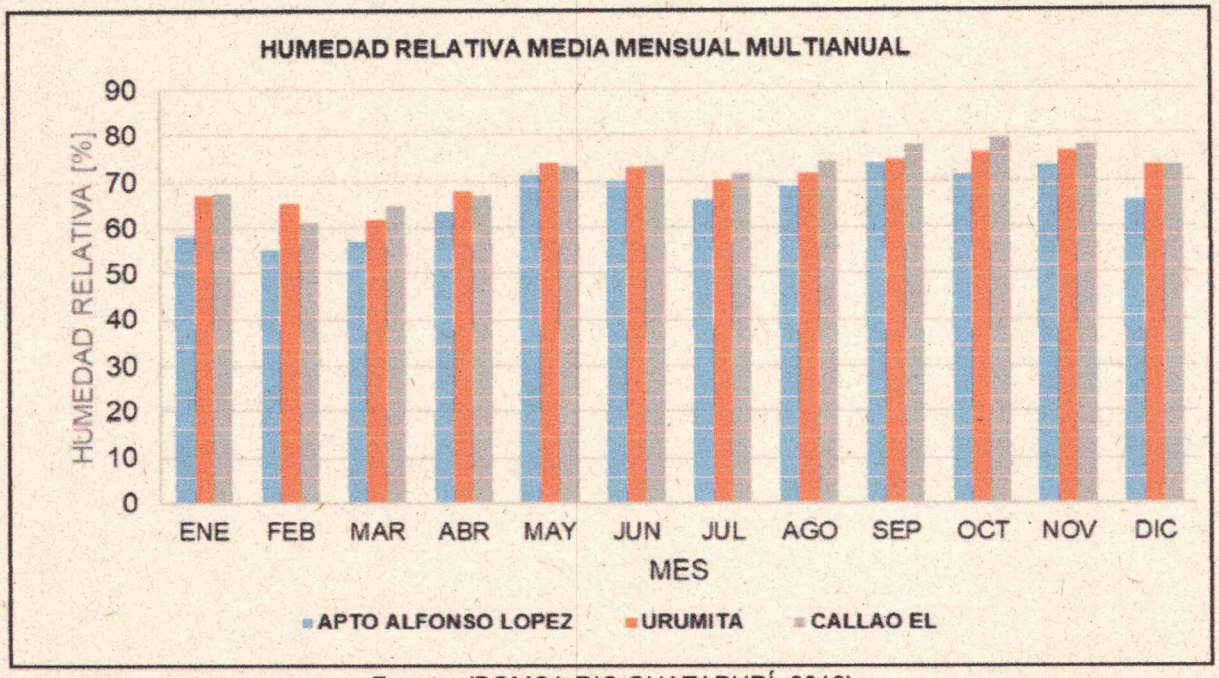
Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Humedad relativa

Mensual multianual: La humedad relativa media mensual multianual en la cuenca muestra incrementos graduales de enero a mayo, cuando alcanza valores elevados debido a la temporada de lluvias, especialmente en estaciones como Apto Alfonso López. Durante los meses de septiembre y octubre, la humedad relativa alcanza su punto máximo, con valores superiores al 80%, debido a la intensificación de la temporada de lluvias. El patrón general de la humedad sigue un comportamiento levemente descendente en los meses de verano y se estabiliza hacia finales del año.

