
4. BALANCE DE AGUAS EN LA ORINOQUÍA

A lo largo de los primeros tres capítulos que componen este libro, se puede apreciar la magia de la Orinoquía, la cual está en sus abundantes aguas que inundan las sabanas. Dichas aguas están representadas por la copiosa lluvia que alimenta los innumerables ríos, caños, lagunas, esteros y acuíferos; pero, esa abundante agua no está presente todo el año. Durante 8 o 9 meses, desde abril hasta noviembre o diciembre, las sabanas reciben abundante agua de la precipitación que en promedio es de poco más de 2 metros por año.

Sin embargo, no solo es la lluvia que satura de humedad la sabana, sino también, las aguas que ruedan de la Cordillera Oriental y las aguas que se infiltran recargando los acuíferos. Pero, esa danza de las aguas casi se paraliza cuando deja de llover y comienza el periodo de estiaje (verano o mejor conocido como periodo seco), y lo que antes estaba saturado e inundado de agua, en corto tiempo se torna reseco y casi semidesértico. El contraste entre el periodo de lluvias y la época de estiaje es sorprendente, pero los ecosistemas se han adaptado a tan extremo ciclo y dependen de él. Dicho ciclo es delicado y más frágil de lo que se suele pensar.

Como el agua de las sabanas depende de las partes altas, se hace necesario cuidar de dichas cuencas incluyendo sus bosques, pastizales y matorrales. Una vez que las aguas llegan a la zona inundable, se hace necesario entender cómo corren las aguas superficiales, como se conectan con las aguas subterráneas, y cuál es el mejor aprovechamiento que les podemos dar con la mínima transformación posible.

Por eso es necesario entender mejor el impacto que las diferentes actividades ganaderas, agrícolas, mineras y de infraestructura podrían tener en los ecosistemas y en la cantidad y aptitud del agua disponible para los llaneros que la habitan.

La mejor manera para entender la cantidad y disponibilidad de las aguas de una zona es haciendo un **balance de aguas** en el que se miden, o se calculan de manera directa e indirecta, los diferentes componentes o variables del ciclo hidrológico en los diferentes estados del agua como son: precipitación (lluvia), escorrentía (agua superficial), infiltración (aguas subterráneas), evaporación y transpiración (de agua en sus diferentes formas y de los entes vivos).

En seguida, se muestra el balance de aguas de la parte central de la Orinoquía, enfocado en la parte centro norte de Casanare (Paz de Ariporo – cuenca del río Guachiría) (Figura 15). La información meteorológica ha sido suministrada por el IDEAM de estaciones climáticas en Yopal, Orocué, Arauca y poblaciones cercanas. Como el contraste entre la estación de lluvias y el período de estiaje es tan alto, se presentan los resultados y contrastes entre los mapas representativos de todo el año y los mapas de estiaje (verano).

Figura 15

Norte de la Orinoquía donde se hizo el balance de aguas



4.1 Metodología del balance de aguas

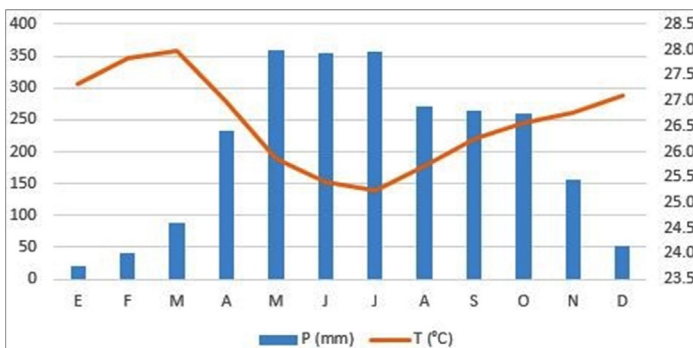
Las sabanas tropicales se caracterizan por la rotación de una temporada lluviosa y una temporada seca extensa y persistente, tal como las encontradas en el sector plano de la Orinoquía (IDEAM, 2019).

