

Proyecto cuenca río Camarones fase I

Módulo 2: Componente climático e Hidrológico en el marco del estudio sobre “Medidas de resiliencia relacionadas con el aprovisionamiento de agua, seguridad alimentaria, nutricional y con un enfoque de género en las comunidades de la cuenca del río Camarones, en La Guajira, afectadas por la variabilidad y cambio climático”

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Programa Mundial de Alimentos de Colombia

Debora Hines

Representante del Programa Mundial de Alimentos de Naciones Unidas

Joseph Martínez

Resilience and Climate Change Focal Point

United Nations World Food Programme

Ramasio Tiller

Jefe oficina de Riohacha PMA

Carlos Eduardo Gómez

Coordinador Proyecto Cuenca río Camarones

Autor

Eliecer Diaz Almanza

Experto en meteorología. Msc en meteorología

Coautores

Carlos Eduardo Gómez Sánchez

Agrólogo. Msc en fisiología Vegetal. Msc en Gestión Ambiental para el Desarrollo

María Camila Gómez Bonilla

Ingeniera Ambiental. Msc Ciencias ambientales

Equipo de trabajo Proyecto Cuenca Río Camarones, Fase I

Coordinadores

Carlos Eduardo Gómez Sánchez

Joseph Martínez

Agradecimientos

Al director de Corpoguajira Dr. Manuel Medina y al jefe de Planeación Dr. Samuel Lanao

Al presidente del consejo de la cuenca del río Camarones Sr. Anderson Rosado

ÍNDICE

Introducción	5
1. COMPONENTE CLIMÁTICO.....	7
1.1 Procedimiento Metodológico.....	7
1.1.1 Control de la calidad de información	10
1.1.2 Análisis de resultados de la información	14
1.2 Características generales del clima	15
1.3 Caracterización climatológica	23
1.4 Análisis de la Variabilidad Climática	37
1.4.1 Análisis de la variabilidad de la precipitación.....	37
1.4.2 Análisis de la variabilidad de la temperatura del aire.....	39
1.5 Análisis de tendencias climáticas	40
1.6 Análisis de cambio climático.....	41
1.7 Sequías y excesos hídricos en la cuenca del río Camarones	41
1.8 Análisis de amenazas de desertificación	43
COMPONENTE HIDROLÓGICOS	45
1.9 Procedimiento Metodológico.....	45
1.10 Análisis hidrológicos.....	47
1.10.1 Oferta de agua disponible	47
1.10.2 Demanda hídrica	49
1.10.3 Presión hídrica.....	51
1.11 Presión hídrica superficial	52
1.12 Presión hídrica subterránea.....	59
1.13 Presión hídrica subsuperficial	61
1.14 Análisis sobre la oferta de hídrica o de agua dulce para uso de los requerimientos de las comunidades y los ecosistemas de la cuenca del río Camarones.....	65
ANÁLISIS DE RIESGO.	66
1.15 Procedimiento Metodológico.....	66
1.16 Agua aprovechable en el suelo	68
1.17 Análisis de riesgo agrícola.....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
Propuestas de intervención recomendadas	80
Perfil de proyecto sistemas de riego a pequeña escala.	80
Perfil de proyecto Sistemas de Cosecha de Agua lluvia.....	81

Perfil de proyecto sistemas Participativos de Alertas Hidroclimáticas Tempranas.	82
BIBLIOGRAFÍA	83

CONTENIDO DE FIGURA

Figura 1: Estaciones climáticas seleccionadas en el área de estudio para el POMCA de la cuenca Camarones.	6
Figura 2: Estaciones climáticas pertenecientes a la Red Nacional administrada por el IDEAM, representativas en la cuenca del río Camarones-La Guajira.	8
Figura 3: Validación de datos observados en superficie por IDEAM versus datos CHIRPS.	10
Figura 4: Análisis de doble masa.	13
Figura 5: Esquematización de los flujos de la brisa marina.	18
Figura 6: Viento promedio en superficie para enero (línea azul) y julio (línea roja, esta línea representa la Zona de Convergencia Intertropical.	19
Figura 7: Los colores rojos indican un nivel del océano mayor de lo normal, a causa del acumulamiento de agua cálida, en condiciones normales (imagen izquierda), durante El Niño (imagen central) y durante La Niña (imagen derecha), así mismo los patrones de circulación asociados con estas condiciones.	20
Figura 8: Episodios cálido (rojo), indica ENSO, fase El Niño y episodios fríos (Azules), indican ENSO, fase La Niña, con base en un umbral de +/- 0,5 °C para el Índice ONI. Valores entre 0.5 y -0.5 oC, se consideran condiciones neutras del fenómeno [3 meses media móvil de las anomalías de la TSM en ERSST.v3b la región Niño 3.4 (5o N-5o S, 120o -170o W)]. Para fines históricos episodios fríos y calientes (números de color azul y rojo) se definen cuando se alcanza el umbral de un mínimo de 5 consecutivos se superpone a las estaciones.	20
Figura 9: Ciclo del ENSO, fase El Niño: Condiciones climáticas predominantes o típicas bajo esta fase del fenómeno.	21
Figura 10: a) Trayectorias de los sistemas ciclónicos que han transitado por el océano atlántico entre 1981-2016. b.) Trayectorias de los sistemas ciclónicos que han transitado en un radio de 500 kilómetros de la península de La Guajira entre 1981-2016.	24
Figura 11: Porcentaje de sistemas ciclónicos entre 1981-2016, con trayectorias cercanas a La Guajira.	25
Figura 12: Precipitación anual-multianual entre 1981-2010, en la cuenca del río Camarones. ..	26
Figura 13: Distribución de la precipitación mensual-multianual entre 1981-2010, segunda datos de IDEAM y CHIRPS.	29
Figura 14: Distribución de la temperatura máxima y mínima mensual-multianual entre 1981-2010 representativa de la cuenca baja y media de la cuenca del río Camarones.	30
Figura 15: Distribución de la temperatura del aire mínima mensual-multianual entre 1981-2010 en la cuenca del río Camarones.	31
Figura 16: Distribución de la temperatura del aire media mensual-multianual entre 1981-2010 en la cuenca del río Camarones.	32
Figura 17: Distribución de la temperatura del aire máxima mensual-multianual entre 1981-2010 en la cuenca del río Camarones.	33
Figura 18: Humedad Relativa (HR) y Brillo Solar (Br.S) mensual – multi anual en la estación Matitas- cuenca río Camarones.	34
Figura 19: Evapotranspiración de referencia anual multianual entre 1981 a 2010, en la cuenca del río Camarones-La Guajira.	35
Figura 20: Evapotranspiración de referencia máxima anual entre 1981 a 2016, en la cuenca del río Camarones-La Guajira.	36
Figura 21: Precipitación anual desde 1970 a 2016, registradas en las estaciones del IDEAM localizadas en la cuenca río Camarones.	37

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Figura 22: Anomalía de la precipitación bajo escenarios de El Niño (Color rojo) y La Niña (Color Azul) -ENSO, en las estaciones del IDEAM localizadas en la cuenca del río Camarones.	38
Figura 23: Anomalía de la temperatura bajo escenarios de El Niño y La Niña -ENSO, en las estaciones del IDEAM localizadas en la cuenca del río Camarones.	40
Figura 24: Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), en la cuenca los camarones mensuales entre enero de 1971 a febrero de 2018..	42
Figura 25: Índice de desertificación en períodos decadales para la cuenca del río Camarones. .	45
Figura 26: Esquema metodológico para la evaluación de la oferta hídrica superficial.	46
Figura 27: Procedimiento para la determinación del caudal ambiental. IDEAM 2013.....	47
Figura 28: Oferta hídrica (metros cúbicos por segundos) disponible en un año normal hidrológico (climatología entre 1981-2010) con base en datos medidos en superficies y estimaciones satelitales.....	48
Figura 29: Presión de la demanda doméstica sobre la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Camarones bajo un año normal hidrológico.	55
Figura 30: Presión de la demanda pecuaria sobre la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Camarones bajo un año normal hidrológico.	58
Figura 31: Esquema de un sistema hídrico subterráneo.	59
Figura 32: Presión de la demanda doméstica y pecuaria sobre la oferta hídrica subterránea en la cuenca del río Camarones bajo un año normal hidrológico.	61
Figura 33: Relación entre demanda agrícola y forestal versus oferta hídrica superficial en la cuenca del río Camarones bajo un año normal hidrológico.	64
Figura 34: Agua aprovechable (milímetros) para la agricultura, forestal en la cuenca del río Camarones, bajo un escenario normal..	68
Figura 35: Agua aprovechable (milímetros) para la agricultura, forestal en la cuenca del río Camarones, bajo un escenarios exceso y deficitarios.	69
Figura 36: Exposición de las pasturas en la cuenca del río Camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.....	70
Figura 37: Vulnerabilidad del sistema productivo del cultivo de pasturas en la cuenca del río Camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.	71
Figura 38: Exposición del cultivo de yuca en la cuenca del río Camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.	73
Figura 39: Vulnerabilidad del sistema productivo del cultivo de yuca en la cuenca del río Camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.....	74
Figura 40: Exposición del cultivo de maíz en el primer semestre agrícola en la cuenca del río Camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.....	75
Figura 41: Exposición del cultivo de maíz en el segundo semestre agrícola en la cuenca del río Camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.....	76
Figura 42: Vulnerabilidad del sistema productivo del cultivo de maíz en el primer semestre agrícola en la cuenca los camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.	77
Figura 43: Vulnerabilidad del sistema productivo del cultivo de maíz en el segundo semestre agrícola en la cuenca del río Camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.	78

CONTENIDO DE TABLA

Tabla 1: Metadato de las estaciones climáticas pertenecientes a la Red Nacional administrada por el IDEAM, representativas en la cuenca del río Camarones-La Guajira.	8
Tabla 2: Indicadores generados por el programa Rclimindex.....	15

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Tabla 3: Estadística mensual de tormentas tropicales y huracanes entre 1851 y 2005, en el mar Caribe, entre 9°N y 18°N, desde 54°W y 84°W..	16
Tabla 4: Ciclones que han transitado en un radio de 300 kilómetros de La Guajira (punto de referencia Punta Gallina), entre 1851 a 2016 (DS= Depresión, TS= Tormenta Tropical, HU= Huracán).	17
Tabla 5: Año cuando se han presentado episodios ENSO, fase "El Niño" y " La Niña", entre 1950 a 2017..	21
Tabla 6: Tendencia de la precipitación y temperatura máxima y mínima entre el período de 1976 a 2017, en las estaciones representativas de la cuenca Camarones.	40
Tabla 7: Cambios de la precipitación y temperatura media bajo escenarios de cambio climático entre los períodos de 2011-40, 2041-2070 y 2071 -2010, para el departamento de La Guajira.	41
Tabla 8: Meses cuando se han registrado los valores del Índice Precipitación Estandarizada (SPI), de sequías más severas.	42
Tabla 9: Valores del índice de P/ETP y el tipo de clima.	43
Tabla 10: Oferta hídrica (metros cúbicos por segundos) disponible o neta (caudal total – caudal ambiental) en un año normal hidrológico (climatología entre 1981-2010) con base en datos medidos en superficies y estimaciones satelitales.	0
Tabla 11: Oferta hídrica disponible (metros cúbicos por segundos) bajo condiciones de un año seco entre 1981 a 2016, con base en datos medidos en superficies y estimaciones satelitales.	3
Tabla 12: Demanda anual (metros cúbicos) en las principales actividades en la cuenca del río Camarones. Un metro cubico es igual a 1000 litros; es aproximadamente la cantidad de agua que se tendría en 100 baldes (baldes de 10 litros, o comúnmente 20 botellas).	49

Introducción

Según el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), parece inevitable que el cambio climático produzca efectos importantes y es fundamental que las comunidades adopten medidas prácticas para protegerse de los daños y perturbaciones probables.

Según el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en Inglés) en su quinto informe (IPCC, 2014), establece entre sus principios de adaptación eficaz al cambio climático lo siguiente:

“Una primera medida de adaptación al cambio climático futuro consiste en reducir la vulnerabilidad y exposición a la variabilidad climática actual (nivel de confianza alto)”.

“Las estrategias comprenden medidas junto a co-beneficios para otros objetivos. Las estrategias y medidas existentes pueden hacer que aumente la resiliencia en una gama de posibles climas futuros y contribuir al mismo tiempo a que mejoren la salud humana, los medios de subsistencia, el bienestar social y económico y la calidad del medio ambiente”.

Como un aporte técnico para proyectos que buscan establecer medidas de resiliencia relacionadas con aprovisionamiento de agua, Seguridad Alimentaria y Nutricional y enfoque de género para las comunidades afectadas por la variabilidad y cambio climático en la cuenca del río Camarones de La Guajira colombiana, se presenta este documento.

El cual, contiene un componente climático, que explica las características climatológicas de cómo es la distribución espacial y temporal de las variables precipitación, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, brillo solar y evapotranspiración en la zona de trabajo. En el mismo capítulo, se hace un análisis de la variabilidad, tendencias y cambio climático. El segundo capítulo hace referencia al componente hidrológico, donde se presenta la oferta hídrica, superficial y subterránea, así como la demanda hídrica en el sector agrícola y forestal, doméstico y ganadero. Además, se muestra el grado de presión que pueden ejercer dichos sectores sobre la oferta hídrica en la zona.

El tercer capítulo, se expone un análisis de riesgo, donde se presentan las amenazas climáticas como sequía, cual es el potencial de agua aprovechable en el suelo para fines agrícolas y forestales, y cual es la exposición y vulnerabilidad productiva que tienen algunos cultivos de importancia para la seguridad alimentaria en la zona. En el cuarto capítulo se presentan los perfiles de propuestas de proyectos de intervención que pueden ayudar a fortalecer la resiliencia y seguridad alimentaria de las comunidades objeto, bajo eventos extremos asociados con la variabilidad y cambio climático. Por último, se presentan conclusiones y recomendaciones.

Para la elaboración de los componentes climático e hidrológico, se tomaron aspectos o resultados del estudio desarrollado para la caracterización del medio físico-biótico de la cuenca en el documento del POMCA del río Camarones. En este estudio identificaron y seleccionaron estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca y sus alrededores, pertenecientes a la red hidrometeorológica nacional administrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Así mismos revisaron las estaciones que conforman el Sistema de Alertas Tempranas (SAT), implementado en el marco del convenio entre CORPOGUAJIRA y la Cruz Roja Colombiana seccional La Guajira (Corpoguajira-Consorcio Wajira, 2017).

Identificaron 22 estaciones climáticas, de las cuales 13 estaciones poseen registros de al menos 15 años (2000-2014) y tan solo tres (3) estaciones están ubicadas en el área de la cuenca, que corresponden a Apto

Figura 1: Estaciones climáticas seleccionadas en el área de estudio para el POMCA de la cuenca Camarones.



Con base en la información climática mensual multianual (2000 - 2014), realizaron análisis de la distribución espacial y temporal de las variables precipitación (Volumen mensual y máxima en 24 horas), temperatura media y máxima, humedad relativa, brillo solar, evaporación y velocidad del viento tanto

magnitud (recorrido) como dirección. En el presente estudio se descartó la variable de velocidad del viento (magnitud y dirección), debido a la poca información existente en las series de datos de la única estación que registra (Apto Almirante Padilla).

Las estaciones del SAT no se tuvieron en cuenta en el análisis espacial debido a que sus datos se diferenciaban mucho de los datos registrados por las estaciones del IDEAM; por ejemplo: cuadruplicando los datos de precipitación en algunas ocasiones, dicho análisis fue corroborado en el presente trabajo. Además, desarrollaron análisis de la distribución espacial de la Evapotranspiración Potencial y Real, estimada a través del método de Thornthwaite, en este estudio se realizaron con el método de Penman-Monteith FAO.

Para determinar la capacidad que tiene el ecosistema en la cuenca, para mantenerse en función de la cantidad de precipitación en un periodo de tiempo, estimaron el Índice de Aridez, el cual es un indicador que permite establecer posibles zonas de desertificación. En el presente estudio se estimó el indicador de desertificación asignado en el marco de convención de las naciones unidas de lucha contra la desertificación y la sequía, para determinar las áreas en desertificación es la relación Precipitación/Evapotranspiración y la relaciona con los ecosistemas.

El estudio técnico del POMCAS, para la realización de la evaluación de la oferta hídrica en la cuenca de trabajo, inició con una revisión de diferentes documentos y estudios realizados anteriormente (POMCAS, estudios de infiltración y vulnerabilidad de los acuíferos, estudios para el diseño de la red de monitoreo, niveles piezométricos y calidad de agua). Posteriormente estimaron la oferta hídrica para el área de estudio, donde obtuvieron el volumen promedio de agua que se infiltra en la Cuenca, este cálculo, lo realizaron a partir de un balance climático, donde la precipitación es la entrada y la evapotranspiración es la salida, esta última estimada con el método de Thornthwaite. En el presente trabajo se actualizó la metodología y el periodo de análisis que fue entre 1981 a 2016, además se estimó la recarga de agua subterránea, a partir de la percolación, agua lluvia que se infiltra hasta esta profundidad.

Adicionalmente, evaluaron usos actuales y potenciales del recurso hídrico, así como la demanda hídrica en la zona para algunas prácticas, especialmente agrícolas, bajo un escenario normal. Dado que la mayoría de los arroyos tiene caudal intermitente, está en función de la duración de la lluvia, no cuentan con información del agua extraída para consumo u otro uso. Pero si se cuenta con índice de retención y regulación hídrica de las subcuencas en cuestión, los cuales son muy bajos. Este estudio fue actualizado con la información climática desde 1981 a 2016, datos medidos en superficie (estaciones) y estimados con productos satelitales. Adicionalmente, en el presente trabajo se realizan análisis de variabilidad y cambio climático, tendencias de las variables precipitación y temperatura, análisis de riesgo agroclimático.

1. COMPONENTE CLIMÁTICO

Inicialmente se realizó una revisión metodológica y análisis a los resultados de los estudios técnicos referentes al componente climático e hidrológico de la caracterización del medio físico-biótico de la cuenca del POMCA del río Camarones. A continuación, se explica para cada componente su respectivo proceso metodológico.

1.1 Procedimiento Metodológico

Se seleccionaron estaciones meteorológicas localizadas en la cuenca del río Camarones, según el catálogo de la red Nacional, administrada por el IDEAM. Se priorizaron las estaciones con series de datos. Según

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



recomendaciones de la Organización Mundial de Meteorología (WMO, 2007), el clima se describe en términos de valores medios y de variabilidad temporal y espacial de elementos como precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, brillo y/o radiación solar, entre otros, para períodos que abarcan desde meses hasta años (el período de caracterización habitual es de 30 años, (IPCC, 2007). En el presente estudio se tomaron estaciones con series climáticas superiores a 20 años, correspondientes a las indicadas en la Tabla 1 y

Figura 2. La información recopilada comprendió las siguientes variables a escala temporal diaria y mensual.

- Precipitación (milímetro - mm): Un milímetro es igual a un litro de agua en un metro cuadrado.
- Temperatura media, máxima, mínima (grados Celsius °C)
- Brillo solar ($\text{hr} \cdot \text{día}^{-1}$): Número de horas luz directa o brillo solar en un día.
- Humedad relativa (%). Cantidad de agua en vapor contenida en la atmosfera (en el aire).

Tabla 1: Metadato de las estaciones climáticas pertenecientes a la red Nacional administrada por el IDEAM, representativas en la cuenca del río Camarones-La Guajira.