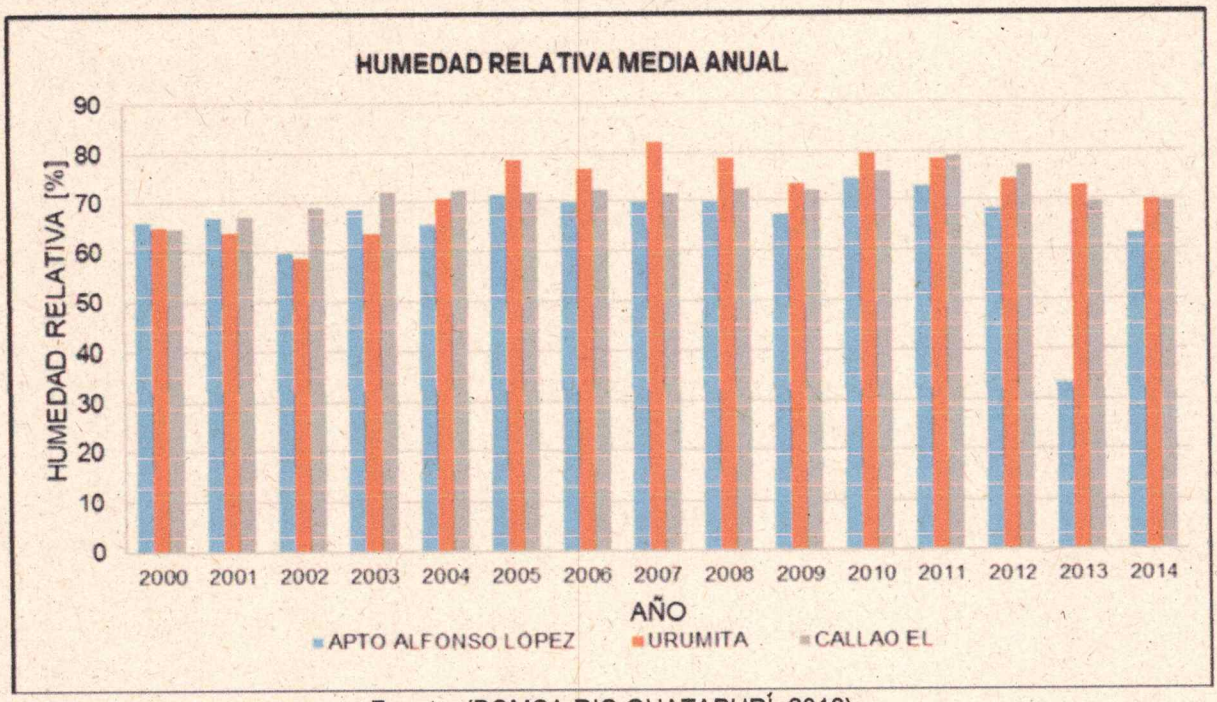
Anual: En promedio, la humedad relativa media anual oscila entre 65% y 79% en las estaciones. Entre 2000 y 2004, los valores promedios se situaron en torno al 65%. Sin embargo, entre 2005 y 2012, se observa un aumento, con un promedio del 70,5%, debido a condiciones climáticas más húmedas. En 2013, la estación Apto Alfonso López reportó un descenso anómalo con un valor de 33,4%, muy por debajo de la media histórica, indicando condiciones excepcionalmente secas ese año.

Figura 8. Humedad relativa media mensual multianual Rio Guatapurí



Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Figura 9. Humedad relativa media anual Rio Guatapurí