En la Figura 16, se presenta la gráfica climática de la estación Paz de Ariporo y se observa que la lluvia fluctúa entre 20 mm a 350 mm mensual, con una sumatoria de la lluvia promedio anual entre 1.900 y 2.500 mm, la temperatura media anual fluctúa de 25 a 28 °C, situada en una región cálida tropical, con un balance hídrico de abundancia de abril a noviembre (8-9 meses) y un pasivo hídrico entre mediados de diciembre y marzo (4-5 meses) (SGC, 2018).

Al graficar la precipitación mes a mes, se observa un comportamiento monomodal, es decir, presenta una sola temporada de lluvias altas dentro del año, que coincide con las temperaturas más bajas del municipio. La concentración de las lluvias en un solo periodo da como resultado un verano intenso, lo que hace al municipio sensible a sequías como la ocurrida en 2013-2014 y en la que murieron gran cantidad de chigüiros (capibaras) y otros animales silvestres y vacunos (Figura 16).

Figura 16

Precipitación y temperatura promedio en la estación de Paz de Ariporo de enero a diciembre



Nota. Benavides y Caro (2019)

La investigación abordada a lo largo de este libro, se enfoca en el estudio de una prospección aplicada, la cual integra la observación de datos climáticos y el sondeo de niveles del agua subterránea en lugares y pozos establecidos previamente, desde las sabanas altas (piedemonte) hasta las sabanas bajas a lo largo de las sabanas cerca al río Meta.

Los datos climáticos incluyen el estado actual y multitemporal de las coberturas utilizando información climática del IDEAM, fotografías aéreas e imágenes satelitales suministradas por el “Servicio Geológico de los Estados Unidos” (USGS), a través de la aplicación Earth Explorer, con imágenes satelitales del programa de sensores LANDSAT. MSS (Benavides y Caro, 2019).

Para este estudio, se tuvieron en cuenta, específicamente, 10 estaciones (Paz de Ariporo, Aeropuerto de Yopal, Saravena, Módulos, Aguaverde, Bonanza, Pore, Trinidad, Hato Burreunay y El Tapón), de las cuales cuatro son climatológicas y los otros pluviométricos, durante un periodo de 20 años, desde el año 1995 hasta el año 2014. Una vez todas las series de datos hidrometeorológicos (precipitación, temperatura, brillo solar, evaporación y humedad relativa), fueron completados, se elaboraron mapas de cada variable.

Como el contraste de la temporada seca es tan alto con respecto del resto del año, se comparó el mapa multianual con el de la temporada seca. Los mapas se hicieron mediante el software ArcGis 10.3 (Sistema de Información Geográfica), en el que se estimó la superposición de los datos hidrometeorológicos obtenidos de la base de datos del IDEAM de cada una de las 10 estaciones, con la ayuda del instrumento IDW (*Inverse Distance Weighted*) (Benavides y Caro, 2019).

Para el balance hídrico se utilizó la siguiente ecuación:

(Ecuación 1)

$$P(\text{precipitación}) = ETR(\text{evapotranspiración}) + ES(\text{escorrentía}) + I(\text{Infiltración})$$

P (precipitación): Es la variable más relevante en los cálculos climáticos porque representa la sumatoria de agua que entra en la región por la lluvia durante doce meses. Se obtiene a partir de medición en pluviómetros administrados por la oficina climatológica (IDEAM).

ETR (evapotranspiración real): Dado que, esta variable es difícil de medir, se determina, en primer lugar, la evapotranspiración potencial utilizando la ecuación de Thornthwaite; en segundo lugar, se calcula la evapotranspiración real. Para lo anterior, se utiliza la temperatura, un índice calórico, este debe ser (constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales), así también, se usa un exponente de tipo experimental determinado a partir de la temperatura.