NOMBRE	CATEG.	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	FECHA INST.	ESTADO
MATITAS [15045010]	CO	11.26388889	-73.03027778	20	15/02/1964	ACT
CAMARONES [15050010]	PM	11.42883333	-73.05272222	5	15/09/1971	ACT
REMEDIOS LOS [15060010]	PM	11.38177778	-72.9135	10	15/09/1971	ACT
LAGUNITAS [15060040]	PM	11.03436111	-72.87752778	900	15/05/1971	ACT
APTO ALM. PADILLA	SP	11.52961111	-72.91766667	4	15/08/1972	ACT

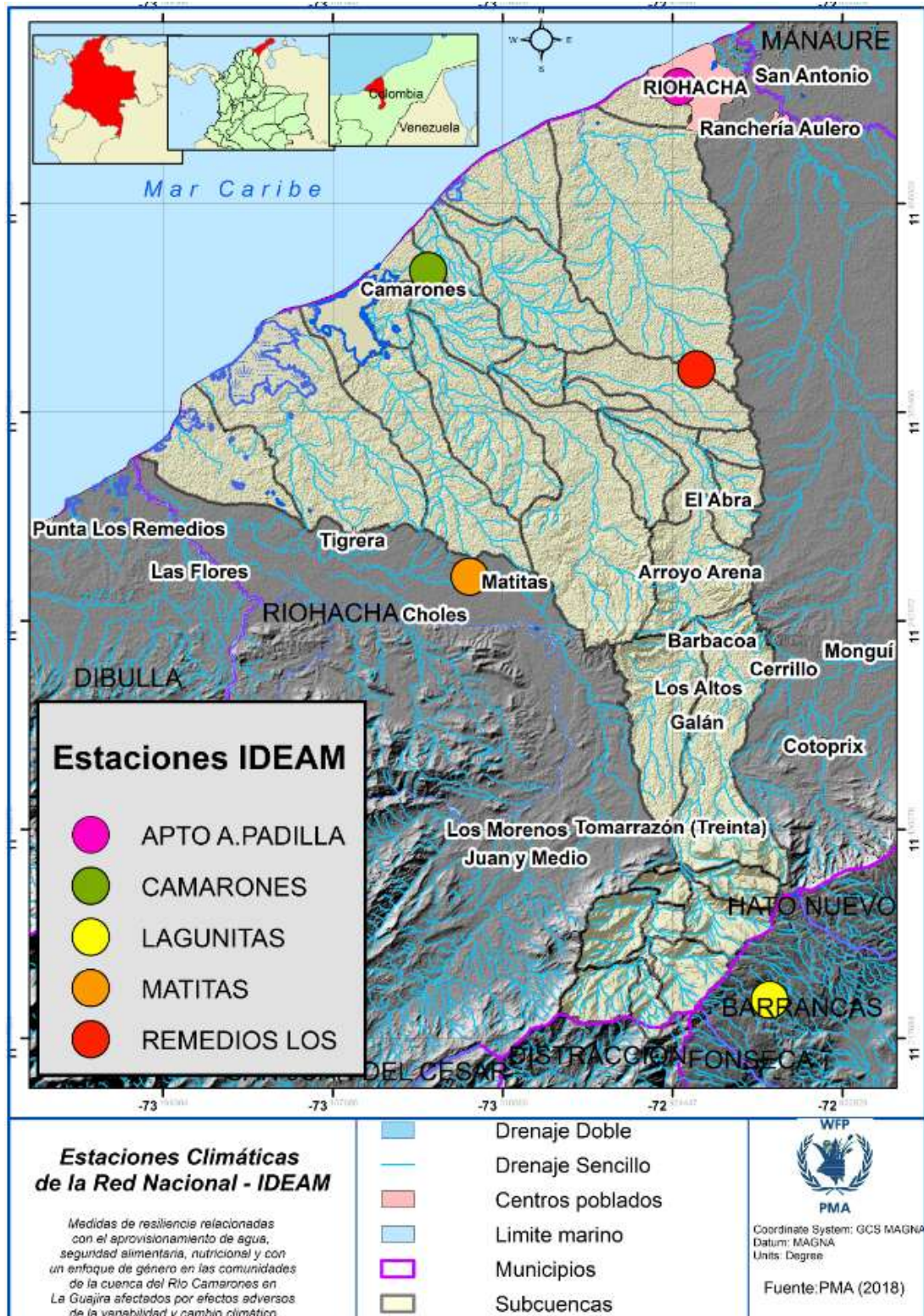
COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Fuente: IDEAM

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

Figura 2: Estaciones climáticas pertenecientes a la red Nacional administrada por el IDEAM, representativas en la cuenca del río Camarones-La Guajira. Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

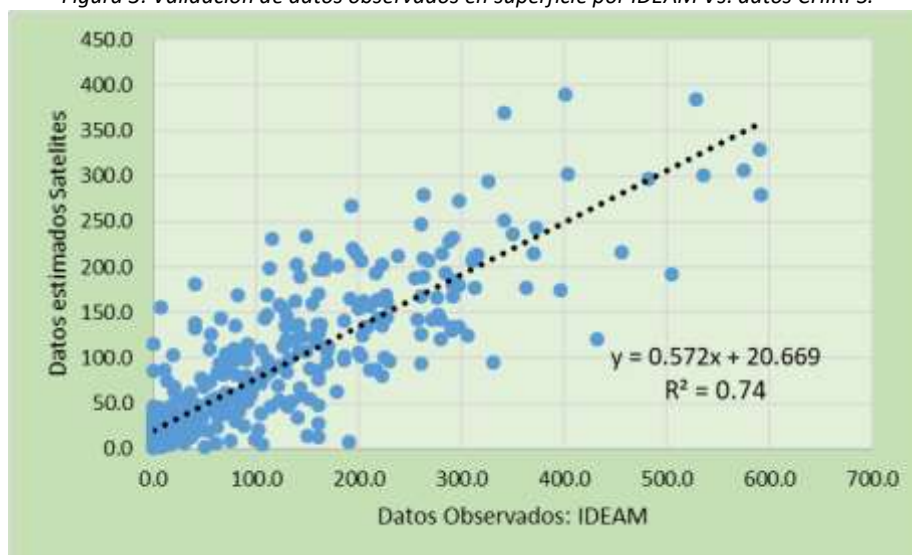


Adicionalmente, se tomaron datos de precipitación mensual estimados a partir de imágenes de satélite del producto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations) a escala temporal mensual y resolución espacial de 5 x 5 kilómetros (0.05 grados). El producto CHIRPS desarrollado por la USGS (U.S. Geological Survey) y el grupo de riesgos climáticos de la universidad de California, Santa Bárbara, es usada por IDEAM.

CHIRPS combina datos de la climatología global de la precipitación (0.05° de resolución), observaciones del satélite geoestacionario infrarrojo (IR) calibrados con datos de TRMM 3B42 (Satélite, Misión de Medición de Lluvias tropicales TRMM, diseñado para monitorear y estudiar precipitaciones tropicales y subtropicales por la NASA) y los campos de las precipitaciones del modelo atmosférico de la NOAA-CFSv2 (Climate Forecast System versión 2). En un segundo procedimiento, se puede combinar CHIRP con la precipitación observada en situ, se puede tener una resolución temporal mínima a nivel diario y está disponible desde 1981 hasta la fecha.

En la Figura 3 se presenta la relación entre datos de precipitación mensual observados en superficie, de la red del IDEAM con datos estimados con el producto CHIRPS. Allí se aprecia una relación de 74%, que se considera como una relación aceptable.

Figura 3: Validación de datos observados en superficie por IDEAM Vs. datos CHIRPS.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

La precipitación pluviométrica y CHIRPS se combinó usando técnicas de geoestadísticas a través del método de coKriging, con ayuda del modelo digital de elevación (DEM).

1.1.1 Control de la calidad de información

Los datos climáticos pueden ofrecer una gran cantidad de información sobre el medio ambiente atmosférico que afecta a casi todos los aspectos de la actividad humana; por tal motivo el proceso de control de la calidad es una parte esencial de la totalidad del proceso de flujo de datos. Así mismo su función es asegurar la verificación de los datos y en la medida de lo posible, que éstos estén exentos de errores.

Todos los errores y deslices que tengan su origen en la estación, en instrumentos o sensores o en las fases de transmisión o introducción de datos deberán ser detectados y eliminados y cuando sea posible, sustituidos por los valores correctos (aunque conservando los valores originales). Los datos deben recorrer de extremo a extremo el sistema de control de la calidad.

En este sentido, el proceso de datos debería describirse en su totalidad mediante uno o más flujogramas que abarquen desde la red de estaciones hasta el nivel de las aplicaciones y en los que se explicité el proceso de control de la calidad. Si, una vez sometido al proceso de control de calidad, determinadas las variables de una estación, dicha estación arrojará gran número de valores sospechosos, ello podría denotar un fallo del instrumento/sensor y/o del proceso de captación de datos. Si en una estación obtuvieran más valores sospechosos que en otras, el problema podría estar relacionado con el funcionamiento general de esa estación.

Cuando el control de calidad sea manual, habrá que cerciorarse de que los procedimientos sean coherentes y válidos. Así, por ejemplo, un operador que sustituya todos los valores sospechosos por estimaciones (o que los elimine completamente) puede ser tan perjudicial para una base de datos como otro que marque todos los valores sospechosos como correctos.

Para realizar un análisis del recurso climático y obtener unas conclusiones correctas es necesario utilizar series largas con calidad contrastada y homogéneas (León G. , 2013). Es de anotar que, para realizar un análisis del recurso climático coherente, la Organización Mundial de Meteorología (OMM) recomienda como periodo mínimo de extensión del registro de la serie 30 años, con una disponibilidad de por lo menos el 80% de la información. Según algunos autores como León (2013), Boshell et al (2011), y Aguilar et al (2012), indican que para realizar el control de calidad de la información se debe cumplir con los siguientes pasos.

a. Verificación

La finalidad de la verificación es detectar errores en el contenido de las observaciones utilizadas y si es posible corregirlos o suprimirlos, mediante un sistema de verificación manual o automático (Boshell, León , & Peña , 2011). El control de calidad se efectúa mediante varias fases, en función de la profundidad de la verificación de:

- i. Grandes errores: En esta etapa se comprueba si los datos se sitúan en determinados límites físicos.
 - ✓ Las temperaturas medias oscilan entre valores de 10 a 50 grados Celsius (°C).
 - ✓ Precipitación entre 0 (no es posible valores negativos de esta variable) y 1000 milímetros (mm) mensual.
 - ✓ Humedad relativa mínima 30% y máxima 100%
 - ✓ Brillo solar u horas luz día, mínimo 0 horas luz por días y máximo 12.5 horas luz por día.
- ii. La coherencia interna: Controlar la coherencia a través de la comparación de distintas variables.
 - ✓ Se compararon valores extremos como los registros de sus estaciones vecinas para el mismo periodo.
- iii. La coherencia temporal: controlar la coherencia a través de la secuencia temporal de información de observaciones.
 - ✓ Se analizó la continuidad de la serie y coherencia interna temporalmente.
- iv. La coherencia espacial/temporal: controlar la coherencia horizontal temporal a través de la comparación de información de observaciones cercanas y secuencias en el tiempo.

b. Homogenización

Una serie homogénea en tiempo climático se define, cuando las series de las variables presentan fluctuaciones causadas sólo por las variaciones en el clima. Desafortunadamente, la mayoría de las series temporales climatológicas a largo plazo se han visto afectadas por una serie de factores no climáticos que hacen que estos datos no sean representativos de la variación del clima actual (Aguilar , Auer , Brunet , Peterson , & Wierin, 2012).

En este sentido, estos factores incluyen cambios en: instrumentos, prácticas de observación, ubicación de las estaciones, las fórmulas utilizadas para calcular las medias y el entorno de la estación.

Para la realización de este proceso, se recomienda varios métodos, para el presente estudio se optó por el método de dobles masas (Figura 4), ya que ha sido usado ampliamente por expertos meteorólogos en Colombia, entre ellos los expertos del IDEAM.

Pasó a paso del método de dobles masas:

- Se seleccionó el período entre 1981 a 2010 de la información de la variable precipitación mensual de las estaciones utilizadas en el estudio.
- Se determinó la precipitación anual para cada estación; a continuación, los datos faltantes a nivel mensual se reemplazaron temporalmente por los promedios mensuales de la serie, hasta máximo 6 datos faltantes.
- Los valores anuales fueron acumulados en orden cronológico, a partir del año más antiguo (1981) hasta el más reciente.
- Se graficaron los valores de las precipitaciones acumuladas de cada estación con el promedio acumulado de ellas, para determinar la estación patrón en cada grupo.
- Si los puntos ploteados presentan una sola tendencia, es decir si se puede trazar por ellos una recta sin quiebres, significa que la estadística es consistente. Si los puntos presentan quiebres o mucha dispersión, la estadística no es consistente y se procede a su corrección o eliminación del análisis.
- Las estaciones cuyos valores de precipitación registren diferentes de pendientes (quiebres), se ajustaron mediante un factor de corrección cuya expresión matemática es:
-

$$FC = \frac{m2}{m1}$$

Donde:

FC = Factor de corrección

m1 = Pendiente de la recta del período más antiguo

m2 = Pendiente de la recta del período más reciente

La expresión se utiliza para corregir los valores inconsistentes del período más antiguo, y si se requiere corregir el período más reciente, la relación entre pendientes se invierte.

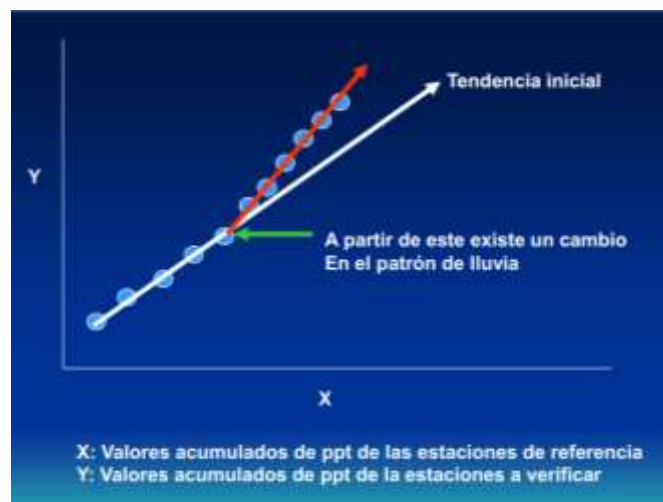
Cada uno de los períodos seleccionados, de acuerdo con el quiebre de la información, se ajustó a una ecuación de regresión lineal del tipo:

$$Y = mX + b \quad \text{ó} \quad Y = mX \quad U$$

Donde:

- Y Variable dependiente
- X Variable independiente
- m Pendiente de la recta a determinarse
- b Constante que determinarse

Figura 4: Análisis de Doble masa. Fuente: EDECA-UNA, citado de (Díaz, 2014)



Comprobada la consistencia del registro, era necesario completar los datos faltantes.

c. Complementación de datos faltantes

Un problema que se presenta con frecuencia en climatología es la estimación de los datos que, por diversas razones, faltan en los archivos de las estaciones. Lo anterior pasa por diversas razones, en entre ellas, la observación no se hizo; los datos se han extraviado o destruido accidentalmente; los datos existen en forma ilegible (Boshell, León , & Peña , 2011).

Para afrontar este problema para el presente estudio se utilizaron los métodos para:

- **Variable precipitación:** Método de la Razón de los valores normales
- **Variable temperatura media:** Método del gradiente de temperatura.

$$\Delta T / \Delta X = \pm 0.6^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m.}$$

- Para el caso de humedad relativa y brillo solar, se tomó la media de cada mes.

d. Validación

Para tener un sustento estadístico y confiabilidad de los valores complementados en la serie, es necesario realizar un proceso de verificación del dato. En el presente estudio se realizó la verificación con la estimación de datos conocido.

1.1.2 Análisis de resultados de la información

Se realizó un análisis climatológico a escala intra-anales que corresponde a la fluctuación del clima durante meses dentro del año. A esta escala pertenece la migración a lo largo del año de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Además, en la variabilidad temporal del clima en el país, influyen otros eventos como la oscilación Madden & Julian (tiene una duración de 20 a 60 días) y el acercamiento de frentes fríos del hemisferio Norte, temporada de huracanes en el Océano Atlántico, entre otros.

Posteriormente se hizo un análisis a la escala inter-anual, para evaluar las variaciones que se presentan en las variables climatológicas de un año o grupo de años a otro año o grupo de años. Esta variabilidad está asociada, por ejemplo, a eventos como El Niño - La Niña (ciclos ENOS o ENSO). Este es un fenómeno de interacción entre la atmósfera y el océano Pacífico ecuatorial, que se traduce en una variación periódica de condiciones cálidas (temperaturas superficiales del mar superior a lo normal) llamada El Niño y condiciones frías (temperaturas superficiales del mar por debajo de lo normal) y definida como La Niña. Para establecer la ocurrencia de un evento El Niño o La Niña, se utilizan varios indicadores, siendo el más común el Índice Oceánico Niño - ONI.

Se realizaron análisis de variables como la precipitación y la temperatura en relación con las condiciones antes anotadas, para determinar las probabilidades de cambios temporales a nivel estacional y su relación con fluctuaciones en balances hídricos y disponibilidad de agua local.

Los eventos registrados en el comportamiento de una variable dada, que tienen baja probabilidad de ocurrencia y cuyo valor observado excede un umbral especificado son conocidos como extremos climáticos. Los eventos extremos son ocasionados por una extensa combinación de factores y también ocurren como parte del clima normal, es decir, incluso en un clima sin cambios, en su variabilidad hay un cierto número de eventos extremos. Los cambios en los eventos extremos indican algunos de los mayores efectos del cambio climático, aunque su impacto en diversas regiones y localidades es aún incierto.

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI, 2017), ha venido impulsando a escala global el cálculo de 27 índices de extremos climáticos, para los fines del presente trabajo, se trabajarán cinco (5) índices, que se indican en la Tabla 2, sugeridos para tendencias de temperatura y precipitación según trabajos de Karl (1999), Peterson (2005) e IDEAM (Benavides, Mayorga, & Hurtado, 2007). El uso sistemático de dichos índices ha permitido mejorar el diagnóstico global de los cambios en extremos de temperatura y precipitación contribuyendo al reporte de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

Tabla 2: Indicadores generados por el programa Rclimindex

CÓDIGO	INDICADOR (UNIDAD)	DETALLE	AGRUPACIÓN
01	CDD (Días)	Mayor número de días secos consecutivos en un año	Asociados al comportamiento de la precipitación y de eventos extremos de lluvia
07	PRCTOT (mm)	Precipitación total al año	
12	R99P (mm)	Número de días en un año con lluvia mayor al percentil 99 para los días húmedos (Prec. > 1,0mm)	
21	TNX (°C)	Temperatura nocturna máxima: Valor mensual máximo de la temperatura mínima diaria	Asociados al comportamiento de la temperatura mínima (temperatura en la noche)
27	TXX (°C)	Temperatura diaria máxima: Valor mensual máximo de la temperatura máxima diaria	Asociados al comportamiento de la temperatura máxima (temperatura en el día)

Fuente: (Benavides, Mayorga, & Hurtado, 2007)

Para este trabajo se tomarán los índices representativos y aplicables a las condiciones ecuatoriales, dado que algunos de ellos han sido diseñados para usarse fuera de esta región, teniendo en cuenta información diaria de precipitación y temperatura máxima y mínima de las estaciones ubicadas en el área de la cuenca, para el periodo seleccionado, considerando las tendencias con un nivel de significancia de $p < 0.01$, utilizado el software RclimDex, el cual fue desarrollado por el área de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá.

1.2 Características generales del clima

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, el cual se caracteriza por los estados y evoluciones del tiempo en un lugar o región determinado, o en el planeta entero, durante un período de tiempo relativamente largo. El clima de la tierra depende del equilibrio radiativo que está controlado por factores radiativos forzantes, por factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del sistema climático. La radiación solar es el combustible que pone en movimiento la máquina atmosférica y junto con el efecto de invernadero, son los factores forzantes del clima de mayor trascendencia (Montealegre, 1999).

En este sentido, los factores determinantes del clima se refieren a las condiciones físicas y geográficas, que son relativamente constantes en el tiempo y en el espacio y que influyen en el clima en aspectos relacionados con la transferencia de energía y calor (Montealegre E. , 2012). Para las condiciones colombianas los patrones climatológicos presentan gran influencia de factores particulares como la altitud, temperatura, relieve, orografía, interacción tierra-mar, brisa mar-tierra, valle-montaña, presencia de áreas selváticas o boscosas, cobertura del suelo, entre otros.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



El clima de la región Caribe continental está influenciado por las aguas cálidas del mar Caribe y que, por su ubicación ecuatorial, mantiene temperaturas superiores a los 25 °C a lo largo del año, lo que contribuye en la formación de ciclones tropicales (depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes), principalmente entre junio y diciembre. Todos los países del área del Caribe, incluido Colombia, no solo en la zona insular sino también en la costa, están expuestos en mayor o menor grado a estos fenómenos naturales.

Los ciclones tropicales de acuerdo con la velocidad de sus vientos cerca del centro de la baja presión se clasifican en:

- Depresión tropical: hay evidencia de una circulación cerrada alrededor de un centro con vientos sostenidos máximos menores de 62 kph (33 nudos o 38 mph).
- Tormenta tropical: el sistema meteorológico presenta vientos máximos sostenidos entre 63 y 117 kph (34 y 63 nudos ó 39 y 73 mph) pero circunscritos a la parte más interna y próxima al centro. En esta categoría al ciclón tropical se le asigna un nombre.
- Huracán: vientos máximos sostenidos alrededor de la parte central que exceden los 118 kph (64 nudos ó 74 mph).
- Todos los huracanes son peligrosos, pero algunos más que otros. Para definir el riesgo de amenaza cuando se aproxima un huracán para prever potencial de desastre de un huracán se usa una escala de 1 a 5, llamada escala Saffir/Simpson.