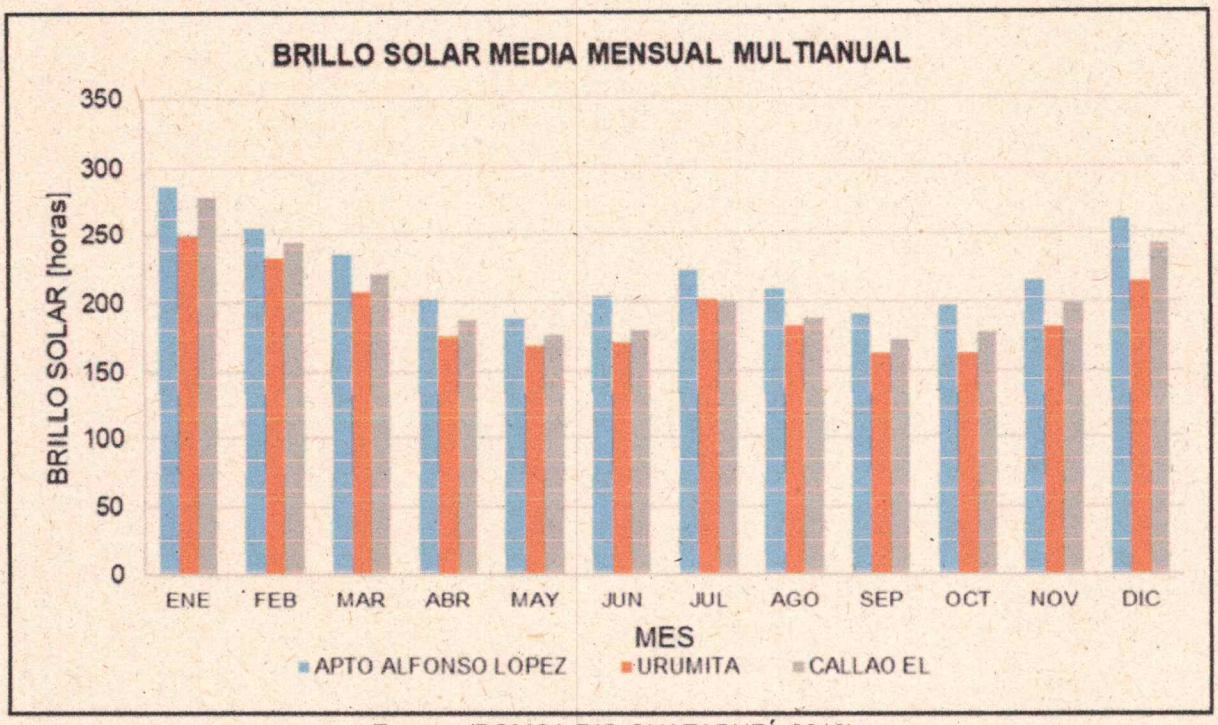


Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Brillo solar

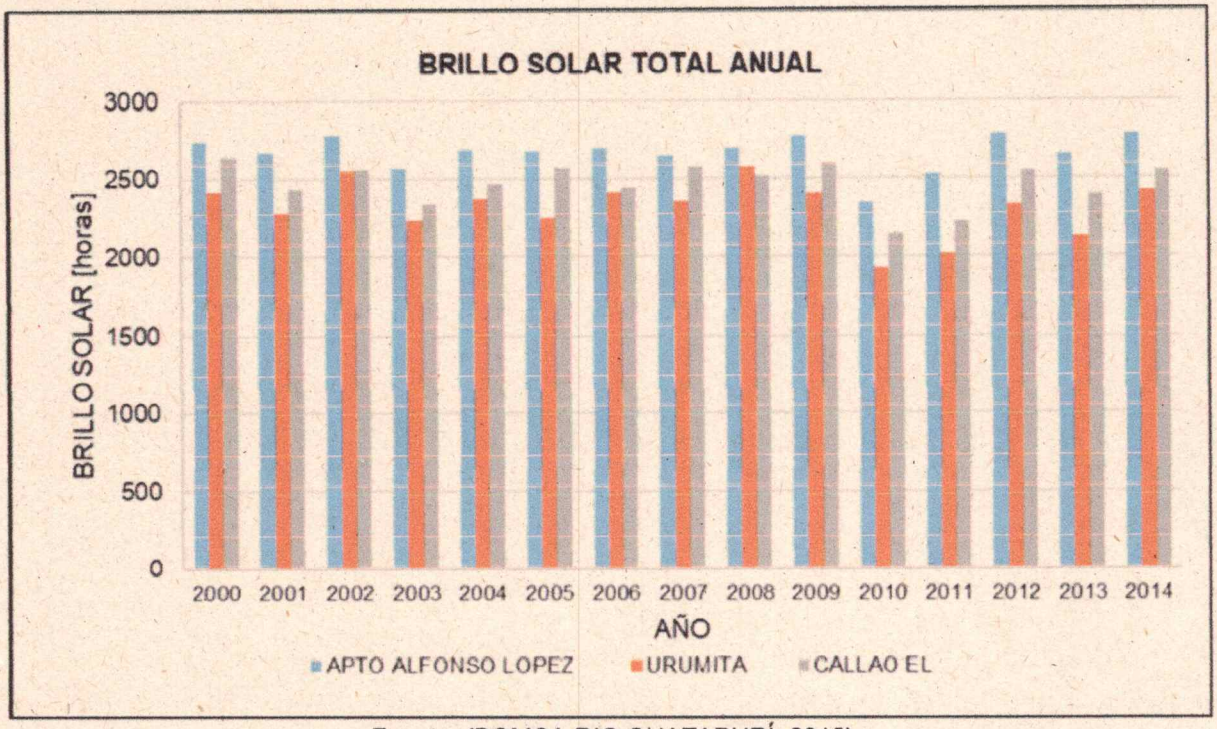
Mensual multianual: El brillo solar promedio mensual multianual, medido en horas, sigue una tendencia estable a lo largo del año. Los valores más altos se observan en enero, con 286,1 horas en la estación Apto Alfonso López, mientras que en meses como mayo y junio, el brillo solar disminuye, debido a la mayor cobertura nubosa en esos meses. En las estaciones Urumita y Callao El, los valores de brillo solar mensual son generalmente menores, rondando las 250 horas al mes en promedio.
Anual: A nivel anual, el brillo solar total se mantiene entre 2,400 y 2,700 horas, aunque se registró un descenso considerable en los años 2010 y 2011. La estación Urumita tuvo su punto más bajo en 2010, con solo 1,924.7 horas de sol, lo cual está vinculado a mayores niveles de nubosidad y posibles cambios en patrones atmosféricos que redujeron la radiación solar.