ES (escorrentía): La escorrentía se define como el porcentaje de lluvia que fluye por la superficie y confluye en los ríos, caños, lagos y otros cuerpos de agua. Usualmente, equivale al caudal del río principal al final de la cuenca, pero esos caudales no se miden por el IDEAM en el río Guachiría, que es el principal drenaje. Por esta razón la escorrentía fue hallada, gracias al método de las curvas, el cual utiliza como dato de entrada la lluvia y sus características como: uso del suelo, cultivo, condiciones hidrológicas, absorción y humedad del suelo.

A continuación, las diferentes variables son procesadas en Arcgis 10.3, de tal manera que, se pueda obtener el número de curva y valor de S. En consecuencia, el plano de escorrentía se alcanza por medio del instrumento de Arcgis calculadora ráster, a partir de este, se elaboran expresiones algebraicas de mapas (Benavides y Caro, 2019).

I (infiltración): Es el agua lluvia o de escorrentía que atraviesa el suelo y se incorpora al nivel freático alcanzando las zonas saturadas. El resultado de infiltración es la diferencia de la Ecuación 2 del balance hídrico cuando esta se encuentra en equilibrio y se calcula así:

(Ecuación 2)

$$I = P - (ES + ETR)$$

Por otro lado, otra ecuación utilizada es el **Coefficiente de Ivanov**, que permite apreciar la duración de los periodos secos o húmedos, enmarcando así las temporadas de lluvia y sequedad en el municipio. Este coeficiente vincula la precipitación con la evaporación (Ecuación 3) (IGAC, 1999).

(Ecuación 3)

$$K = \left(\frac{P}{EVP} \right) * 100$$

Índice de disponibilidad de humedad (IDH) que vincula la precipitación efectiva y la evapotranspiración potencial (Ecuación 4).

(Ecuación 4)

$$IDH = \frac{P}{ETP}$$

Clasificación climática Caldas-Lang. Esta clasificación climática corresponde al cociente entre la precipitación y la temperatura (P/T) y se utiliza para determinar la aridez de una zona (IGAC, 1999).

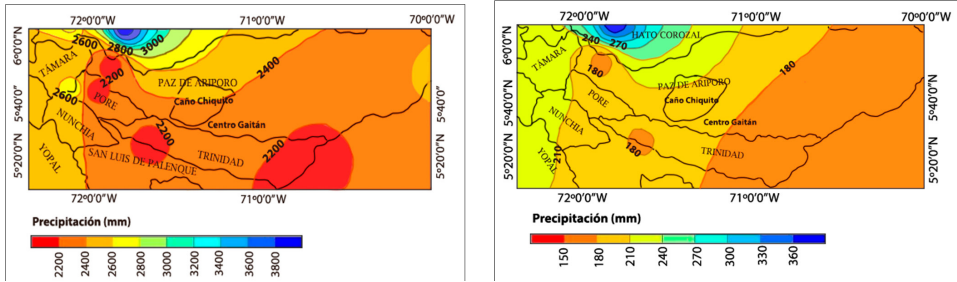
4.2 Resultados y análisis

A continuación se presentan simultáneamente las diferentes variables climáticas de: temperatura, precipitación, evapotranspiración, humedad relativa, evaporación y brillo solar, durante el año y en la época de verano. Esto con el fin de resaltar el contraste acentuado existente en la Orinoquía entre la temporada de lluvias y la temporada de verano.

Precipitación: La cantidad de lluvia promedio en Paz de Ariporo es de 2.300 mm al año, mientras que, en los 4 o 5 meses de verano solo cae un promedio de 190 mm, equivalente al 8 % de toda la lluvia que cae durante el año (Figura 17).