Tabla 3: Estadística mensual de tormentas tropicales y huracanes entre 1851 y 2005, en el Mar Caribe, entre 9°N y 18°N, desde 54°W y 84°W. (LEÓN, 2007)

Mes	Total Absoluto Tormentas Tropicales	Total Relativo Tormentas Tropicales	Promedio Tormentas Tropicales	Total Absoluto Huracanes	Total Relativo Huracanes	Promedio Huracanes
Enero-Abril	0	0	0.00	1	1	0.01
Mayo	6	3	0.04	2	1	0.01
Junio	7	3	0.05	0	0	0.00
Julio	14	6	0.09	12	6	0.08
Agosto	51	23	0.33	50	26	0.32
Septiembre	67	30	0.43	81	42	0.52
Octubre	57	25	0.37	39	20	0.25
Noviembre	19	8	0.12	8	4	0.05
Diciembre	4	2	0.03	0	0	0.00
Anual	225	100	1.45	193	100	1.25

En el mar Caribe, Golfo de México y Océano Atlántico el número promedio anual de casos de tormentas tropicales es de 8.7, huracanes es de 5.3, incluidas todas las categorías y, huracanes intensos es de 1.85. Sobre aguas del Caribe colombiano el promedio anual de tormentas tropicales y huracanes no llega ni a 2 por año (León, 2007). En la Tabla 3 se muestra las estadísticas de eventos ocurridos en el mar Caribe, en el área comprendida entre 9 °N y 18 °N, desde 54 °W y 84 °W, para el periodo 1851-2005.

Sobre las aguas marinas del Caribe colombiano se ha visto la formación y el tránsito de estos sistemas (Tabla 4 y

Figura 10). En los últimos 30 años, varios ciclones tropicales han tocado territorio colombiano, entre ellos el huracán “Joan”, en 1988 pasó por la Alta Guajira y cruzó muy cerca de la isla de San Andrés, en 1993 la tormenta tropical “Bret” se estrelló contra la Sierra Nevada de Santa Marta, disipándose posteriormente sobre aguas del mar Caribe, en 1998 el huracán “Mitch” circuló sobre aguas marítimas colombianas y en el 2005 la tormenta tropical “Beta” causó daños menores en la isla de San Andrés.

Tabla 4: Ciclones que han transitado en un radio de 300 kilómetros de La Guajira (punto de referencia Punta Gallina), entre 1851 a 2016 (DS= Depresión, TS= Tormenta tropical, HU= Huracán)

NOMBRE DEL CICLÓN TROPICAL	CATEGORÍA ALCANZADA CERCA A COLOMBIA	AÑO REGISTRADO
HAZEL	TS	1954
JANET	TS	1955
ANNA	TS	1961
FRANCELIA	TS	1969
EDITH	TS	1971
IRENE	TS	1971
ALMA	TS	1974
CORA	TS	1978
GRETA	TS	1978
DANIELLE	TS	1986
JOAN	TS	1988
EIGHTEEN	TS	1988
BRET	TS	1993
CESAR	TS	1996
ISIDORE	DS	2002
IVAN	TS	2004
EMILY	TS	2005
FELIX	TS	2007
TOMAS	TS	2010
HELENE	DS	2012
MATTHEW	HU	2016

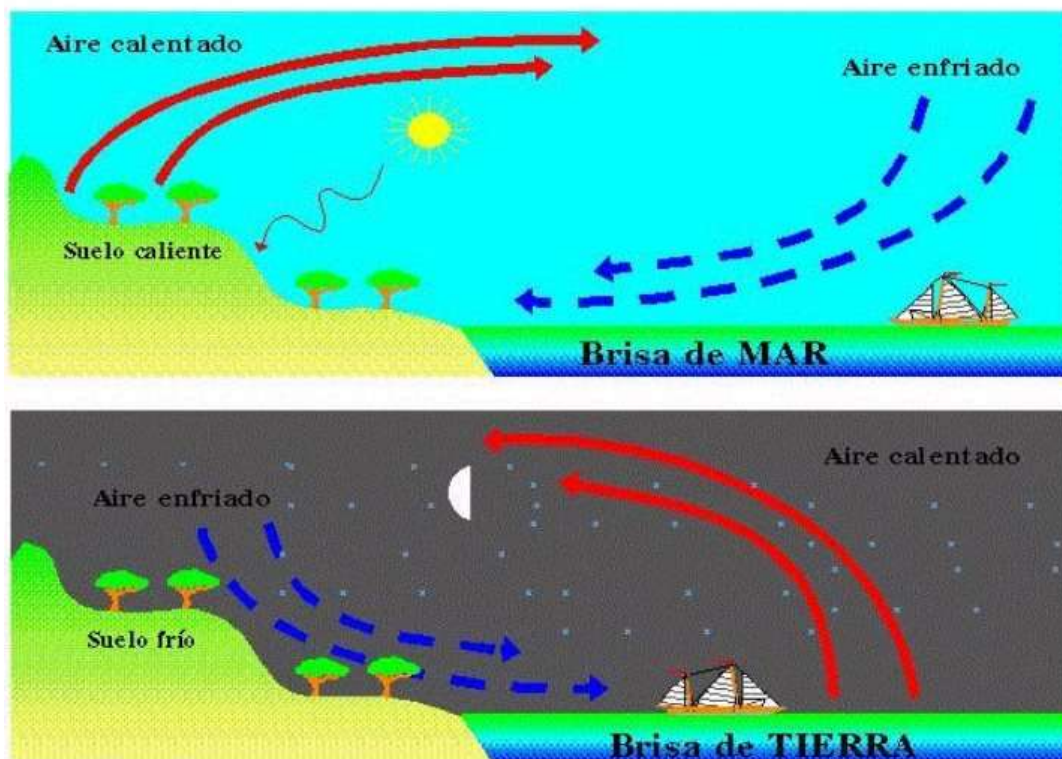
Fuente: (CENAPRED, 2017)

La región caribeña continental sufre principalmente por los efectos indirectos del tránsito de los ciclones tropicales y de los sistemas precursores denominados ondas del este (perturbaciones en los Alisios), representados por incremento temporal de la nubosidad y precipitación, con temperaturas altas que no varían mucho en todo el año, pero con una oscilación térmica a lo largo del día que puede fluctuar dentro de un rango de 10 a 15°C, además que están directamente influenciados por los vientos Alisios.

- a) El clima en la zona costera del Caribe colombiano está dominado por las brisas marinas que se manifiesta en horas diurnas y es provocada por el calentamiento diferencial del suelo y del mar. Las brisas de mar suelen formarse y comenzar su avance tierra adentro durante el período entre media mañana y horas de la tarde, cuando la temperatura media de la superficie del suelo supera la de la superficie del agua contigua a razón de 3 a 6 °C. La brisa de mar se dirige hacia tierra en sentido perpendicular al litoral. Su magnitud aumenta conforme se alcanza el máximo calentamiento solar diurno. Es común que las brisas de mar se extiendan hasta 40 km tierra adentro (Figura 5).

Sin embargo, la penetración hacia el interior puede variar y en los casos de brisas muy fuertes pueden alcanzar varios centenares de kilómetros hacia el interior. La forma del litoral influye fuertemente en la dirección de la brisa marina. En las últimas horas del día, el patrón de brisa marina disminuye y a menudo desaparece para el anochecer. En las noches despejadas, el aire encima de la superficie del suelo se enfría más rápidamente que la masa de aire sobre el mar, con lo cual el proceso de circulación de la brisa marina se invierte. Esto crea un flujo de retorno llamado brisa terrestre.

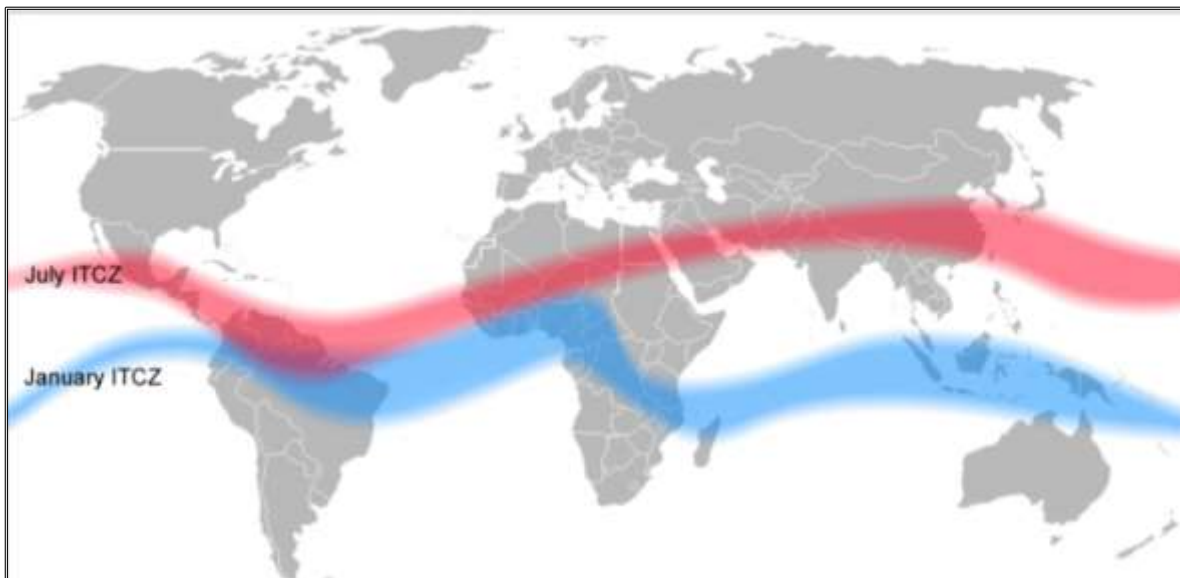
Figura 5: Esquematización de los flujos de la brisa marina.



Fuente: (Emaze, 2017)

- b) La Zona de Convergencia Intertropical- ZCIT determina la distribución anual de la precipitación, es una franja de bajas presiones, que se desplaza entre los Trópicos de Cáncer y Capricornio, en la zona Ecuatorial (
- c)
- d)
- e) *Figura 6*), la cual se forma debido a la confluencia de corrientes de aire que entran en los trópicos procedentes del hemisferio Norte y Sur (vientos Alisios).

Figura 6: Viento promedio en superficie para enero (línea azul) y julio (línea roja, esta línea representa la Zona de Convergencia Intertropical).



Fuente: (Surf & Ski, 2017).

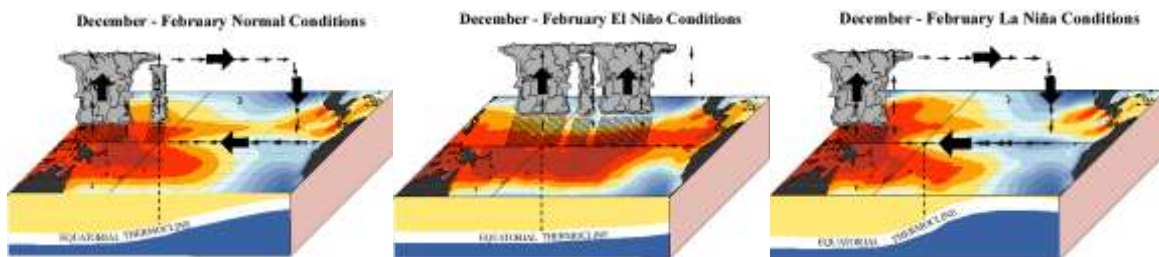
Debido a las altas temperaturas, las masas de aire son forzadas a ascender ocasionando abundante nubosidad acompañada de precipitaciones. Su recorrido de Norte a Sur (o viceversa) es la responsable de las temporadas lluviosas (León G. J., 2001; León G. J., 2000). La distribución espacial y temporal de la precipitación, está asociada a la época del año. Es decir, la ZCIT inicia su recorrido de Sur a Norte entre enero-febrero y de Norte a Sur entre julio-agosto, definiendo un periodo seco muy marcado a principios de año y de lluvias en los meses subsiguientes sobre la región de estudio.

- f) La variabilidad climática se define, como las fluctuaciones del clima durante periodos de tiempo relativamente cortos (Montealegre J. , 2010). Se mide por las desviaciones estadísticas comparativas de una variable con relación a su valor promedio. A la diferencia entre el valor registrado de una variable y su promedio en un mismo periodo de tiempo estudiado se le conoce como anomalía (Boshell, 2012).

En este contexto, ENSO es un fenómeno dinámico oceánico-atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del Océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante. El ENSO está relacionado con alteraciones de las principales variables climatológicas en muchas regiones del mundo, incidiendo significativamente en ecosistemas terrestres y marinos. Tiene un componente oceánico en el cual se diferencian la fase cálida y la fase fría (El Niño, La Niña, respectivamente,

Figura 7).

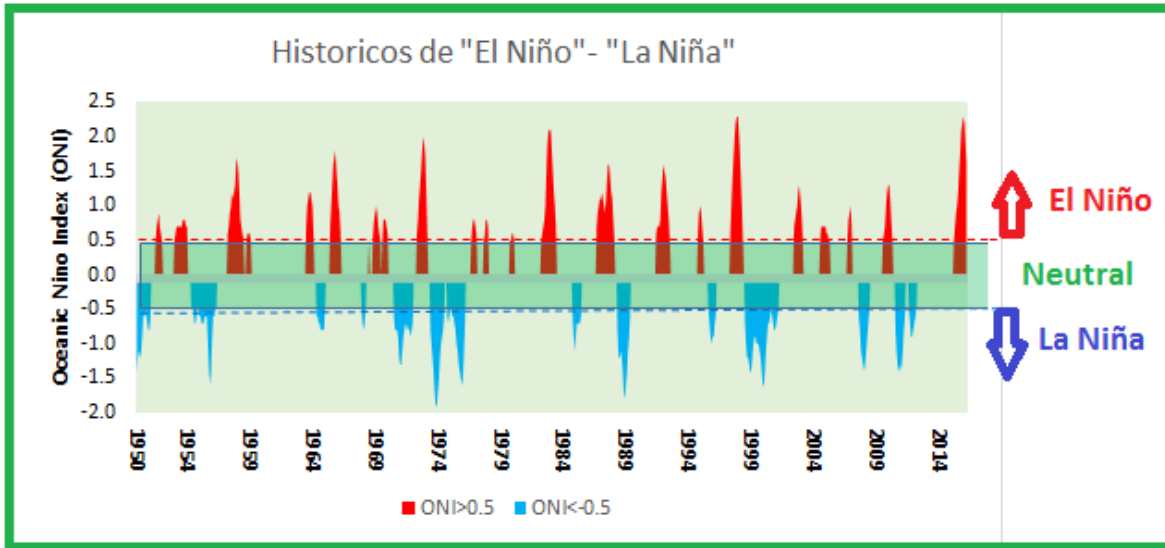
Figura 7: Los colores rojos indican un nivel del océano mayor de lo normal, a causa del acumulamiento de agua cálida, en condiciones normales (imagen izquierda), durante EL Niño (imagen central) y durante La Niña (imagen derecha), así mismo los patrones de circulación asociados con estas condiciones



Fuente: NOAA (2017).

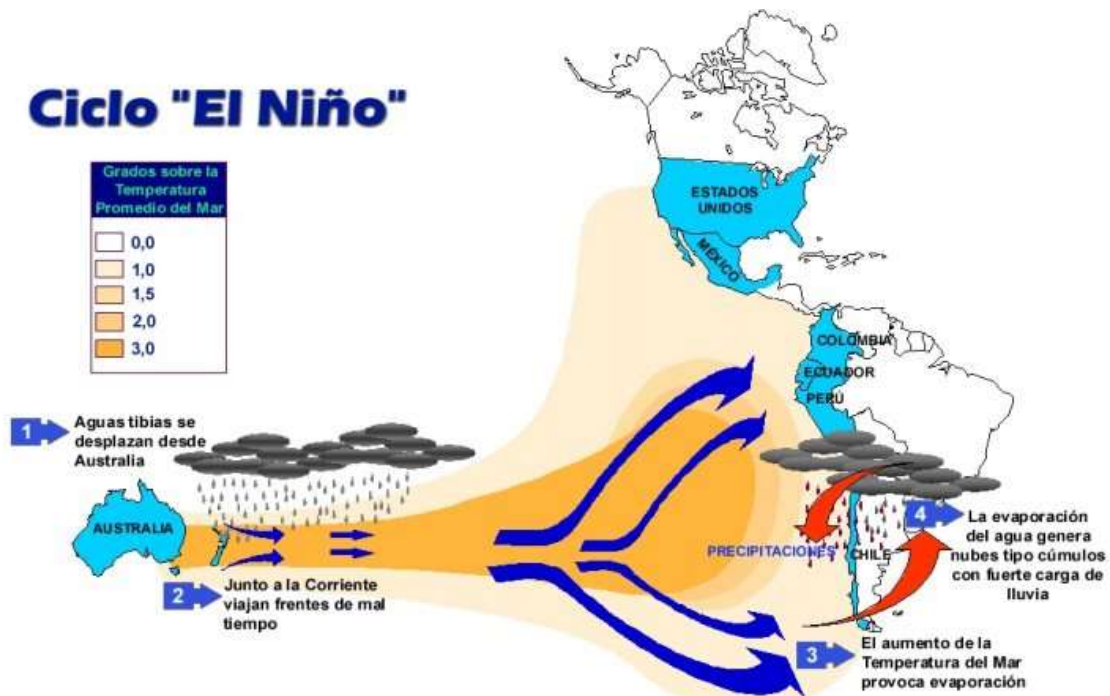
Los episodios “El Niño” y “La Niña” tienden a desarrollarse durante el período abril-junio y a alcanzar su máxima intensidad durante diciembre-febrero. Generalmente persisten durante 9-12 meses, aunque en ocasiones puede durar hasta 2 años. Normalmente su frecuencia está entre 2 a 7 años (Figura 8)

Figura 8: Episodios Cálido (rojo), indica ENSO, fase El Niño y episodios fríos (azules), indican ENSO, fase La Niña, con base en un umbral de ± 0.5 °C para el Índice ONI. Valores entre 0.5 y -0.5 oC, se consideran condiciones neutras del fenómeno [3 meses media móvil de las anomalías de la TSM en ERSST.v3b la región Niño 3.4 (5o N-5o S, 120o -170o W)]. Para fines históricos episodios fríos y calientes (números de color azul y rojo) se definen cuando se alcanza el umbral de un mínimo de 5 consecutivos se superpone a las estaciones



Fuente: Elaboración propia con base en información de (CPC NOAA, 2017).

Figura 9: Ciclo del ENSO, fase El Niño: Condiciones climáticas predominantes o típicas bajo esta fase del fenómeno.



COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Fuente: (Emaze, 2017)

Los eventos “El Niño” y “La Niña” afectan de manera importante los regímenes o patrones de temperatura del aire y precipitación en algunas regiones de Colombia. En términos generales, cuando se presenta el fenómeno “El Niño” hay una tendencia hacia la disminución de los volúmenes de precipitación, particularmente en zonas de las regiones Andina, Caribe y la parte Norte de la Pacífica (

Figura 9), Caso contrario se evidencia normalmente en la fase “La Niña”. Dado que el efecto sobre el régimen de precipitación en Colombia derivado de los eventos “El Niño” no sigue un patrón común, por cuanto las deficiencias son más acusadas en algunas áreas, menos en otras y en algunas ni siquiera se perciben, se puede establecer qué el efecto es diferencial a lo largo y ancho del territorio nacional (Montealegre, 2009). En la tabla 5, se presentan los años cuando se han presentado eventos La Niña y El Niño, entre el periodo de 1950 a 2017.

Tabla 5: Año cuando se han presentado episodios ENSO, Fase “El Niño” y “La Niña”, entre 1950 a 2017.

Eventos La Niña		Eventos El Niño	
Año	Duración (meses)	Año	Duración (meses)
1950	9	1951	7
1951	2	1952	1
1954	8	1953	11
1955	12	1954	2
1956	9	1957	9
1964	8	1958	9
1965	1	1959	3
1967	2	1963	7
1968	3	1964	2
1970	6	1965	8
1971	12	1966	4
1972	1	1968	5
1973	8	1969	10
1974	10	1970	1
1975	12	1972	8
1976	4	1973	3
1981	2	1976	4
1983	4	1977	6

Eventos La Niña		Eventos El Niño	
Año	Duración (meses)	Año	Duración (meses)
1984	5	1978	1
1985	8	1979	3
1986	2	1980	4
1988	8	1982	9
1989	5	1983	6
1995	5	1986	4
1996	4	1987	12
1997	1	1988	2
1998	6	1991	8
1999	12	1992	6
2000	12	1993	4
2001	2	1994	4
2005	2	1995	3
2006	3	1997	8
2007	6	1998	5
2008	8	2002	7
2009	3	2003	2
2010	7	2004	6
2011	11	2005	2
2012	3	2006	4
2016	5	2007	1
2017	3	2009	6
		2010	3
		2014	2
		2015	12
		2016	5

Fuente: (CPC NOAA, 2017).