Figura 10. Brillo solar media mensual multianual Rio Guatapurí



Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Figura 11. Brillo solar total anual Rio Guatapurí



Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Evaporación

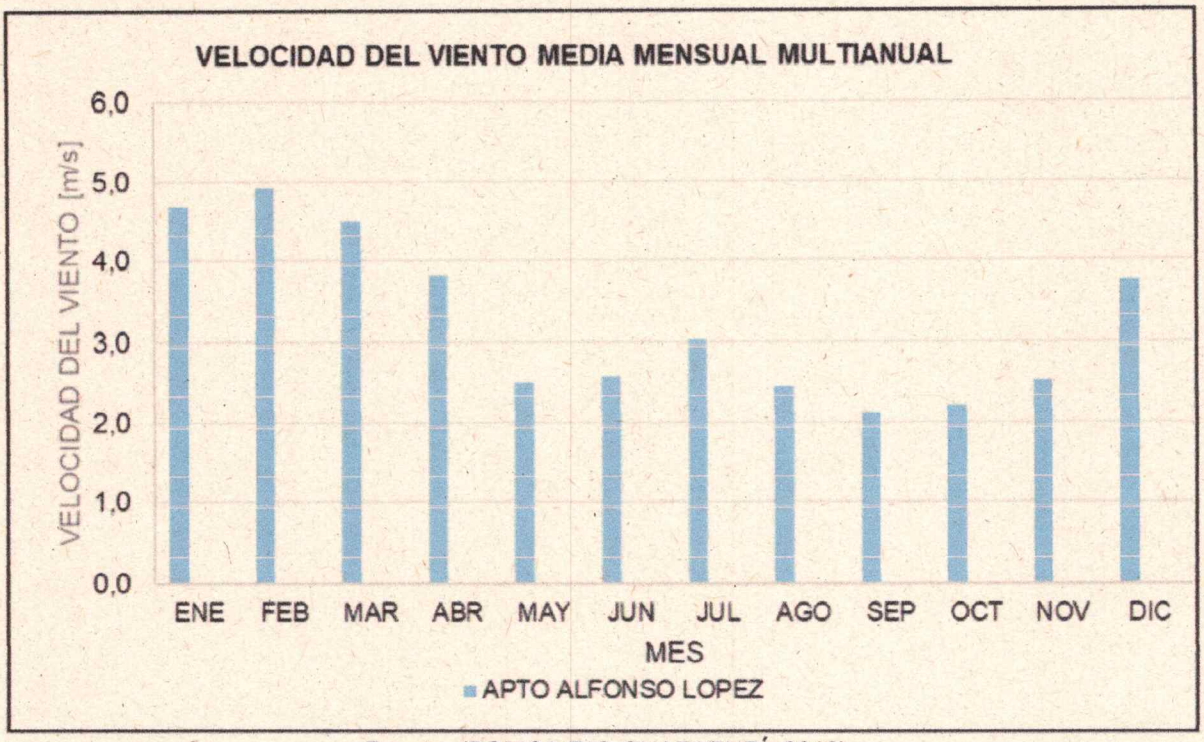
Mensual multianual: La evaporación media mensual varía considerablemente a lo largo del año, con los valores más altos en el primer trimestre. En marzo, por ejemplo, la estación Apto Alfonso López registra una evaporación de hasta 293,95 mm, debido a las altas temperaturas y la baja humedad relativa de ese mes. La evaporación comienza a disminuir gradualmente de mayo a noviembre, alcanzando su punto mínimo en octubre y noviembre, cuando las condiciones climáticas se vuelven más húmedas.
Anual: En cuanto a la evaporación total anual, los datos muestran fluctuaciones según el año, siendo la estación Apto Alfonso López la que mantiene los valores más elevados de evaporación en la serie histórica. Los picos máximos se dieron en 2002 y 2013, mientras que los valores mínimos se registraron en la estación Urumita, manteniendo una tendencia relativamente constante con mínimos de 119,78 mm anuales en 2006

Velocidad del viento

Mensual multianual: La velocidad media mensual del viento varía entre 4,93 m/s en febrero y 2,13 m/s en septiembre en la estación Apto Alfonso López, única estación con datos completos para este análisis. La velocidad del viento presenta picos en los meses de enero y febrero, con disminuciones graduales durante la temporada de lluvias.