Figura 17

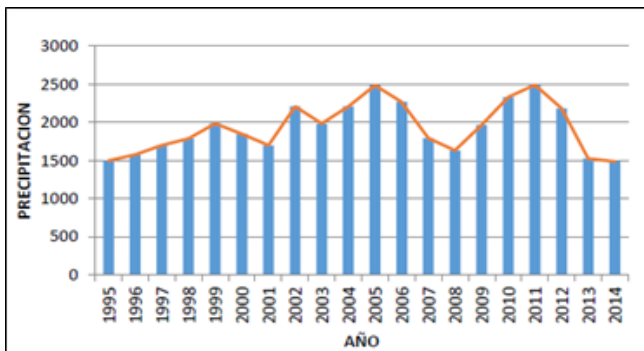
Contraste entre la precipitación anual vs. precipitación en periodo seco



Si se analiza la cantidad de lluvia promedio obtenida en los últimos 20 años (Figura 18), con respecto a los fenómenos climáticos ENSO (El Niño, La Niña) que han impactado a Colombia, se nota que la mayor influencia en la estación climática de Paz de Ariporo está directamente relacionada al impacto del fenómeno de La Niña; por otro lado, los datos revelan que, el fenómeno de El Niño no tuvo gran influencia durante ese periodo; Aun así, la sequía de 2014 parece que fue influenciada por el fenómeno de El Niño. En la Figura 18, nótese que los periodos de recurrencia o repetición de las sequías (menor lluvia) podrían estar entre 4 y 5 años.

Figura 18

Precipitación promedio anual en la estación de Paz de Ariporo desde 1995 hasta 2014

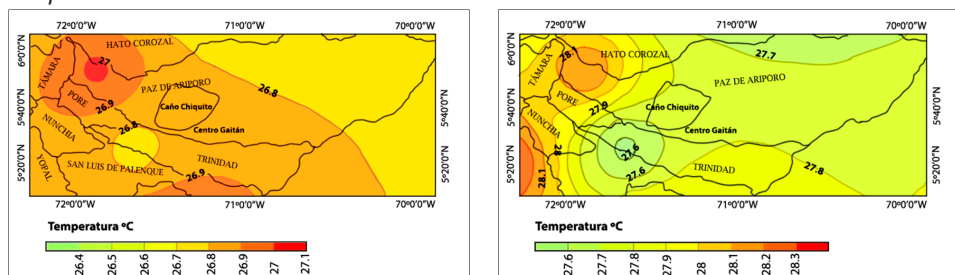


Nota. UPTC-Colciencias (2018)

Temperatura. En Casanare, la temperatura aumenta en el verano, y como resultado se eleva la evaporación y seca así la poca agua que queda en la cuenca. La temperatura promedio anual es de 26-27 °C (Figura 19, izquierda), en contraste a la temperatura media anual en el verano que es de 26-28 °C (Figura 19, derecha).

A pesar de que la temperatura oscila entre 1 y 2 grados, la influencia de otras variables como la baja precipitación en el periodo seco, la alta evaporación y el brillo solar, pueden dar escenarios suficientemente críticos, al punto que la llanura alcanza situaciones de aridez. Según la Figura 18, los periodos de sequía se producirían cada 5 años en promedio, de acuerdo con la recurrencia de la zona.

Figura 19
Temperatura anual promedio en Paz de Ariporo vs. La temperatura media en periodo seco



Brillo solar. El brillo solar, igualmente, parece incidir en las circunstancias de sequedad que se percibe durante el transcurso del verano; por lo tanto, se examina la luminosidad solar anual frente a la luminosidad solar en la época seca y, se observa que, de una media total de 2.000 horas de sol durante los doce meses, el 40% se produce en el periodo de verano, un 10% por cada mes que alcanza este periodo, lo que muestra que es una gran proporción para únicamente 4 meses.

Humedad relativa. La humedad en la atmósfera se define como la cuantía de vapor de agua que se encuentra en el aire y contribuye en la velocidad con la que se produce la evaporación.