En nuestro país en la última década los efectos de variabilidad climática interanual han afectado considerablemente la producción, generándose desabastecimiento de algunos productos agropecuarios, produciendo impactos en la economía, el ambiente y en la sociedad en general. La variabilidad de la precipitación, incluidas sus fluctuaciones extremas: lluvias torrenciales y excesos de lluvia (excesos hídricos, inundaciones, encharcamiento) y sequías (déficit hídrico), pueden influenciar directa e indirectamente catástrofes en los agroecosistemas y especialmente en la seguridad alimentaria de las comunidades campesinas e indígenas, más vulnerables.

1.3 Caracterización climatológica

En la cuenca del río camarones se presenta un régimen climático, que se puede considerar bimodal, dos épocas lluviosas entre mayo y parte de junio, y agosto a noviembre, dos las secas entre diciembre a marzo

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



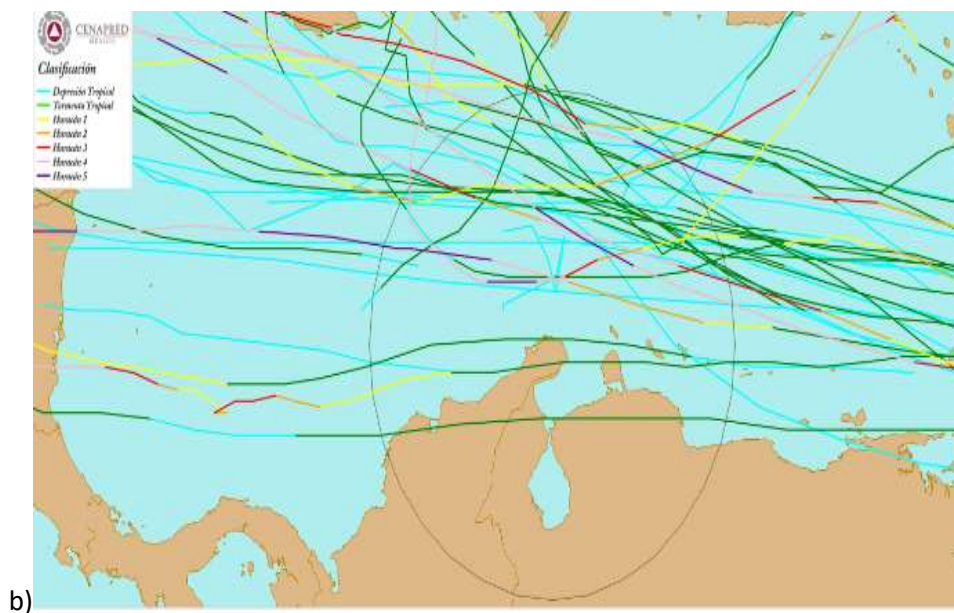
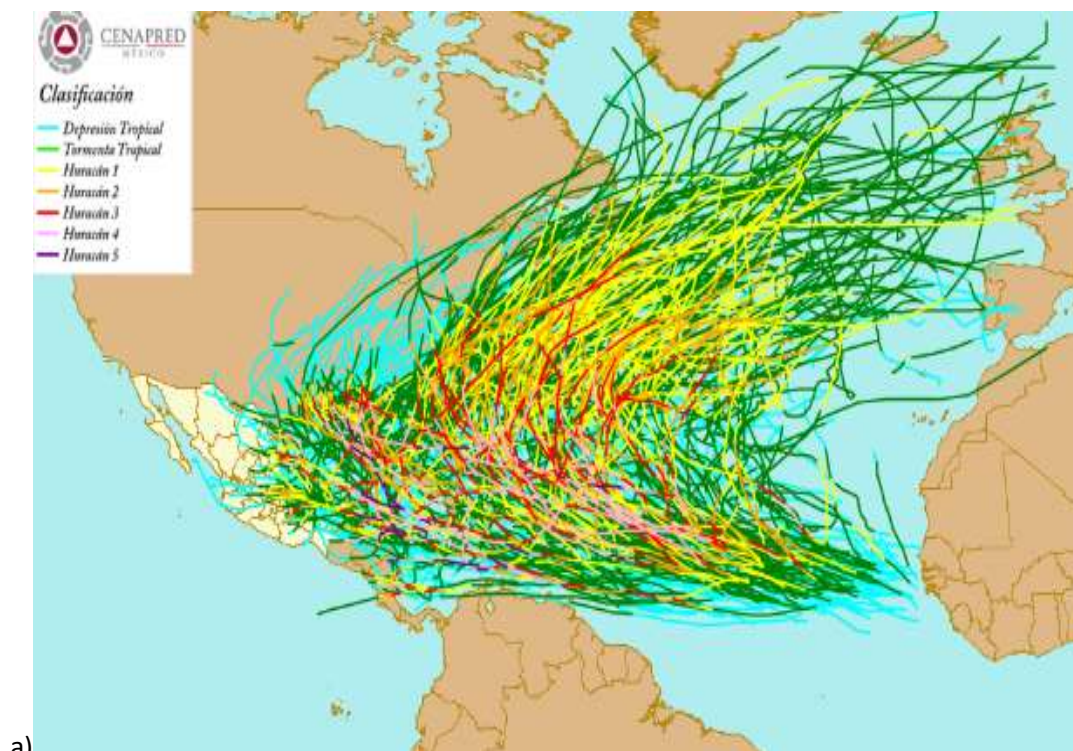
y julio (Figura 13). Los meses de abril, junio y agosto presenta volúmenes de lluvias bajos especialmente en la cuenca baja.

La temporada de huracanes en el Atlántico inicia en julio y termina en diciembre, siendo los meses de septiembre y octubre los más intensos, En Figura 11 se presentan las trayectorias de los sistemas ciclónicos que han transitado por el océano Atlántico entre 1981-2016, Además el Porcentaje de sistemas ciclónicos con trayectorias cercanas a La Guajira (500 kilómetros de la península de La Guajira), entre 1981 a 2016. En ella se puede observar que en el mes septiembre es cuando han pasado más cerca dichos sistemas ciclónicos, seguido de octubre.

Además, el mes de mayo se registran volúmenes importantes en toda la cuenca, en promedio entre 80 a 200 milímetros (mm), los registros más altos se presentan en la parte alta de la cuenca y los más bajos en la cuenca baja. El mes más lluvioso es octubre (entre 160 a 240 mm), seguido de septiembre, esto debido al tránsito ondas del este, tormentas tropicales y huracanes por el Atlántico que influyen lluvias fuertes en la zona (

Figura 10 y Figura 11).

Figura 10: a) Trayectorias de los sistemas ciclónicos que han transitado por el océano atlántico entre 1981-2016. b.) Trayectorias de los sistemas ciclónicos que han transitado en un radio de 500 kilómetros de la península de La Guajira entre 1981-2016



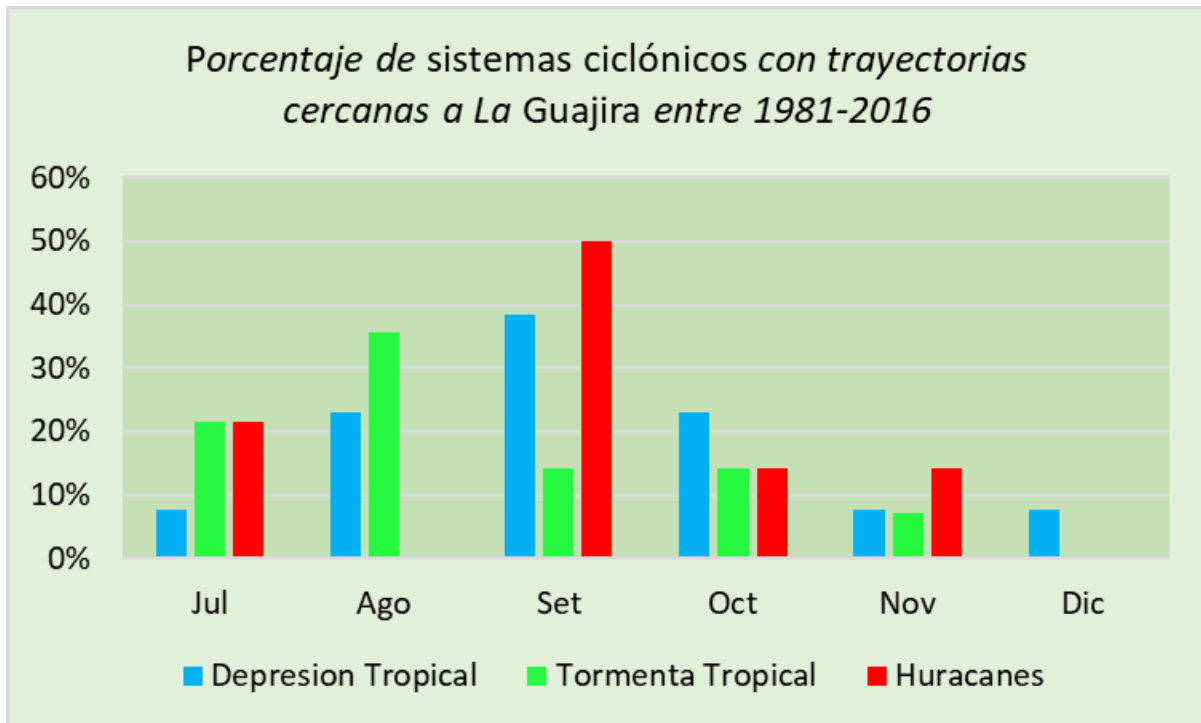
Fuente: CENAPRED (2017)

Los volúmenes de precipitación anuales normalmente oscilan entre 700 a 1400 mm, los registros más bajos se presentan en la cuenca baja y los mayores en la cuenca alta (

Figura 12).

Figura 11: Porcentaje de sistemas ciclónicos entre 1981-2016, con trayectorias cercanas a La Guajira

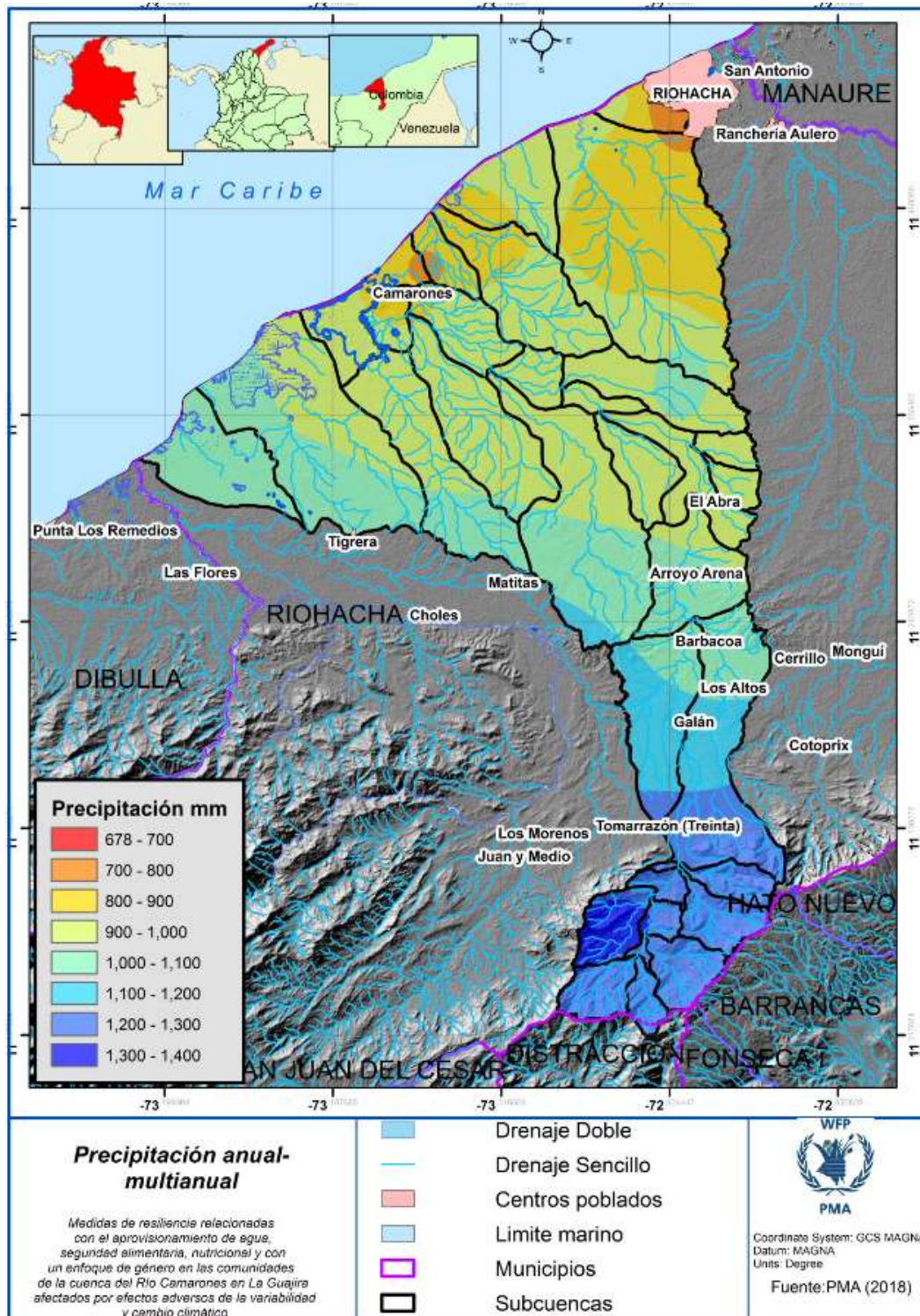
c.).



Fuente CENAPRED (2017).

Figura 12: Precipitación anual-multianual entre 1981-2010, en la cuenca del río Camarones.

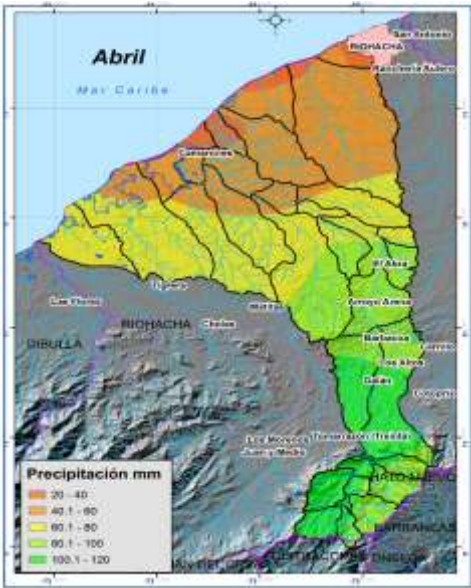
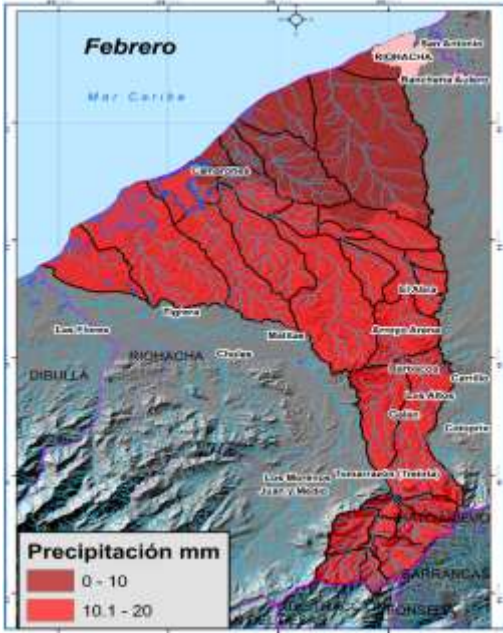
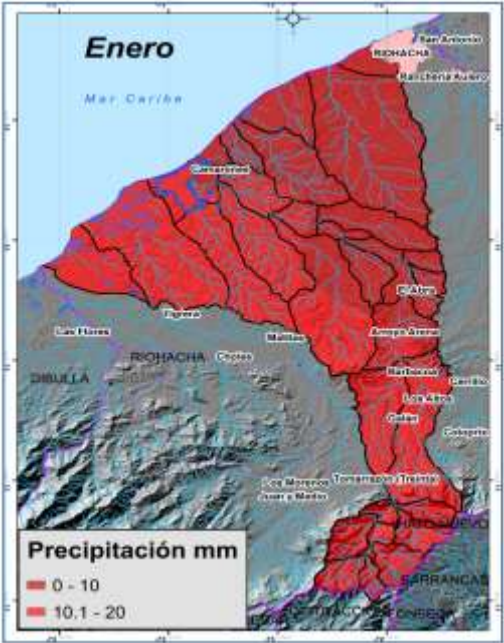
COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

Figura 13: Distribución de la precipitación mensual-multianual entre 1981-2010, segunda datos de IDEAM y CHIRPS

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



**Precipitación
mensual-multianual**

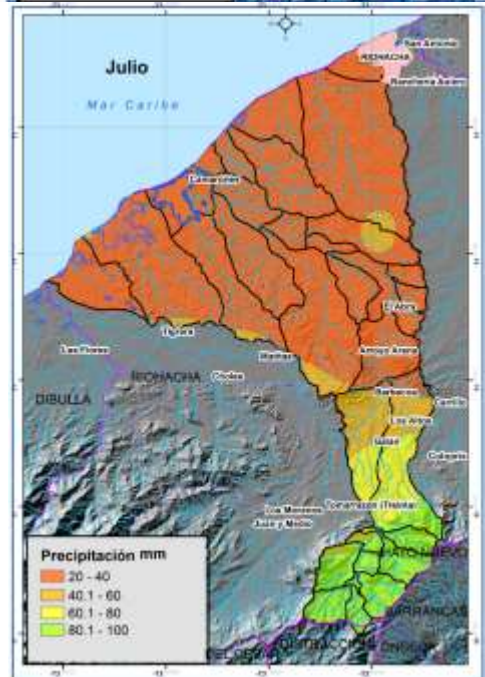
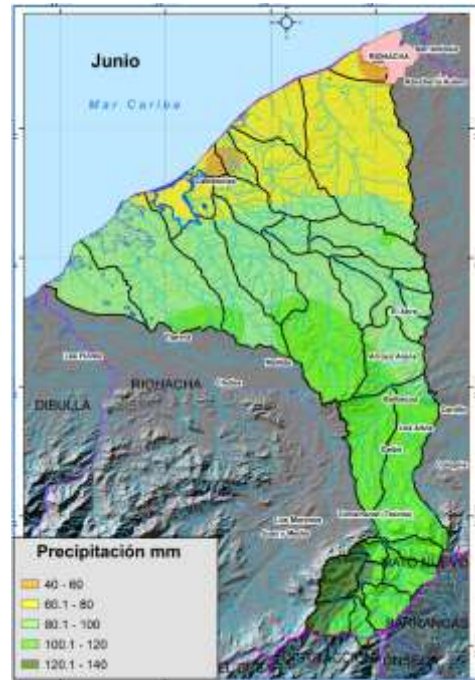
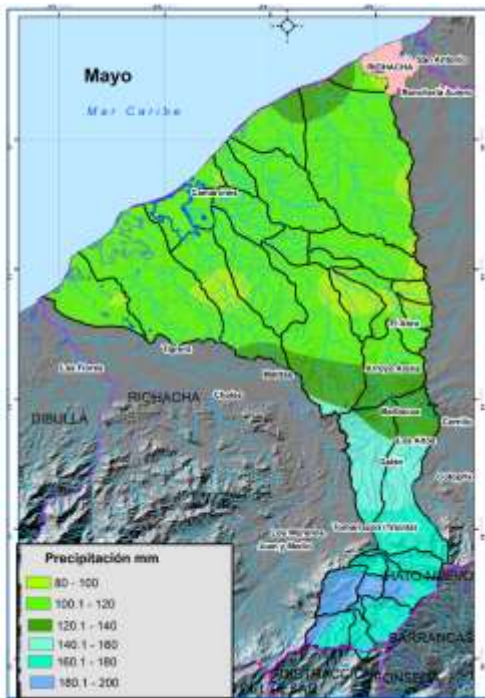
Medidas de resiliencia relacionadas
con el aprovisionamiento de agua, seguridad alimentaria,
nutricional y con un enfoque de género en las
comunidades de la cuenca del Río Camarones
en La Guajira afectados por efectos adversos
de la variabilidad y cambio climático

- Drenaje Doble
- Drenaje Sencillo
- Centros poblados
- Limite marino
- Municipios
- Subcuencas



PMA
Coordinate System: GCS MAGNA
Datum: MAGNA
Units: Degree
Fuente: PMA (2018)

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Precipitación mensual-multianual

Medidas de resiliencia relacionadas
con el aprovisionamiento de agua, seguridad alimentaria,
nutricional y con un enfoque de género en las
comunidades de la cuenca del Río Camarónes
en La Guajira afectados por efectos adversos
de la variabilidad y cambio climático