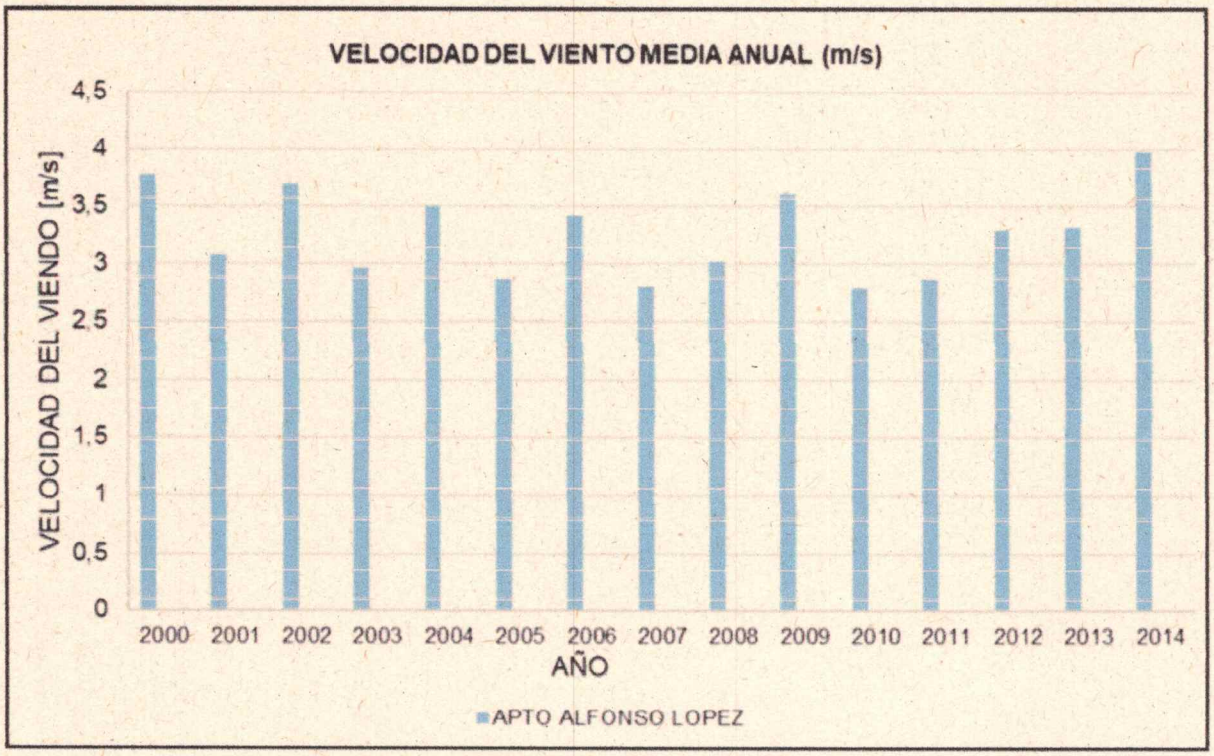
Anual: La velocidad media anual del viento muestra que los valores más bajos se registraron en los años 2007 y 2010 (2,8 m/s y 2,79 m/s, respectivamente), y los valores más altos en 2014 (3,98 m/s). En términos de dirección, la Rosa de Vientos muestra una clara predominancia hacia el noreste, con un 56% de ocurrencias en esa dirección y velocidades máximas de hasta 13,9 m/s, lo cual refleja una configuración de viento común en la cuenca, especialmente en las áreas de menor elevación.

Figura 12. Velocidad del viento media mensual Rio Guatapurí



Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Figura 13. Velocidad del viento media anual Rio Guatapurí