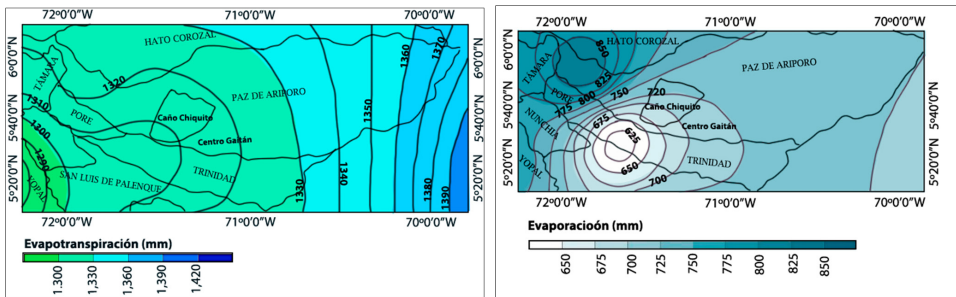
La media anual en el municipio es del 74% de humedad relativa durante el año, y de 68% de humedad relativa en el periodo seco, lo que demuestra que hay menos agua en forma de vapor en el aire. A pesar de la diferencia de humedad, la zona de Paz de Ariporo se considera con humedad alta (>60%) aún en estación seca.

Evaporación. La evaporación es otro factor decisivo durante la estación seca porque, la evaporación durante el verano (725 mm) equivale al 42% de la evaporación de todo el año, estas altas cifras se producen en una etapa en el que sólo se detectan 195 mm de lluvia; por lo tanto, se evapora cuatro veces más agua de la que llueve (Figura 20).

De este modo, la evaporación elimina casi toda el agua que cae durante el verano, incluida la que podría acumularse en los humedales. Esta fuerte evaporación descarta cualquier potencial acumulación y crea un déficit hídrico. La evapotranspiración en la Orinoquía oscilaría entre 900 a 1.200 mm/año.

Figura 20

Contraste entre la evaporación promedio anual vs. la evaporación en periodo de estiaje



Escorrentía. La escorrentía o agua que corre por la superficie hasta alcanzar los ríos depende, primordialmente, de la cobertura del suelo, por ejemplo, en la zona estudiada, gran parte de la superficie es de sabanas nativas formadas por sedimentos de llanuras aluviales cubiertas de pastos.

Es relevante tener en cuenta que, en los ríos y sus cercanías predominan los bosques de galería o lo que queda de estos, conformados por depósitos de terrazas y llanuras aluviales. Los cálculos de la escurriencia muestran que es cercana a los 1.100 a 1.300 mm/año, siendo menor en la parte central y mayor en la parte más suroccidental en los límites de Paz de Ariporo con el municipio de Trinidad (Figura 21).

Infiltración. La infiltración es más alta en las áreas aledañas a las quebradas y ríos, y se presenta en baja cantidad en los humedales. En algunas partes de la sabana si la infiltración se calcula con la ecuación: $I = P - (E + ETR)$, se obtiene como resultado que es muy baja a nula. Lo anterior contradice a lo que se esperaría de una llanura con influencia eólica que está inundada gran parte del año.

En contraste, el estudio de Benavides y Caro (2019) encontró que la infiltración estaría entre 300 y 400 mm/año, siendo mayor hacia las sabanas distales en el cual la pendiente es menor y los suelos son más arenosos (médanos). En las zonas menos permeables los valores serían cercanos a 200 mm/año.

Coefficiente de Ivanov. Este número mide la sequedad, y se encontró que, en esta parte de Casanare durante los meses de verano (diciembre - marzo), el clima se caracteriza por encontrarse seco y muy seco, representado con coeficientes < 25 ; por el contrario, durante la temporada de lluvia el coeficiente da una clasificación como muy húmedo.

Índice de disponibilidad de humedad. Para la zona de estudio, durante la estación seca, el índice de disponibilidad de humedad es pobre y, por lo tanto, limita la agricultura a menos que se riegue artificialmente; por el contrario, durante la temporada de lluvias el clima es adecuado para los cultivos que requieren un buen porcentaje de humedad.