- Drenaje Doble
- Drenaje Sencillo
- Centros poblados
- Limite marino
- Municipios
- Subcuencas



PMA
Coordinate System: GCS MAGNA
Datum: MAGNA
Units: Degree

Fuente: PMA (2018)

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

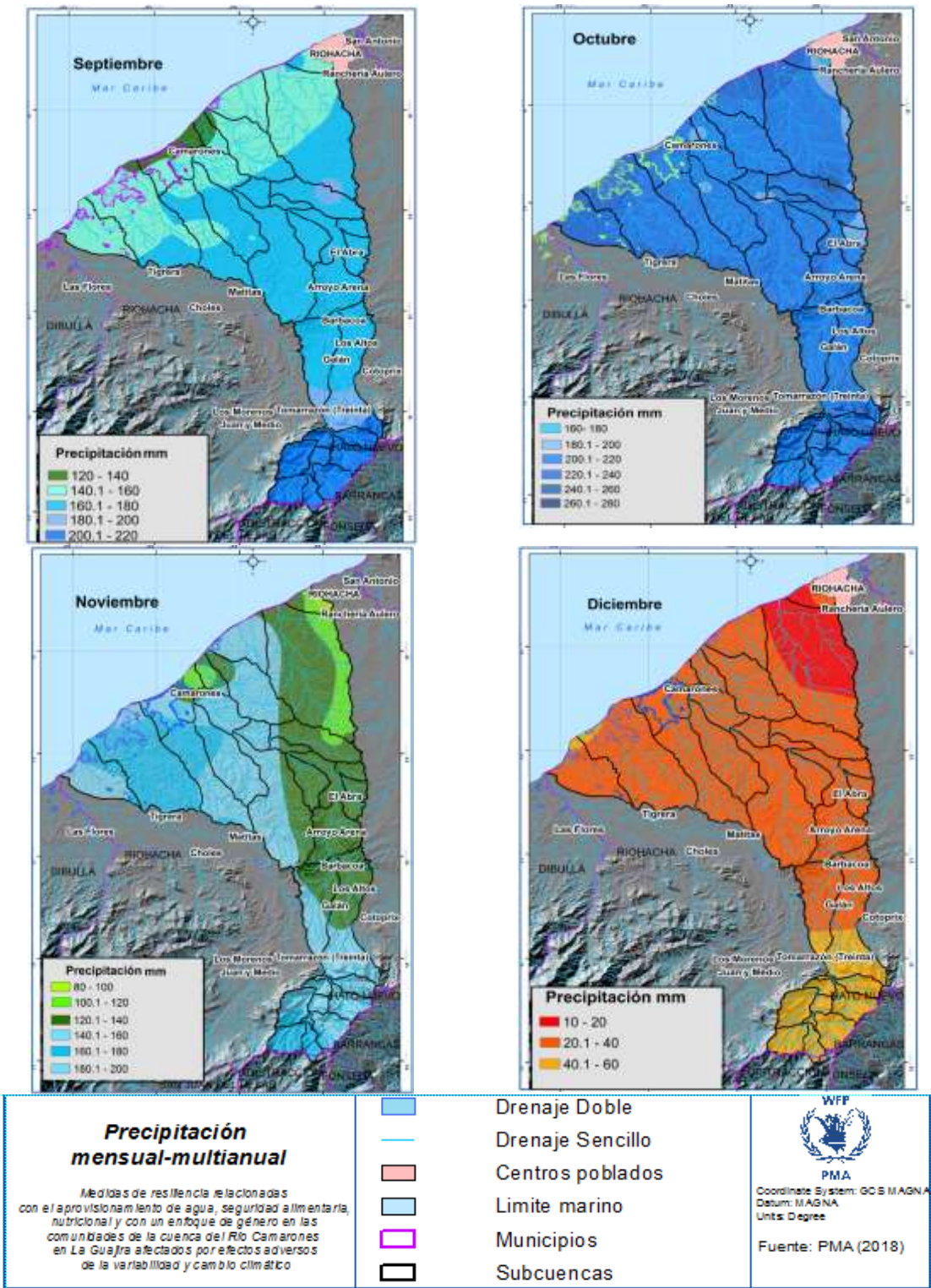
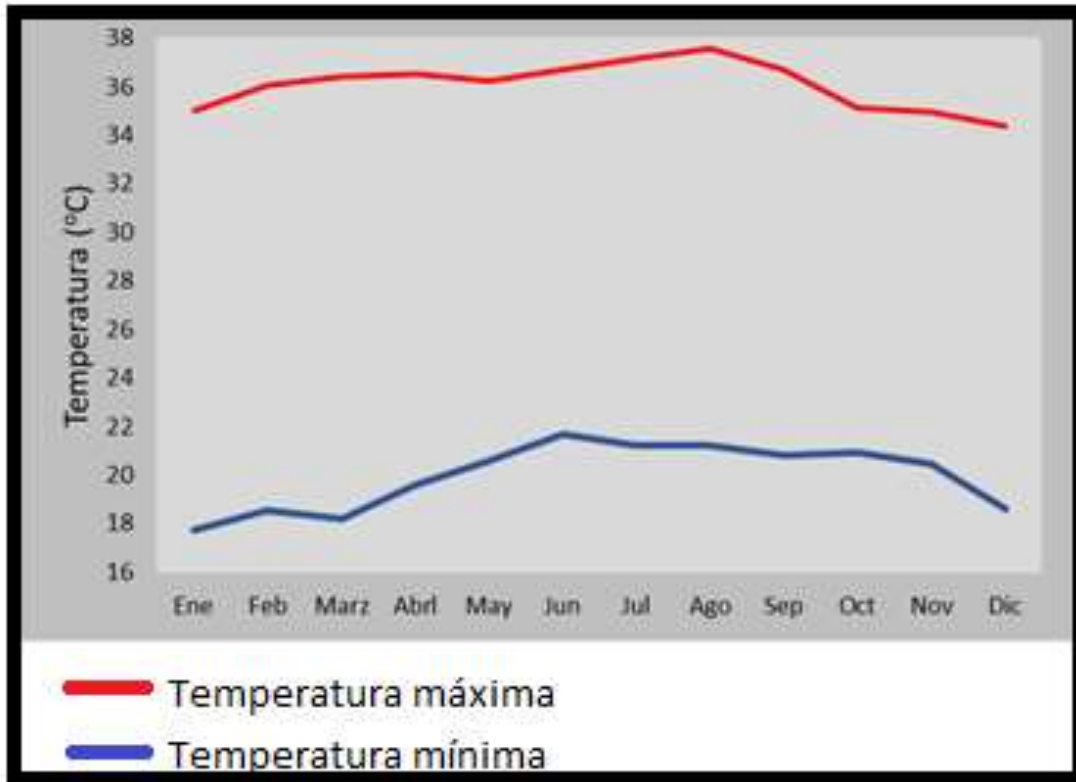


Figura 14: Distribución de la temperatura máxima y mínima mensual-multianual entre 1981-2010 representativa de la cuenca baja y media de la cuenca del río Camarones.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo

Los meses cuando normalmente se registran las temperaturas máximas y mínimas mensuales es en julio y agosto (Figura 14). En las

Figura 15,

Figura 16 y Figura 17, se presenta la distribución espacial de la temperatura media, máxima y mínima mensual-multianual entre 1981 a 2010, respectivamente. Donde se aprecia que las temperaturas más altas

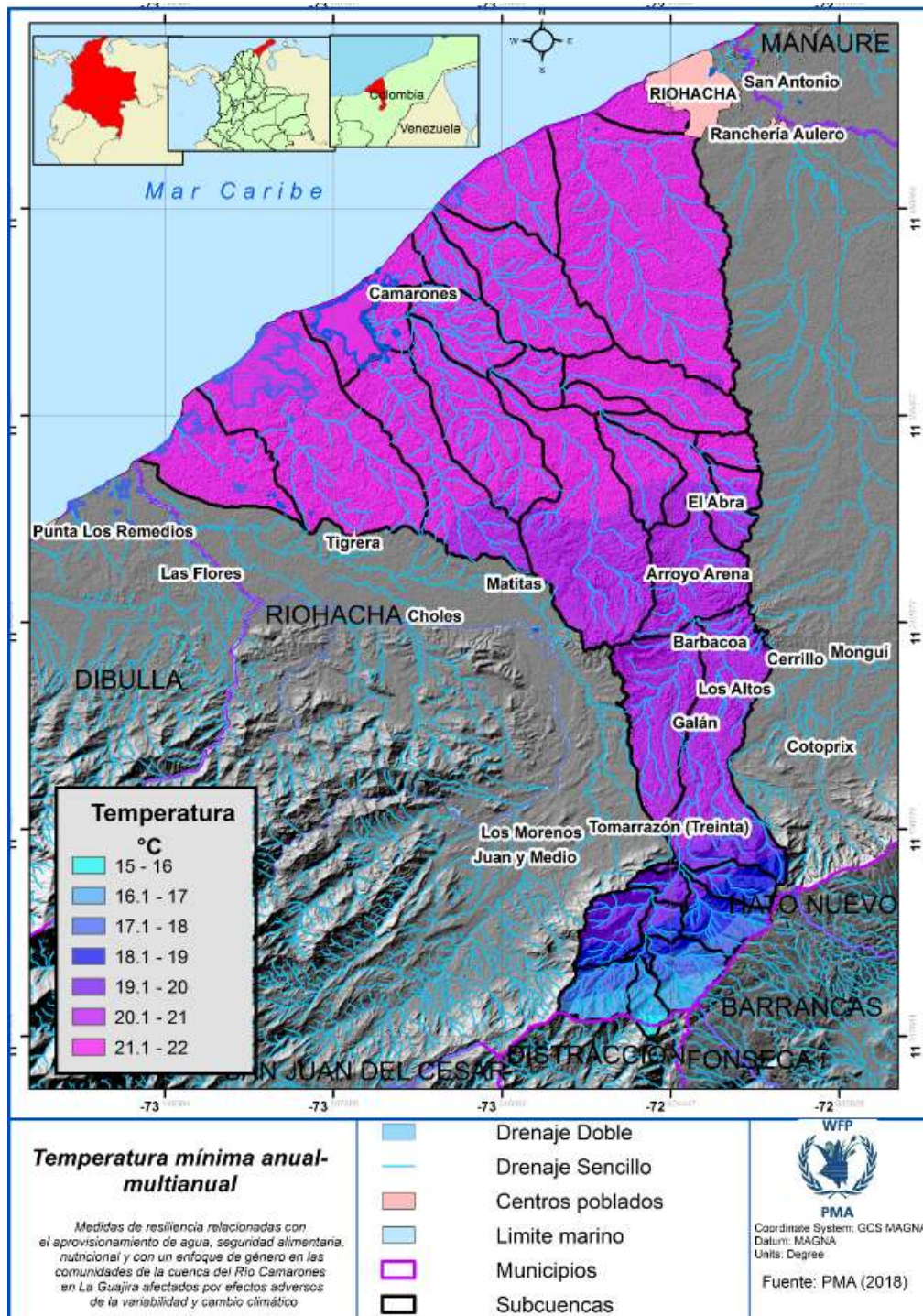
COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



se registran en la cuenca baja, donde se alcanzan a registrar temperaturas máximas mensuales cercanas mayores de 36 °C y las mínimas mensuales de 20 °C. Las temperaturas más bajas se registran en la cuenca alta, con máximas de 30 °C y mínimas menores de 15 °C.

Figura 15: Distribución de la Temperatura del aire mínima mensual-multianual entre 1981-2010 en la cuenca del río Camarones.

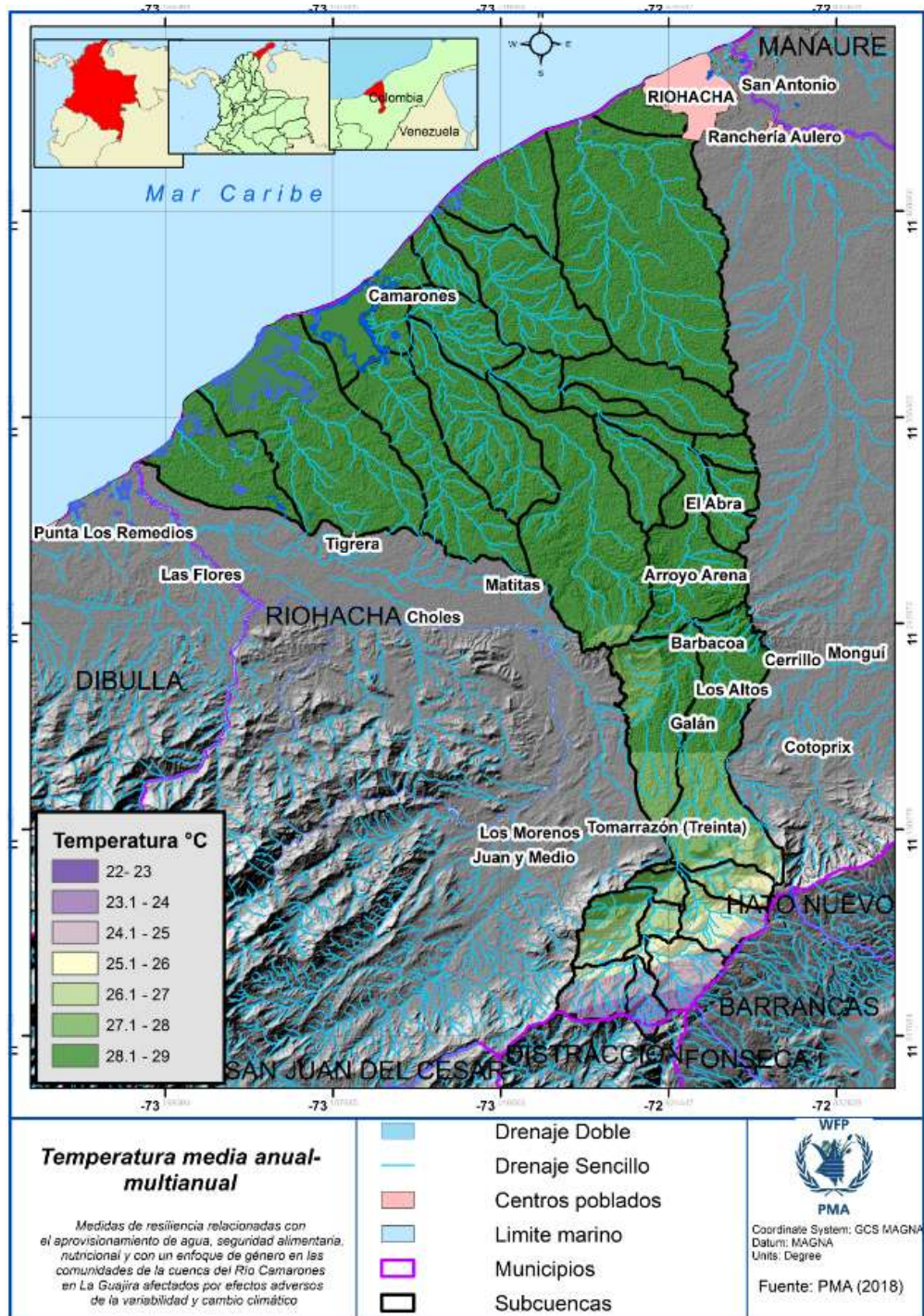
COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Fuente: Elaborada en el presente trabajo

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

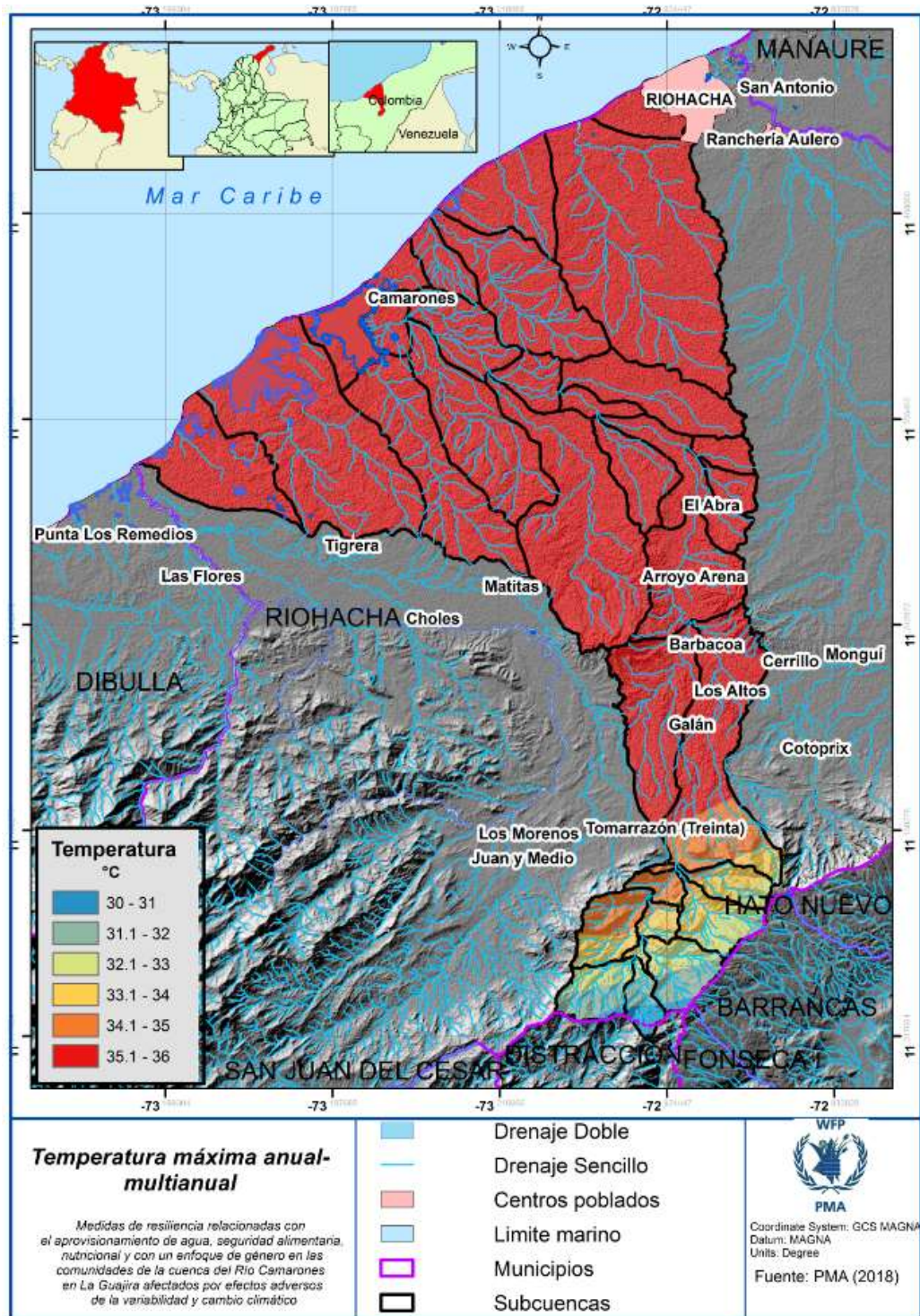
Figura 16: Distribución de la Temperatura del aire media mensual-multianual entre 1981-2010 en la cuenca del río Camarones.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

Figura 17: Distribución de la Temperatura del aire máxima mensual-multianual entre 1981-2010 en la cuenca del río Camarones.



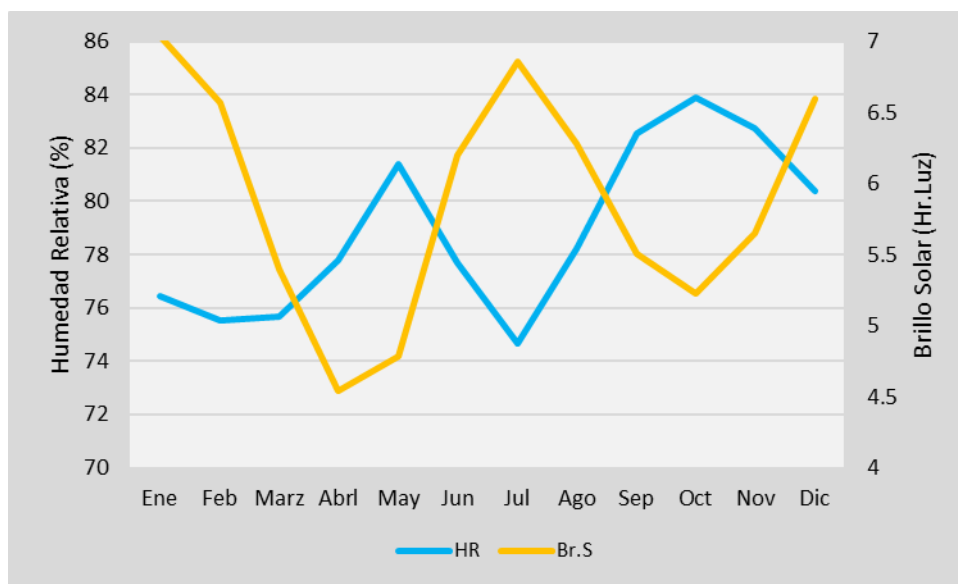
Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



En la Figura 18, se presenta la variación temporal de las variables climáticas Humedad Relativa (HR) y Brillo Solar (Br.S), donde se aprecia que los valores más altos de HR, son en mayo, septiembre, octubre y noviembre y los más bajos en los meses correspondientes a la época seca en la zona. Además, los días con mayores horas luz se encuentran en los meses de enero, febrero, julio y diciembre y los más bajos se encuentran en abril y mayo.