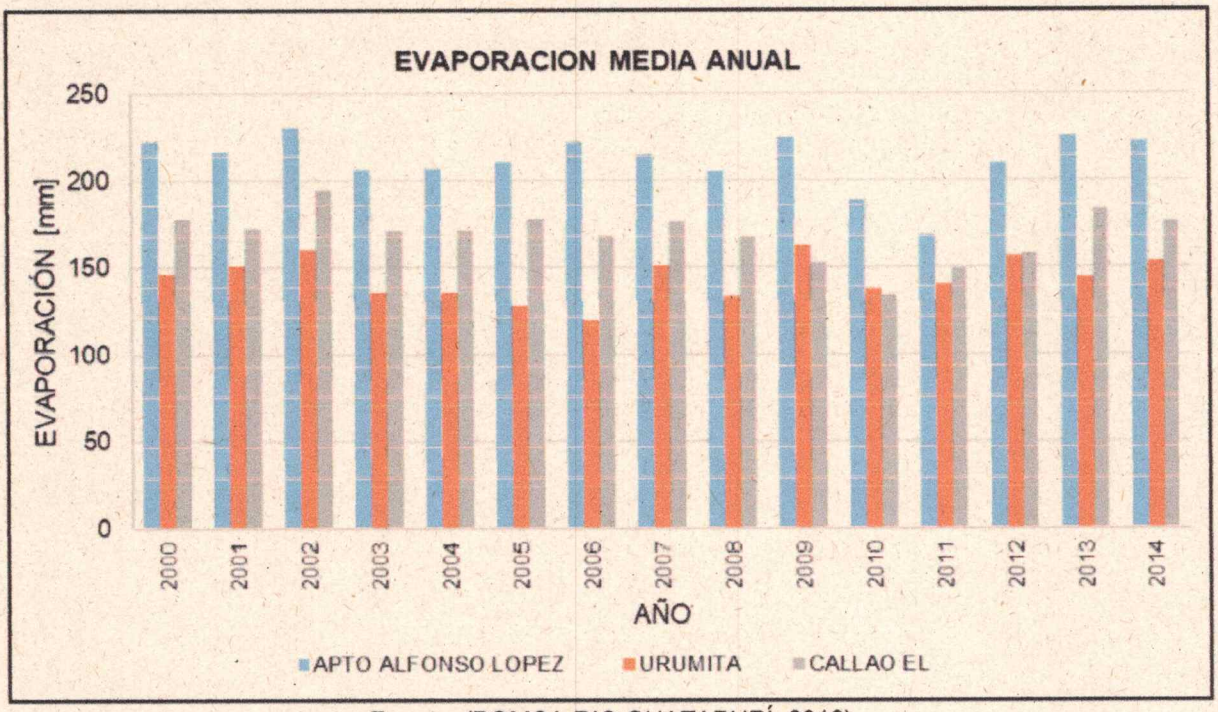
Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Evapotranspiración

Potencial: La evapotranspiración potencial (ETP) se calculó usando los métodos de Cenicafé y Thornthwaite, que toman en cuenta variables como la temperatura, altitud y humedad relativa. La ETP anual varía entre 507 y 2136 mm, mostrando que las zonas de menor altitud en la cuenca tienen valores de ETP más altos debido a temperaturas más elevadas. La cuenca presenta una fuerte variabilidad espacial, influenciada por el gradiente altitudinal.

Distribución Espacial: A nivel mensual, la ETP es más alta en julio, con valores que oscilan entre 54,5 mm y 211,9 mm, mientras que el mes de enero presenta la ETP más baja, entre 1 mm y 159 mm, de acuerdo con los mapas de distribución espacial generados con los datos de WorldClim y estaciones locales.

Figura 14. Evaporación media anual Rio Guatapurí



Fuente: (POMCA RIO GUATAPURÍ, 2018)

Zonificación climática

Metodología: El balance hídrico mensual se calcula mediante la precipitación y la evapotranspiración potencial (ETP) usando el método Thornthwaite, el cual permite identificar meses con déficit o superávit hídrico. En el análisis de la cuenca, los meses de marzo a agosto presentan generalmente un déficit de agua, con valores entre 19,9 mm y 93,3 mm. Este déficit es resultado de la baja precipitación y las altas temperaturas en estos meses, lo cual intensifica la ETP.

Distribución de déficit y superávit: En el caso de los meses de septiembre a noviembre, con lluvias abundantes, la cuenca experimenta un superávit hídrico, alcanzando 142,6 mm en septiembre, 216 mm en octubre y 117,1 mm en noviembre. Estos superávits representan una importante recarga para el sistema hídrico de la cuenca, lo que contrasta con el déficit significativo en la subcuenca Capitanejo (ubicada en la parte baja), que tiene un déficit anual de 345,6 mm, frente a 93,3 mm en la cuenca principal. La razón de este déficit elevado en Capitanejo es el mayor promedio de temperatura en comparación con otras áreas, lo que aumenta la ETP y reduce la disponibilidad hídrica.