Clasificación climática Caldas-Lang. Este tipo de categorización permite conectar la precipitación como la temperatura (P / T). Para la zona de estudio, al analizar el comportamiento del clima plurianual, resulta un clima semihúmedo; En contraste, al clasificar el clima con Caldas-Lang para la temporada seca, resulta un clima árido. Esa categorización es concordante con lo observado a lo largo de la sequía entre 2013 a 2014. Como resultado, es evidente un agravamiento de las condiciones, ya que, en ese momento, la categorización para la época de estiaje era semiárido, esto se obtiene al contrastar, actualmente, la clasificación de Caldas-Lang con la obtenida en 1999 (IGAC, 1999).

4.3 Conclusiones a partir del balance de aguas

Previamente, a partir del balance de aguas, se concluyó que, de la precipitación anual promedio de 2.200 mm en la zona de estudio, solo una pequeña parte (8 %) se precipita durante los 4 o 5 meses del periodo de verano. Aunque, la diferencia de temperatura entre el período húmedo y seco es de solo 2°C, lo que no es suficiente para justificar la sequía; sin embargo, si se adiciona la influencia de otras variables como disminución de precipitación y alta evapotranspiración durante la temporada de estiaje, es posible percibir que se dan los requisitos para que la llanura alcance ambiente de semiaridez a aridez.

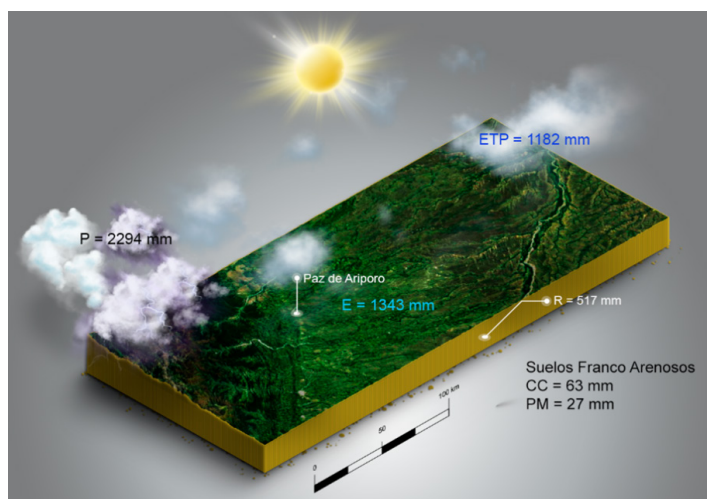
Además, se encontró que durante el verano la evaporación alcanza a ser un 400 % más que la precipitación. En consecuencia, casi la totalidad del agua disponible, se evapora y no se repone, ya que las lluvias presentes son escasas, por lo que existe un severo régimen de déficit hídrico durante el periodo seco.

En este sentido, se observa que la proporción del flujo de agua que se mueve gracias a la escorrentía es alta ($\approx 800 - 1.200$ mm/año) y, esta se incrementa hacia el oriente, a medida que convergen caños y ríos buscando el río Meta. Uno de los desafíos para calcular la infiltración es la falta de estaciones de medición del caudal de los ríos (equivalente a la escorrentía).

La infiltración se supone baja porque se asume una naturaleza lodosa de las llanuras aluviales, sin embargo, existen abundantes depósitos eólicos hacia el oriente con buena permeabilidad asociados con los depósitos fluviales y eólicos, que favorecerían una recarga directa por precipitación. De esta manera, la infiltración efectiva podría estar entre 200 - 500 mm/año, no obstante, se requiere más investigación al respecto (Figura 21 y Capítulo 6).