Figura 18: Humedad Relativa (HR) y Brillo Solar (Br.S) mensual – multi anual en la estación Matitas- Cuenca río Camarones.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

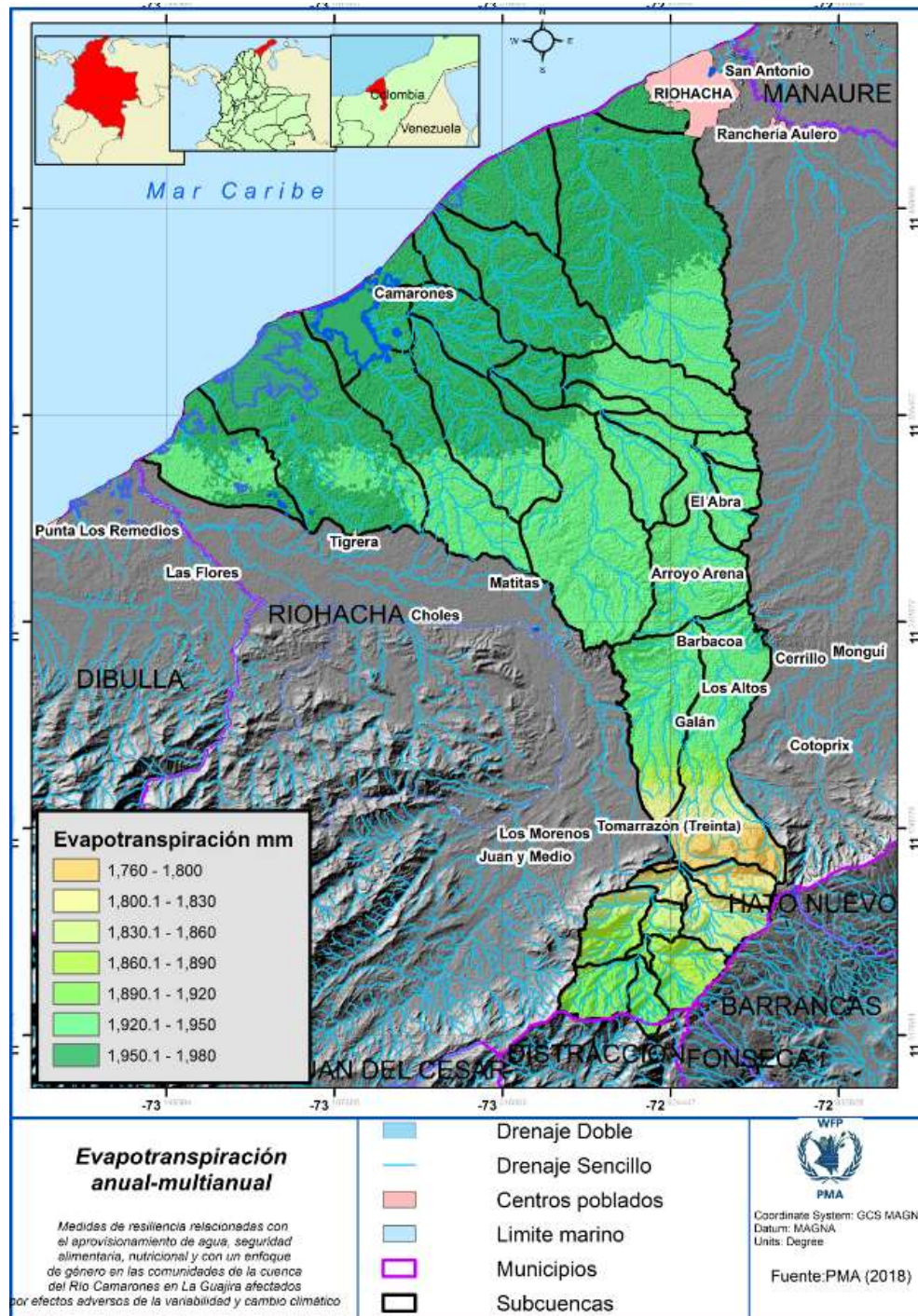
Según, estudio de FAO publicado en el documento No 56 (FAO, 1996), recomienda la adopción del método combinado de **Penman-Monteith**, como un procedimiento estándar para la evapotranspiración de referencia (ET₀) e indica los procedimientos para calcular los distintos parámetros incluidos en el método.

En las figuras 19 y 20, se presenta la evapotranspiración de referencia (ET₀), para la normal climatológica anual entre 1981 a 2010 y el valor anual máximo entre 1981 a 2016, en la cuenca del río Camarones, respectivamente. En ella se aprecia que la demanda de la tasa de evapotranspiración es mayor en parte baja y media de la Cuenca, donde oscilan entre 1900 a 2000 mm anuales, y máximos absolutos anuales mayores de 2100 mm.

La Evapotranspiración nos indica la cantidad de agua que potencialmente es demandada o requerida en el proceso de evaporación y transpiración de las plantas (cultivos, árboles, arbustos, pasturas). Además, tiene una alta importancia en el clima debido papel que tiene en el ciclo hidrológico, a través de este proceso el agua lluvia, regresa a la atmosfera en forma de vapor de agua y es condensada para formar nubes, y así nuevamente se generen lluvias. También, nos permite estimar en un balance hídrico la cantidad de agua que se puede tener en una cuenca para uso doméstico, pecuario y agrícola, y estimar los requerimientos de agua de los cultivos.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

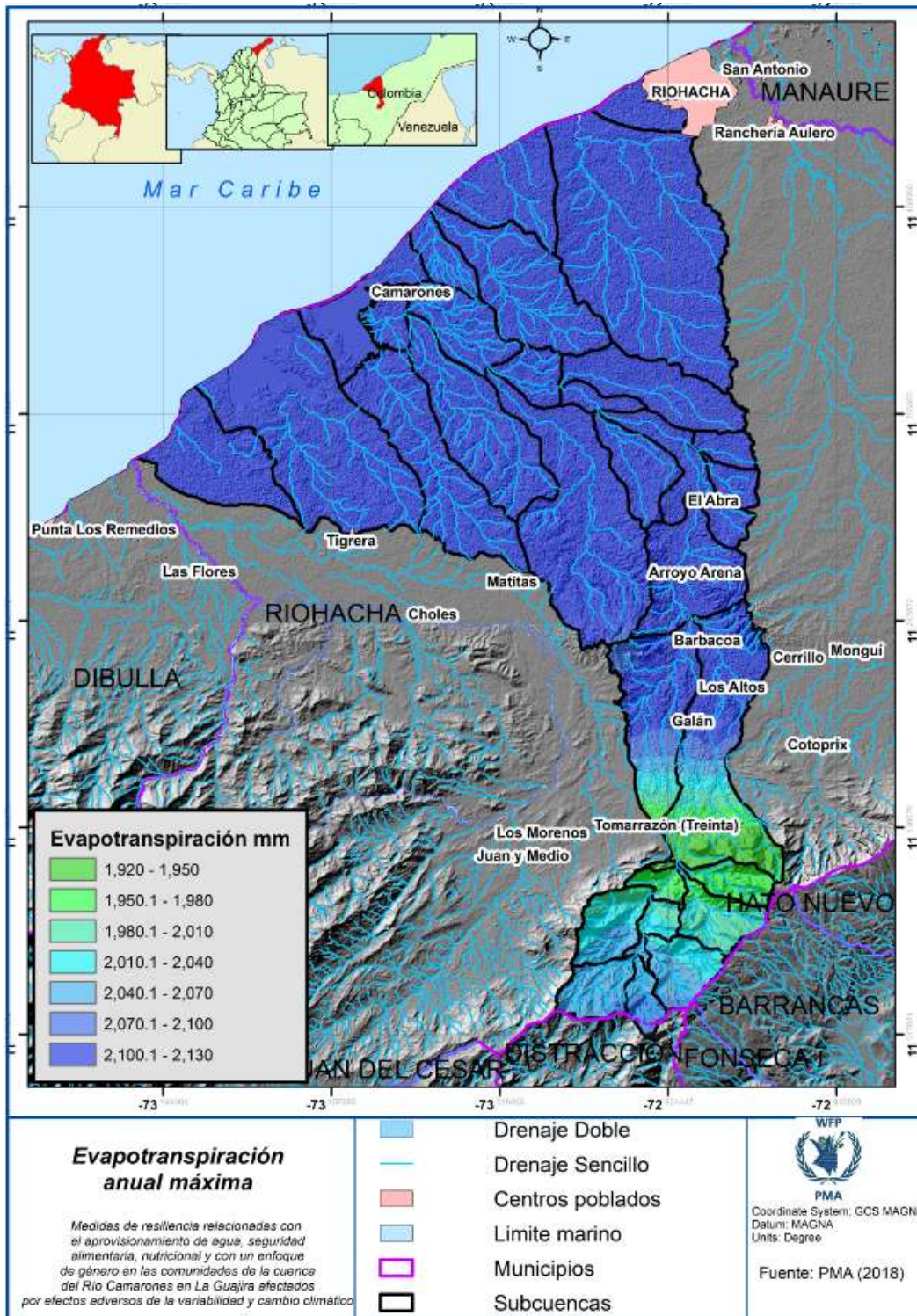
Figura 19: Evapotranspiración de referencia anual multianual entre 1981 a 2010, en la cuenca del río Camarones-La Guajira.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

Figura 20: Evapotranspiración de referencia máxima anual entre 1981 a 2016, en la cuenca del río Camarones-La Guajira



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

1.4 Análisis de la Variabilidad Climática

En general, la población humana y en especial las comunidades rurales, al no entender la variabilidad o irregularidad de la distribución de las lluvias y volúmenes que se presenta, ha conllevado a incertidumbre de los campesinos e indígenas, en la toma de decisiones, en sus actividades agrícolas, pecuarias, piscícolas, entre otras. Pese a que existen herramientas que indican tendencias y probabilidades sobre eventos de variabilidad climática e incluso metodologías para realizar predicciones climáticas, el país se ha visto afectado por inundaciones y sequías extremas, con grandes afectaciones en el sector rural. Para este estudio se analizaron las variables de precipitación y temperatura media mensuales de las estaciones indicadas en la Tabla 1 y

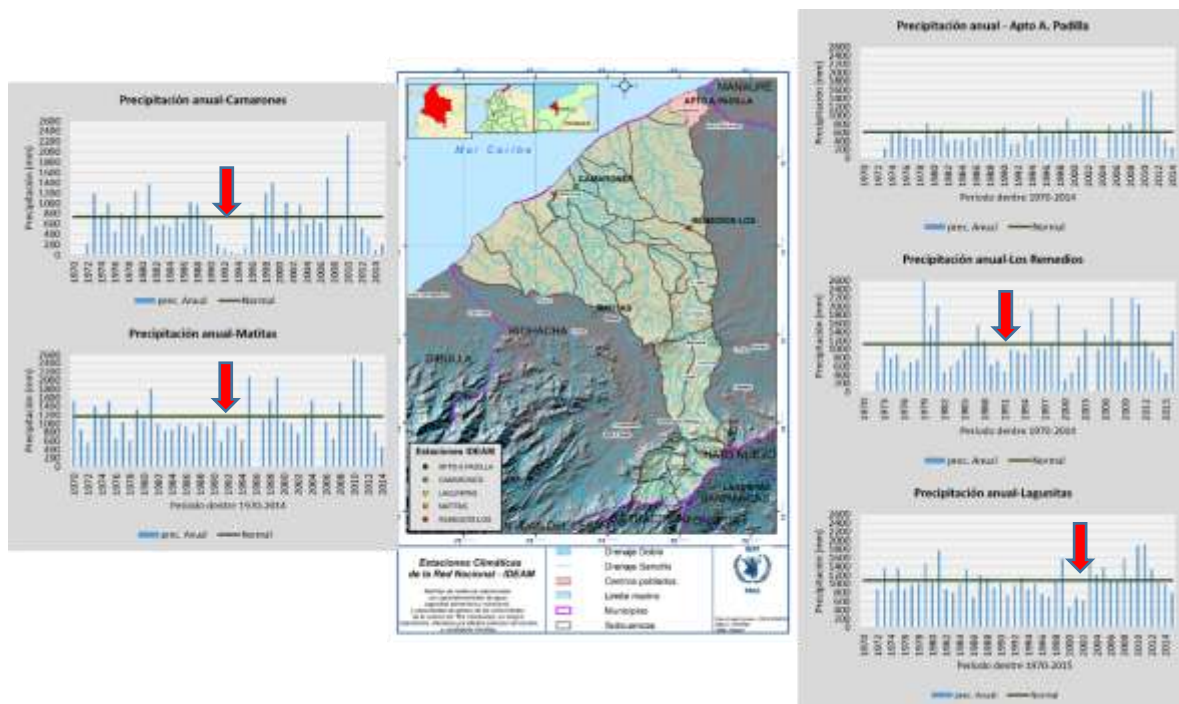
Figura 2.

1.4.1 Análisis de la variabilidad de la precipitación

En la Figura 21, se presenta la serie de la precipitación anual desde 1970 a 2016, donde se aprecia que años se han registrado volúmenes sobre (años lluviosos) o bajo (años secos) lo normal (Valor de referencia, obtenido del valor promedio entre 1981 a 2010), registradas en las estaciones del IDEAM localizadas en la cuenca del río Camarones (

Figura 2).

Figura 21: Precipitación anual desde 1970 a 2016, registradas en las estaciones del IDEAM localizadas en la cuenca río Camarones.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

La precipitación en la zona presentó disminuciones de aproximadamente un 70% en el volumen anual en los periodos de 1990-1995 y 2013-2015, respecto los registros históricos normales acumulados anualmente. Se resalta que en estos periodos se registraron volúmenes acumulados anuales menores de 200 milímetros (mm) y en dichos periodos estuvieron influenciados por los eventos de "El Niño", entre los años de 1991-1992, 1994-1995 y 2014 - 2015 (Tabla 5).

En la cuenca baja se registraron los volúmenes anuales más bajos en 1993, 1994 y 2014, con 55, 39 y 95 mm acumulado, respectivamente, periodos que estuvieron influenciados por eventos "El Niño". El año 2010 se registró el mayor volumen anual acumulado, con incrementos de aproximadamente el 300%,

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

respecto al valor normal climatológico, el cual estuvo influenciado por la presencia del evento “La Niña” (2010-2011).

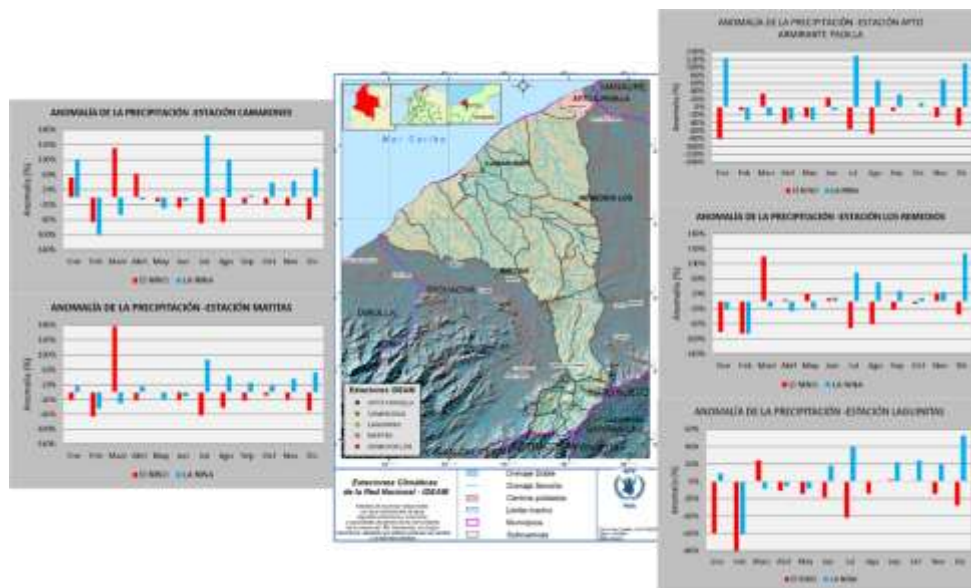
Además, entre el periodo de 1995 a 1999, en esta parte de la cuenca ha sido cuando se han registrados los mayores días con lluvia en el año, aunque no se registró en dicho periodo lluvias torrenciales, es de anotar que este periodo estuvo influenciado por el evento La Niña entre los años 1995-1996 y 1998-1999. Además, se registraron ciclones tropicales, entre los más importante se menciona a Joan (entre 17 al 21 de octubre de 1998) que paso como Tormenta Tropical sobre La Guajira y después alcanzo a huracán categoría 3.

También, otros sistemas ciclónicos importantes fueron, Cesar (25 de julio de 1996) y Lenny (15 de noviembre de 1999), dado que su tránsito fue en las cercanías de las costas de La Guajira en Categorías de Tormenta Tropical y Huracán categoría 1, respectivamente.

En la cuenca alta, entre los años de 2003 a 2011 se presentaron incrementos en el volumen de lluvia anual, en promedio de un 25% respecto a valores históricos (1070 mm). Además, entre los años 2005 a 2010, ha sido cuando se han registrados los mayores volúmenes de lluvia en 24 horas, aunque en dicho periodo la tendencia ha sido a registrarse menores eventos de lluvia en el año.

En los últimos años se ha presentado una tendencia a registrar valores bajo lo normal, con registros de 780 mm anual, aproximadamente. Esta parte de la cuenca es la que registra los volúmenes más altos de precipitación anual. Además, tiene alta importancia dado que es la que abastece de agua el caudal del río Camarones, y algunos afluentes y recargas de los acuíferos, especialmente en la cuenca media y baja.

Figura 22: Anomalía de la precipitación bajo escenarios de El Niño (Color rojo) y La Niña (Color Azul) -ENSO, en las estaciones del IDEAM localizadas en la cuenca del río Camarones.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

En la Figura 22, se presentan los efectos del fenómeno ENOS (El Niño/ La Niña), en el volumen de precipitación mensual en la cuenca del río Camarones. Es de anotar que, en la cuenca baja, se presenta una alta probabilidad de ocurrencia de incremento del volumen mensual de precipitación bajo la influencia de fase “La Niña” entre los meses de julio a enero. Pero entre los meses de febrero a mayo la mayor

probabilidad de ocurrencia bajo esta fase del ENOS es que se registran volúmenes mensuales inferiores a lo normal.

En fase “El Niño”, se presenta una alta probabilidad de ocurrencia que los volúmenes mensuales de precipitación disminuyan entre los meses de junio a febrero, es de anotar que entre los meses de marzo a mayo se evidencia lo contrario, es decir, que la mayor probabilidad de ocurrencia es que los volúmenes mensuales tienda a incrementar respecto al valor normal, aunque este bajo la influencia del evento “El Niño”.

En la cuenca media se presenta una alta probabilidad de ocurrencia que incremente el volumen mensual de precipitación bajo la influencia de fase “La Niña” entre los meses de Julio a diciembre. Pero entre los meses de febrero a junio la tendencia es a que se registren valores por debajo de lo normal en esta parte de la cuenca, bajo la influencia de esta fase del fenómeno. Bajo la influencia de fase “El Niño”, la probabilidad de ocurrencia es alta que disminuya el volumen mensual de precipitación entre los meses de Julio a septiembre y diciembre a febrero. En el resto de los meses la mayor probabilidad de ocurrencia es que la precipitación mensual tienda a incrementar respecto al valor normal mensual.

En la cuenca alta se presenta una alta probabilidad de ocurrencia que incremente el volumen mensual de precipitación bajo la influencia de la fase “La Niña” entre los meses de junio a enero y en los demás meses la tendencia es que suceda lo contrario, es decir, la mayor probabilidad de ocurrencia es que se registran valores de precipitación mensuales inferiores a lo normal.

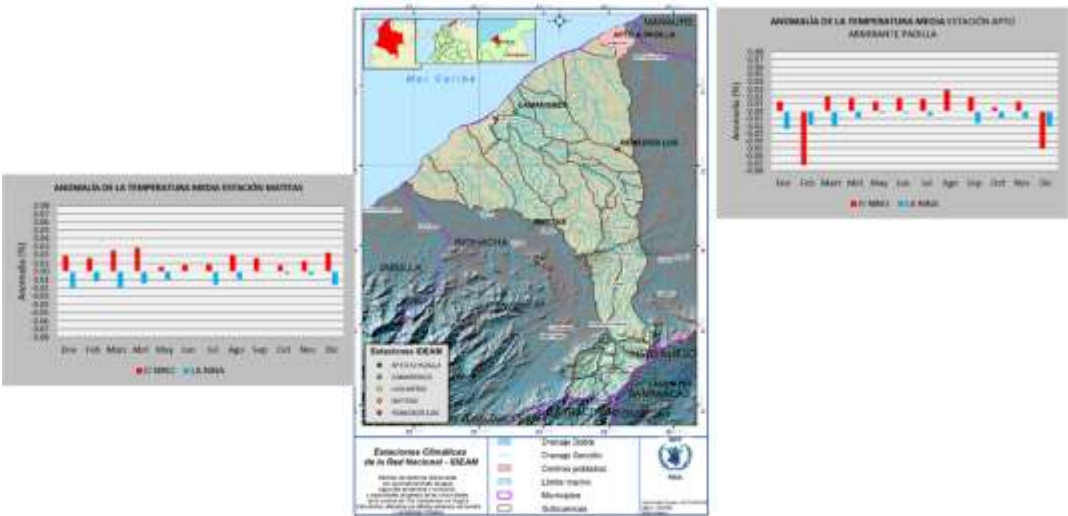
Bajo la influencia de fase “El Niño” la probabilidad de ocurrencia que el volumen mensual de precipitación disminuya es alta en casi todo el año, siendo más fuerte su influencia en los meses de noviembre a febrero. Se resalta en el mes de marzo esta parte de cuenca tiene a registrar valores sobre lo normal bajo la influencia de esta fase del fenómeno.

Es de anotar que, típicamente entre enero y abril, los volúmenes en la cuenca son bajos, lo que implica que un leve incremento (o disminución) del volumen mensual normal, podría representar un valor porcentual alto (o bajo). Además, se puede concluir que, aunque este bajo la influencia de la Fase El Niño o La Niña, no implica necesariamente que las condiciones de lluvias van a hacer deficitarias o lluviosas, respectivamente.

1.4.2 Análisis de la variabilidad de la temperatura del aire

En la Figura 23, se presentan los efectos del fenómeno ENOS (El Niño/ La Niña), en la temperatura media mensual en la cuenca los Camarones. Donde se aprecia que se presenta una alta probabilidad de ocurrencia de disminución de la temperatura media mensual del aire bajo la influencia de fase “La Niña”, e Incrementos en la fase “El Niño” en casi todo el año. Es decir, que, bajo la influencia de El Niño, se espera que la temperatura sea más alta dado que la tendencia es presentarse días despejados y bajo la fase La Niña, la temperatura disminuya, dado que la tendencia es a incrementar la nubosidad.

Figura 23: Anomalía de la temperatura bajo escenarios de El Niño y La Niña -ENSO, en las estaciones del IDEAM localizadas en la cuenca del río Camarones.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

1.5 Análisis de tendencias climáticas

En la Tabla 6, se presentan índices climáticos, que ha sido usados por el IDEAM (IDEAM, 2007) en Colombia y recomendados por la OMM, para evidenciar efectos del cambio climático en los patrones de precipitación y temperatura máxima y mínima a nivel local. Estos índices han sido contruidos con base en el análisis de las series históricas de información de precipitación y de temperatura (mínima y máxima) a escala temporal diaria, del periodo comprendido entre enero de 1976 a junio de 2017, registrados en las estaciones representativas de la cuenca del río Camarones-La Guajira (Tabla 1 y

Figura 2).

Tabla 6: Tendencia de la precipitación y temperatura máxima y mínima entre el periodo de 1976 a 2017, en las estaciones representativas de la cuenca Camarones

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



ÍNDICES	DESCRIPCIÓN	TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA		
		Cuenca Baja	Cuenca Alta	Cuenca media
TNX	Temperatura mínima	+ Leve Incremento		
TXX	Temperatura máxima	+ Leve Incremento		
CDD	Eventos de sequía	++ Moderado Incremento	+ Leve Incremento	Normal
R99P	Lluvias muy extremas	Normal	+ Leve Incremento	+ Leve Incremento
PRCPTOT	Valor de Precipitación año	- Leve Disminución	++ Moderado Incremento	++ Moderado Incremento

En la tabla anterior, se aprecia que en la cuenca media y alta se presenta una tendencia positiva en el incremento de la precipitación acumulada anual, con tasa de incrementos de 5.4 y 10.5 mm*año⁻¹ (ó 5.4 y 10.4 litros por año), respectivamente. Además, en estas partes de la cuenca, se están incrementando las lluvias torrenciales y en la cuenca alta se registra un leve incremento de los días seguidos sin presencia de lluvias (eventos >1 mm). En cambio, en la cuenca baja, se registra una tendencia negativa con una tasa de disminución de 1.4 mm*año⁻¹ (1.4 litros por año), con una tendencia de incrementos en los días seguidos sin lluvias (Eventos extremos de sequía). En toda la cuenca, la temperatura máxima y mínima en la zona registra una tendencia al incremento.

1.6 Análisis de cambio climático

En la Tabla 7, se presentan los cambios porcentuales en la precipitación y temperatura media proyectados bajo escenarios de cambio climático entre los periodos de 2011-40, 2041-2070 y 2071 -2100, para departamento de La Guajira.

Tabla 7: Cambios de la precipitación y temperatura media bajo escenarios de cambio climático entre los periodos de 2011-40, 2041-2070 y 2071 -2100, para departamento de La Guajira

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO					
2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Cambio de Temperatura Media °C	% de Cambio de Precipitación	Cambio de Temperatura Media °C	% de Cambio de Precipitación	Cambio de Temperatura Media °C	% de Cambio de Precipitación
+0.9	-14.5	+1.6	-16.6	+2.3	-20.02

Fuente: (IDEAM, PNUD, MADS, DNP y CANCELLERIA, 2015)

En el departamento de La Guajira, según la Tercera Comunicación Nacional (3ª CN) de Colombia (IDEAM, PNUD, MADS, DNP y CANCELLERIA, 2015), entre los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 bajo un escenario climático ensamble (compilación de todos escenarios), se esperaría incrementos de la temperatura del aire y variaciones en el patrón de precipitación (Tabla 7). Además, asociando a los efectos de variabilidad climática, podría aumentar los días seguidos sin lluvias y eventos extremos de lluvia (lluvias

torrenciales), estas últimas influenciadas por el paso de tormentas tropicales o huracanes por el océano Atlántico.

1.7 Sequías y excesos hídricos en la cuenca del río Camarones

De acuerdo al Estudio Nacional del Agua, 2014, del IDEAM, la sequía se caracteriza por una reducción considerable en el volumen de precipitación y una afectación de las etapas del ciclo hidrológico, por lo que se presenta una reducción considerable de la oferta hídrica, sin embargo, su evaluación no se obtiene de manera directa sobre una expresión matemática o de forma numérica, razón por la cual el IDEAM hace uso de valores índices de precipitación estándar (SPI), para homogenizar dicha variable a lo largo y ancho del territorio Colombiano. En dicho proceso se consideran valores de SPI inferiores entre -1 a -1.5 como sequía leve, entre -1.5 a -2 como sequía moderada y valores menores de -2 sequías severas. Entre 1- a 1 indica condiciones normales, valores entre 1 y 1.5 indica exceso leve, entre 1.5 a 2 exceso moderado y mayores de 2 excesos severos.

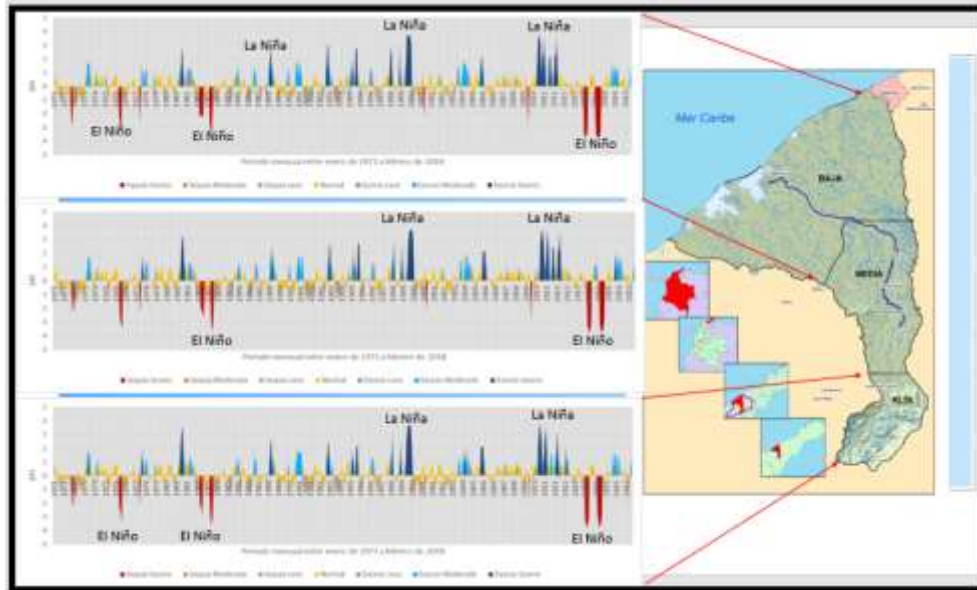
En la Figura 24, se puede apreciar que en la cuenca los excesos de lluvia más fuertes se han presentados entre los años de 2010-2011, 1998-1999 y 1988-1989, periodos que estuvieron bajo la influencia de “La Niña”. En la misma figura también se aprecia que las sequías más fuertes o severas se han registrado en los años de 1972, 1976, 1978, 1982, 1983, 2001, 2009, 2014 y 2015. En la mayoría de los años han estado bajo la influencia de “El Niño” (Tabla 8). Es de anotar, que en el año 1983 la sequía severa se presentó bajo la fase “La Niña”.

Tabla 8: Meses cuando se han registrado los valores del Índice precipitación estandarizada (SPI), de sequías más severas

Año	Meses	Fase del ENSO
1972	Junio -Julio	El Niño
1976	Mayo-Junio-Julio	Neutro
1978	Enero	El Niño
1982	Diciembre	El Niño
1983	Enero-Febrero-Marzo	El Niño
1983	Octubre-Noviembre-Diciembre	La Niña
2001	Abril	Neutro
2009	Octubre	El Niño
2014	Mayo-Junio-Julio-Agosto	El Niño
2015	Abril-Mayo-Junio-Julio-Agosto-Septiembre	El Niño

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 24: Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), en la cuenca los camarones mensuales entre enero de 1971 a febrero de 2018.



Fuente: Elaboración Propia.

En términos generales, Figura 24, permite inferir que la cuenca del río Camarones en La Guajira se presenta una situación climática más de característica árida, comúnmente de bajos valores precipitación y pocos eventos de lluvia en largos intervalos de tiempo, que una situación de sequía. Sin embargo, se recomienda mayor investigación al respecto, pues puede camuflarse una de las causas del avance de la magnitud (extensión) y severidad de la desertificación.

1.8 Análisis de amenazas de desertificación

Para evaluar el proceso de desertificación en la zona de trabajo se usó el indicador de desertificación asignado en el marco de convención de las naciones unidas de lucha contra la desertificación y la sequía, para determinar las áreas en desertificación es la relación Precipitación/Evapotranspiración y la relaciona con los ecosistemas. Los ecosistemas se clasifican en hiperáridos, áridos, semiáridos, subhúmedos secos y subhúmedos húmedos según la relación entre precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_o) (IGAC, IDEAM, MADAT, 2010).

Tabla 9: Valores del índice de P/ETP y el tipo de clima

Relación P/ETP	Tipo de clima
Menor que 0.05	Hiperárido (verdadero desierto climático)
De 0.05 a 0.20	Árido (sujeto a desertificación)
De 0.20 a 0.45	Semiárido (sujeto a desertificación)
De 0.45 a 0.70	Subhúmedo seco (sujeto a desertificación)
Mayor que 0.70	Húmedo (sujeto a desertificación)

Fuente: (IGAC, IDEAM, MADAT, 2010)

Figura 25, se presenta el índice de desertificación para los periodos de 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 y 2011 a 2016, en la cuenca del río camarones, donde valores menores de 0.2 indican una amenaza de desertificación muy alta, entre 0.2 y 0.45 alta, entre 0.45 y 0.7 la amenaza es moderada, valores entre 0.7 y 1 indican que la amenaza es baja. En la figura, se observa que en el periodo 1991-2000 se presentó un avance de la desertificación debido a la disminución en el volumen anual de precipitación. En el periodo 2000-2010, se presentó un retroceso dado que fue una década lluviosa en la zona, pero en los últimos años se está presentando un avance en la desertificación, dado que los últimos tres (3) años se han registrados volúmenes de precipitación bajo lo normal.

Lo anterior es una variabilidad decadal (periodos de diez años), si bien recogen los eventos extremos tanto de exceso como de escasez de lluvia, los cuales pudieron estar relacionados con eventos de ciclo corto (día o semana) como ciclones tropicales y ciclo inter-anual como la influencia de fenómenos ENOS Fase La Niña o El Niño. La variabilidad mostrada en la

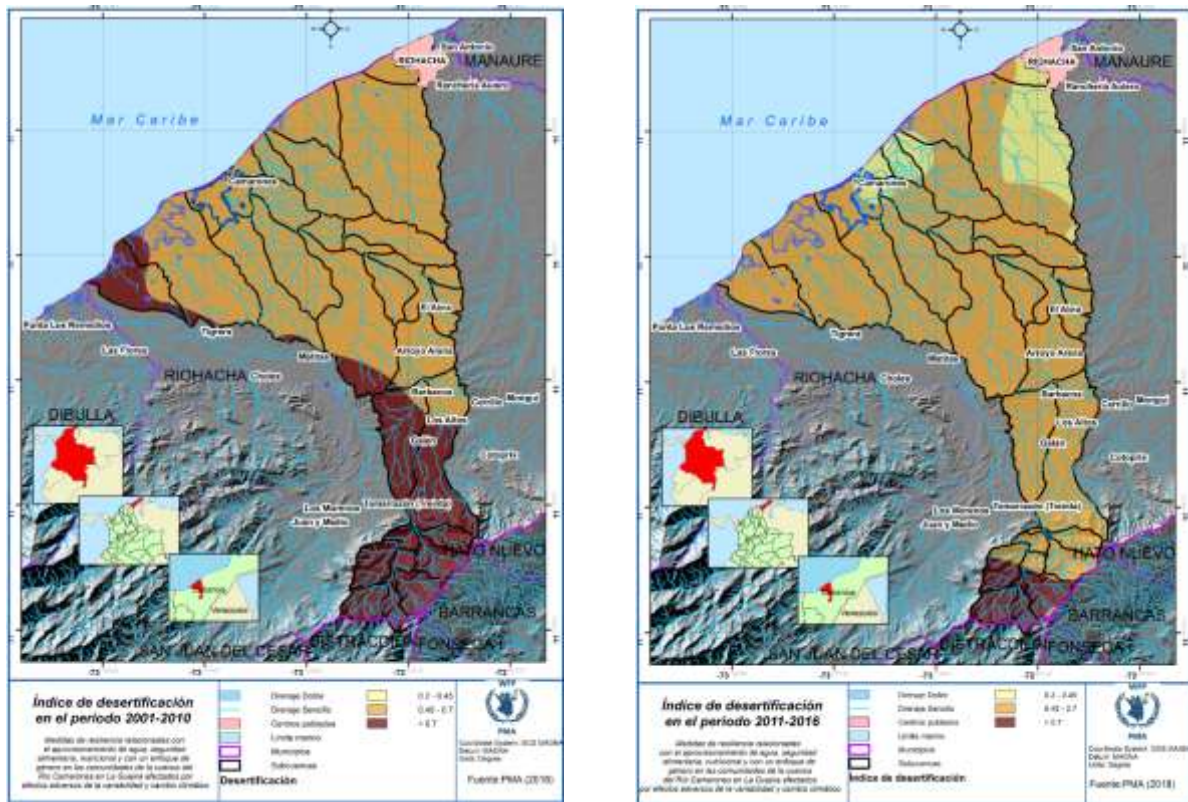
Figura 25 está relacionada a fenómenos de largo plazo a nivel global. Se resalta que los cambios observados a nivel global no son en ningún caso homogéneos para la precipitación. En las décadas que presenta disminución de la precipitación, se incrementa la tasa de evapotranspiración, factores que incide en acelerar el proceso de desertificación.

Figura 25: Índice de desertificación en periodos decadales para la cuenca del río Camarones.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

La zona presenta una alta amenaza y exposición ante este fenómeno, siendo en la cuenca baja muy alta (valores cercanos a 0.2 o menores). Es de anotar, que este fenómeno tiene un avance o retroceso lento, estos cambios no se pueden asociar con eventos de lluvias diarias o mensuales, sino en un periodo considerable mayor o igual a 10 años.

COMPONENTE HIDROLÓGICOS

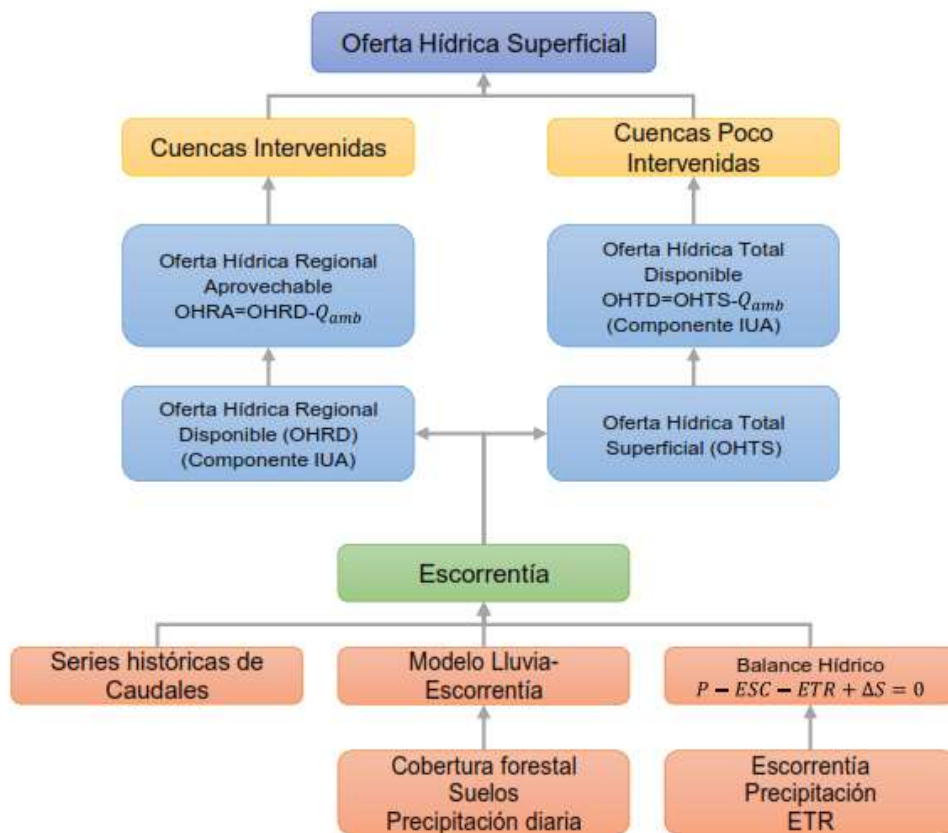
1.9 Procedimiento Metodológico

El balance hidrológico en la cuenca en el presente trabajo se analizó a partir de un modelo de relación precipitación-escorrentía con caudal, basado en siguiente expresión: $PPT = ETo + Esc + PR$, en la cual PPT es la precipitación, ETo es la evapotranspiración de referencia, Esc es el escurrimiento que se convierte en caudal y la PR es Percolación; agua que contribuye a la recarga de los acuíferos sub-terrenos.

Para la evaluación de la oferta hídrica superficial, se realizaron balances hidrológicos con el método precipitación -escorrentía, lo que permitió determinar dicha oferta por subcuenca, para un periodo normal o climatológico de referencia y para un año seco, establecido con base en la información de las estaciones de la red del IDEAM y productos satelitales descritas anteriormente. El diagrama metodológico utilizado en el procedimiento para la evaluación de la oferta hídrica superficial presentado en la

Figura 26.