Figura 21

Bloque diagrama resumen de los componentes que actúan en la ecuación del ciclo hidrológico en el norte de Casanare

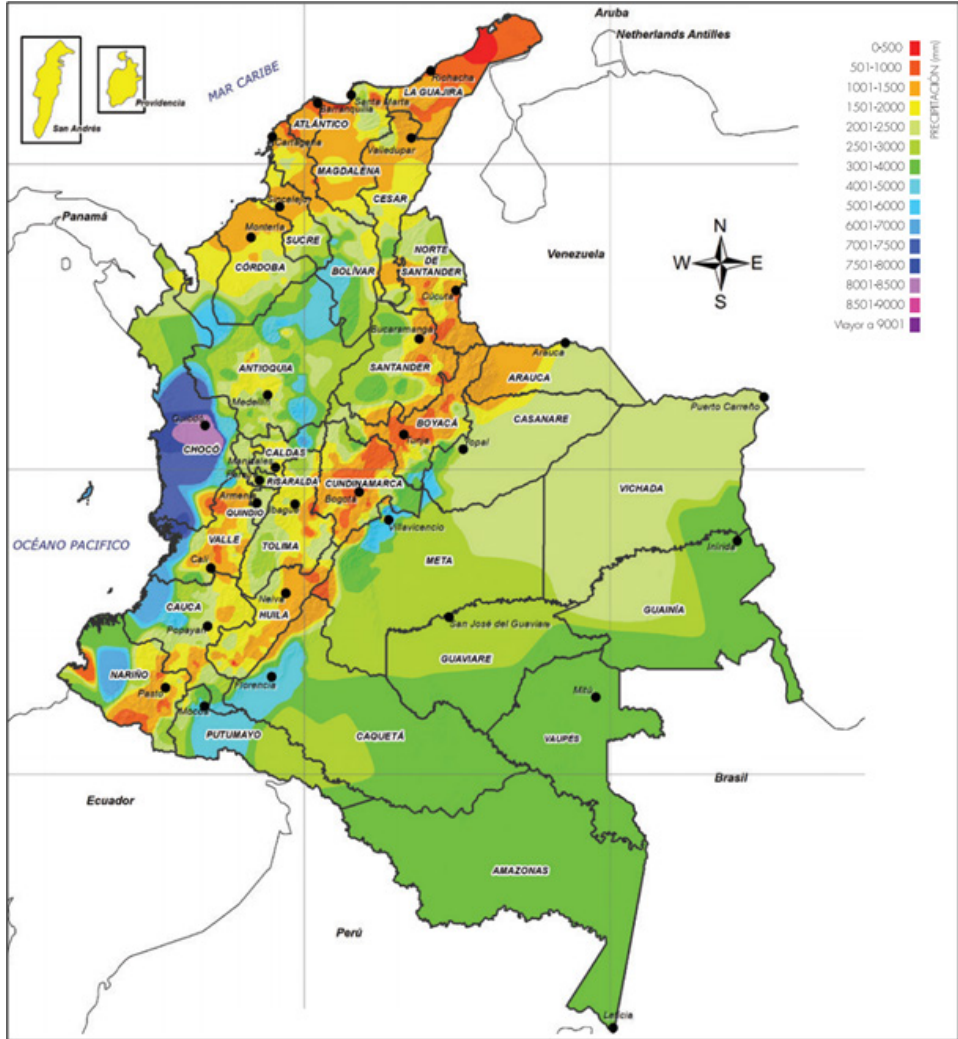


Nota. Benavides y Caro (2019)

De acuerdo con el mapa de la precipitación media en Colombia, en el norte del Casanare esta sería cercana o superior a los 2.000 mm, lo que significa que es buena y coincide con los datos anteriormente presentados. Esa abundante agua alimenta los ríos (escorrentía) y los acuíferos (infiltración). La precipitación va aumentando en dirección SE-NW de acuerdo con la dirección de los vientos alisios y en su encuentro con la Cordillera Oriental, en el piedemonte puede alcanzar los 4.000 mm por año (Figura 22).

Figura 22

Mapa de precipitación media anual para Colombia, período 1976-2000



Nota. IDEAM (2018)