Figura 26: Esquema metodológico para la evaluación de la oferta hídrica superficial

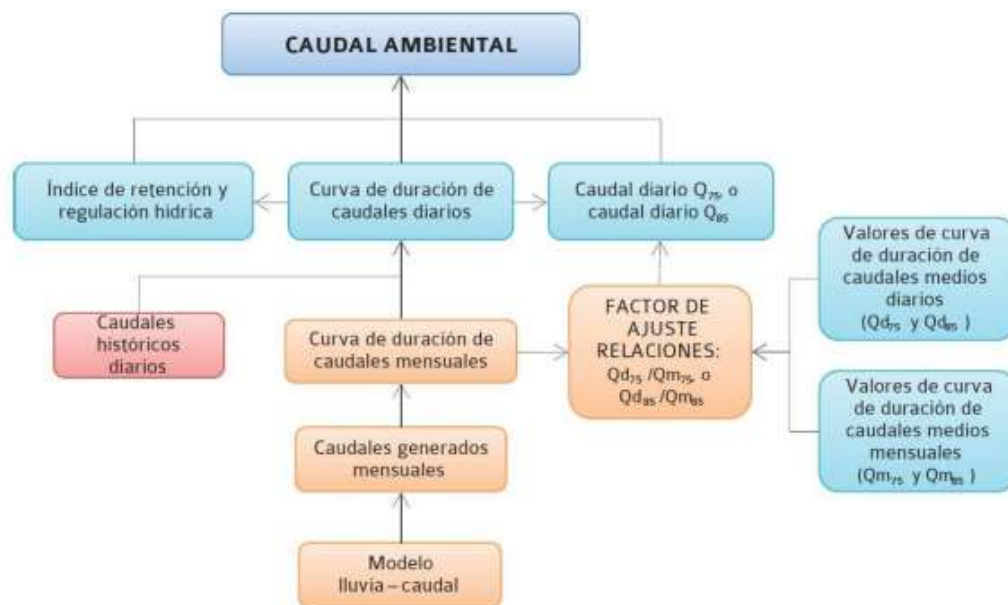


Fuente: IDEAM, 2013 citado por (Corpogujira-Consorcio Wajira, 2017).

Por tal razón, en el estudio del POMCA de la cuenca del río camarones (Corpogujira-Consorcio Wajira, 2017), determinaron el caudal ambiental (

Figura 27), según definición del Decreto 3930 de 2010, es el: “Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas”.

Figura 27: Procedimiento para la determinación del caudal ambiental.



Fuente: IDEAM 2013, citado por (Corpoguajira-Consorcio Wajira, 2017).

Adicionalmente, se evaluaron usos actuales y potenciales del recurso hídrico, así como la demanda hídrica en la zona para algunas prácticas, especialmente agrícola, pecuario (ganadería) y doméstico, bajo un escenario normal. Dado que la mayoría de los arroyos tiene caudal intermitente, está en función de la duración de la lluvia, no cuentan con información del agua extraída para consumo u otro uso.

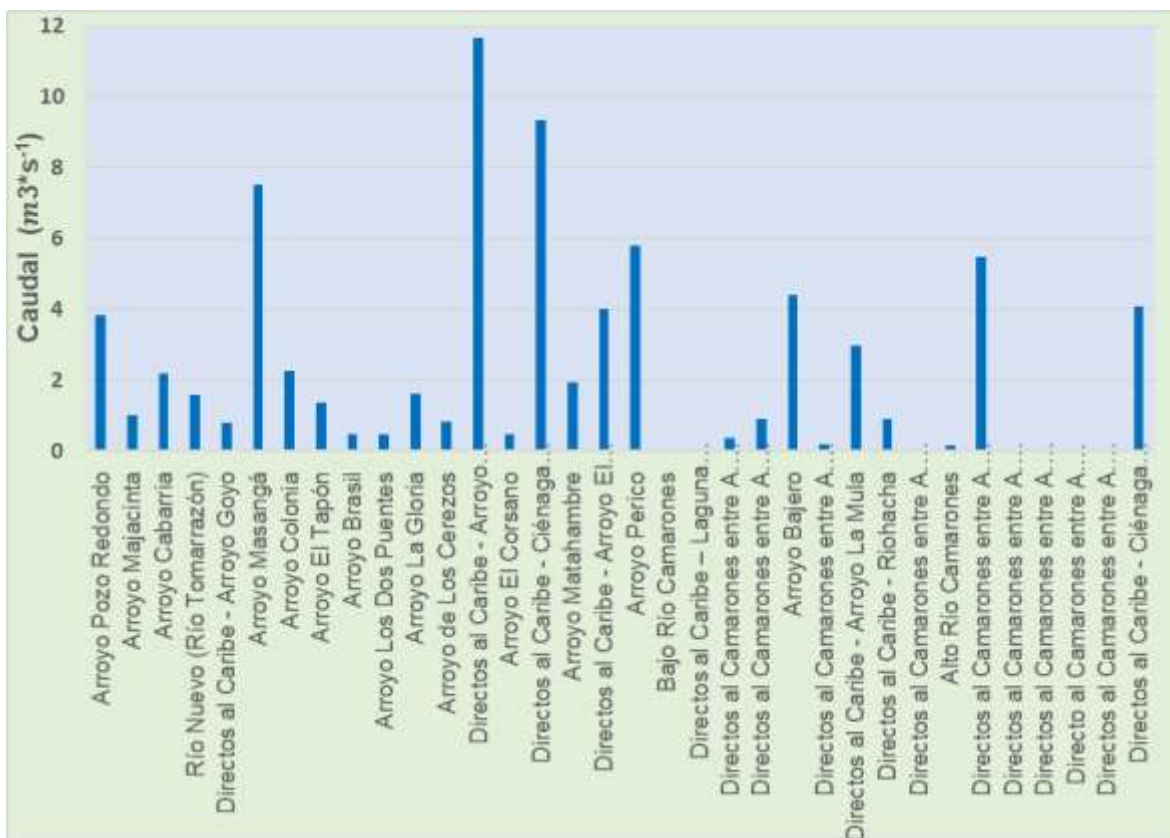
1.10 Análisis hidrológicos

1.10.1 Oferta de agua disponible

Es la oferta de agua disponible, presentada en la Tabla 10 y Tabla 11 y corresponde a los volúmenes de caudales totales menos el volumen correspondiente al caudal ambiental, bajo un escenario normal climatológico entre 1981 a 2010 y un año seco. Es decir, es la cantidad de agua que potencialmente puede ser usada para fines doméstico, pecuario, riego u otro uso. Esta oferta fue estimada con datos de precipitación medidos en superficie en estaciones meteorológicas (Tabla 1) y estimados con productos satelitales a una resolución de 5 x 5 km.

Bajo condiciones normales en gran parte de la cuenca entre los meses de enero a abril y junio y julio, la disponibilidad hídrica es nula. En algunas subcuencas no tiene disponibilidad hídrica o es muy bajo durante todo el año, como la sub –cuencas de Arroyo Brasil, Arroyo Los Dos Puentes, Arroyo El Corsano, Bajo Río Camarones, Directos al Caribe – Laguna Navío Quebrado, Directos al Camarones entre A. Cabarria y Río Nuevo, Directos al Camarones entre A. Matahambre y A. Cabarria, Directos al Camarones entre A. Majacinta y A. Matahambre, Directos al Camarones entre A. Colonia y A. El Tapón, Alto Río Camarones, Directos al Camarones entre A. Masangá y A. Colonia, Directo al Camarones entre A. Masangá y A. Pozo Redondo y Directos al Camarones entre A. El Tapón y A. El Corsano (Tabla 10 y Figura 28).

Figura 28: Oferta hídrica (metros cúbicos por segundos) disponible en un año normal hidrológico (climatología entre 1981-2010) con base en datos medidos en superficies y estimaciones satelitales



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Es importante tener presente, que muchas subcuencas tienen un alto volumen de agua disponible anualmente bajo un año normal, para uso doméstico, pecuario o agrícola. No obstante, no está disponible durante todo el año, debido que esta oferta se presenta normalmente en los meses de mayo, septiembre, octubre y noviembre. En los meses de la época seca principalmente enero, febrero, marzo y abril, la oferta es cero normalmente, generando un déficit total en toda la cuenca, causando un desabastecimiento de la población, lo que incrementa problemas de seguridad alimentaria, salud, pérdidas económicas en el sector agrícola, pecuario, pesca en agua dulce, turismo, entre otros.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Tabla 10: Oferta hídrica (metros cúbicos por segundos) disponible o neta (caudal total – caudal ambiental) en un año normal hidrológico (climatología entre 1981-2010) con base en datos medidos en superficies y estimaciones satelitales

SUBCUENCA	Caudal Ambiental Q	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Anual
Arroyo Pozo Redondo	0.107	0.00	0.00	0.00	0.05	0.24	0.17	0.00	0.25	0.74	1.35	1.03	0.00	3.84
Arroyo Majacinta	0.029	0.00	0.00	0.00	0.04	0.17	0.05	0.01	0.06	0.24	0.26	0.15	0.00	0.99
Arroyo Cabarria	0.044	0.00	0.00	0.00	0.10	0.38	0.11	0.03	0.14	0.51	0.60	0.34	0.00	2.20
Río Nuevo (río Tomarrazón)	0.05	0.00	0.00	0.00	0.11	0.28	0.09	0.02	0.09	0.31	0.38	0.28	0.00	1.56
Directos al Caribe - arroyo Goyo	0.013	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	0.01	0.00	0.07	0.15	0.34	0.09	0.02	0.78
Arroyo Masangá	0.235	0.00	0.00	0.00	0.29	0.64	0.39	0.00	0.46	1.44	2.83	1.48	0.00	7.52
Arroyo Colonia	0.082	0.00	0.00	0.00	0.02	0.14	0.09	0.00	0.17	0.56	0.89	0.38	0.00	2.26
Arroyo El Tapón	0.048	0.00	0.00	0.00	0.06	0.07	0.07	0.00	0.09	0.30	0.51	0.26	0.00	1.37
Arroyo Brasil	0.019	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.03	0.10	0.19	0.09	0.00	0.48
Arroyo Los Dos Puentes	0.018	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.03	0.10	0.19	0.09	0.00	0.48
Arroyo La Gloria	0.042	0.00	0.00	0.00	0.07	0.28	0.09	0.02	0.10	0.38	0.40	0.28	0.00	1.61
Arroyo de Los Cerezos	0.026	0.00	0.00	0.00	0.03	0.13	0.04	0.00	0.05	0.20	0.20	0.16	0.00	0.81
Directos al Caribe - arroyo Guerrero	0.246	0.00	0.00	0.00	0.20	1.08	0.43	0.00	0.93	2.59	4.54	1.88	0.00	11.66
Arroyo El Corsano	0.016	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.03	0.10	0.18	0.09	0.00	0.47
Directos al Caribe - ciénaga Laguna Grande	0.223	0.00	0.00	0.00	0.15	0.56	0.32	0.00	0.57	1.41	3.83	2.50	0.00	9.33
Arroyo Matahambre	0.046	0.00	0.00	0.00	0.07	0.34	0.09	0.03	0.14	0.47	0.55	0.26	0.00	1.95

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



SUBCUENCA	Caudal Ambiental Q	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Anual
Directos al Caribe - arroyo El Estéreo	0.075	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.11	0.00	0.28	0.64	1.76	0.89	0.00	4.02
Arroyo Perico	0.139	0.00	0.00	0.00	0.22	0.56	0.23	0.00	0.46	1.10	1.98	1.21	0.00	5.78
Bajo río Camarones	1.199	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Caribe - laguna Navío Quebrado	1.373	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Camarones entre A. Cabarria y río Nuevo	0.067	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.11	0.14	0.06	0.00	0.37

Directos al Camarones entre A. El Corsano y A. Bajero	0.554	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.65	0.06	0.00	0.88
Arroyo Bajero	0.106	0.00	0.00	0.00	0.31	0.56	0.25	0.00	0.35	0.86	1.40	0.69	0.00	4.40
Directos al Camarones entre A. Matahambre y A. Cabarria	0.124	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.06	0.09	0.00	0.00	0.17
Directos al Caribe - arroyo La Mula	0.045	0.00	0.00	0.00	0.01	0.30	0.08	0.00	0.20	0.50	1.23	0.66	0.00	2.96
Directos al Caribe - Riohacha	0.012	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.02	0.00	0.05	0.19	0.35	0.16	0.00	0.90
Directos al Camarones entre A. Majacinta y A. Matahambre	0.172	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alto río Camarones	0.004	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04	0.03	0.00	0.16

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Directos al Camarones entre A. El Bajero y A. Majacinta	0.358	0.00	0.00	0.00	0.25	0.76	0.18	0.00	0.31	1.10	2.03	0.84	0.00	5.46
Directos al Camarones entre A. Colonia y A. El Tapón	0.711	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Camarones entre A. Masangá y A. Colonia	0.815	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directo al Camarones entre A. Masangá y A. Pozo Redondo	1.081	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Camarones entre A. El Tapón y A. El Corsano	0.648	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Caribe - ciénaga Sabaletes	0.096	0.00	0.00	0.00	0.12	0.19	0.14	0.00	0.23	0.49	1.65	1.26	0.00	4.07
Total, mensual	8.8	0.0	0.0	0.0	2.2	7.4	3.0	0.1	5.1	14.9	28.6	15.2	0.0	2.2

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Tabla 11: Oferta hídrica disponible (metros cúbicos por segundos) bajo condiciones de un año seco entre 1981 a 2016, con base en datos medidos en superficies y estimaciones satelitales

SUBCUENCA	Caudal Ambiental Q (m^3s^{-1})	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Anual
Arroyo Pozo Redondo	0.107	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arroyo Majacinta	0.029	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02
Arroyo Cabarria	0.044	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03
Río Nuevo (Río Tomarrazón)	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06
Directos al Caribe – Arroyo Goyo	0.013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arroyo Masangá	0.235	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arroyo Colonia	0.082	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arroyo El Tapón	0.048	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arroyo Brasil	0.019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arroyo Los Dos Puentes	0.018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arroyo La Gloria	0.042	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
Arroyo de Los Cerezos	0.026	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Directos al Caribe – Arroyo Guerrero	0.246	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.24
Arroyo El Corsano	0.016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Caribe – Ciénaga Laguna Grande	0.223	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07
Arroyo Matahambre	0.046	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.05
Directos al Caribe – Arroyo El Estéreo	0.075	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02
Arroyo Perico	0.139	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Bajo Río Camarones	1.199	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



SUBCUENCA	Caudal Ambiental $Q (m^3 \cdot s^{-1})$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Anual
Directos al Caribe – Laguna Navío Quebrado	1.373	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Camarones entre A. Cabarria y Río Nuevo	0.067	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Camarones entre A. El Corsano y A. Bajero	0.554	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arroyo Bajero	0.106	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02
Directos al Camarones entre A. Matahambre y A. Cabarria	0.124	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Caribe – Arroyo La Mula	0.045	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02
Directos al Caribe – Riohacha	0.012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Directos al Camarones entre A. Majacinta y A. Matahambre	0.172	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alto Río Camarones	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Camarones entre A. El Bajero y A. Majacinta	0.358	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Camarones entre A. Colonia y A. El Tapón	0.711	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Camarones entre A. Masangá y A. Colonia	0.815	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Camarones entre A. Masangá y A. Pozo Redondo	1.081	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



SUBCUENCA	Caudal Ambiental Q ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Anual
Directos al Camarones entre A. El Tapón y A. El Corsano	0.648	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Directos al Caribe – Ciénaga Sabaletes	0.096	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02
Total, mensual	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.02

Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



La oferta hídrica disponible bajo condiciones de un año seco es deficitaria o casi nula en casi todo el año. Normalmente la oferta hídrica se concentra en mayo y entre septiembre a noviembre en algunas subcuencas, se resaltan las subcuencas de Directos al Caribe - arroyo Guerrero, arroyo Masangá, entre otras.

Valores de oferta hídrica anuales inferiores de $0.01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, lo que es equivalente a decir que en la subcuenca se tienen 315.360 metros cúbicos de agua en un año o 315.360.000 litros (un metro cubico es igual a 1000 litros) y que, por ejemplo, puede abastecer una población de 8.640 personas en un año, con un consumo diario de 100 litros.

1.10.2 Demanda hídrica

En la Tabla 12, se presenta los valores de la demanda anual de las actividades: agrícola y forestal, pecuario y doméstico. Se resalta que las subcuencas Directos al Caribe entre A. El Bajero y A. Majacinta es la que tiene la mayor demanda especialmente por sus actividades pecuarias y domésticas. Es de anotar que esta subcuenca tiene una oferta baja, distribuida entre los meses de abril a junio y agosto a noviembre, en el resto de los meses normalmente tiene una oferta hídrica nula. A continuación, describen las actividades a las que se les evaluó la demanda hídrica (Cantidad de agua usada para cada subsector) en la zona de trabajo.

- **Demanda agrícola y forestal:** Cantidad de agua que los cultivos como maíz, yuca, ahuyama, plátano, pasturas nativas o mejoradas, árboles y arbustos de la zona, entre otros, necesitan para satisfacer su requerimiento hídrico en su proceso fisiológico. Las plantas toman principalmente el agua del suelo, agua que de lluvia o riego que se infiltra en el suelo y almacenada en la capa vegetal del mismo (\leq un metro de profundidad). Posteriormente las plantas toman el agua por sus raíces y es transpirada, contribuyendo al ciclo hidrológico.
- **Demanda Pecuaria:** Cantidad de agua consumida por el ganado Bobino y Caprino (Chivos y Cabras).
- **Demanda Domestico:** Cantidad de agua para consumo humano, y para satisfacer sus necesidades básicas en el hogar.

Tabla 12: Demanda anual (metros cúbicos) en las principales actividades en la cuenca del río Camarones. Un metro cubico es igual a 1000 litros; es aproximadamente la cantidad de agua que se tendría en 100 baldes (Baldes de 10 litros, o comúnmente 20 botellas).

SUBCUENCA	AGRÍCOLA-FORESTAL	PECUARIO	DOMÉSTICO	TOTAL
Arroyo Pozo Redondo	14,557,000	47,524,752	21,224	62,102,976
Arroyo Majacinta	4,319,979	19,174	4,604	4,343,757
Arroyo Cabarria	6,928,325	1,766	7,222	6,937,312
Río Nuevo (Río Tomarrazón)	6,265,184	158	7,159	6,272,500
Directos al Caribe - Arroyo Goyo	2,198,041	-	4,951	2,202,993
Arroyo Masangá	26,507,749	71,239,824	64,806,480	162,554,053
Arroyo Colonia	9,155,531	37,748,592	13,907	46,918,030

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



SUBCUENCA	AGRÍCOLA-FORESTAL	PECUARIO	DOMÉSTICO	TOTAL
Arroyo El Tapón	5,477,454	-	8,231	5,485,685
Arroyo Brasil	2,058,172	15,484	3,091	2,076,747
Arroyo Los Dos Puentes	2,050,842	13,245	3,091	2,067,178
Arroyo La Gloria	6,009,947	-	13,939	6,023,886
Arroyo de Los Cerezos	3,193,620	-	3,469	3,197,089
Directos al Caribe - Arroyo Guerrero	38,264,044	56,291,760	65,815,632	160,371,436
Arroyo El Corsano	1,951,232	-	4,510	1,955,742
Directos al Caribe - Ciénaga Laguna Grande	30,840,108	22,958	43,456,608	74,319,674
Arroyo Matahambre	6,809,383	10,943	7,001	6,827,327
Directos al Caribe - Arroyo El Estéreo	14,086,600	-	21,098	14,107,698
Arroyo Perico	17,054,739	1,167	71,523,648	88,579,554
Bajo Río Camarones	2,404,000	1,325	3,879	2,409,204
Directos al Caribe - Laguna Navío Quebrado	7,377,481	-	10,911	7,388,393
Directos al Camarones entre A. Cabarria y Río Nuevo	2,229,296	32,765,904	2,334	34,997,534
Directos al Camarones entre A. El Corsano y A. Bajero	10,776,068	23,337	36,108,720	46,908,124
Arroyo Bajero	14,797,354	10,281	19,489	14,827,124
Directos al Camarones entre A. Matahambre y A. Cabarria	2,316,168	47,051,712	2,428	49,370,309
Directos al Caribe - Arroyo La Mula	9,420,313	12,898	14,286	9,447,497
Directos al Caribe - Riohacha	2,886,826	64,018,080	16,683	66,921,589
Directos al Camarones entre A. Majacinta y A. Matahambre	341,372	599	347	342,318
Alto Río Camarones	618,397	-	631	619,028
Directos al Camarones entre A. El Bajero y A. Majacinta	24,933,507	354,685,392	167,739,984	547,358,883
Directos al Camarones entre A. Colonia y A. El Tapón	1,764,320	68,969,232	2,681	70,736,233
Directos al Camarones entre A. Masangá y A. Colonia	3,394,644	662	4,951	3,400,258

SUBCUENCA	AGRÍCOLA- FORESTAL	PECUARIO	DOMÉSTICO	TOTAL
Directos al Camarones entre A. Masangá y A. Pozo Redondo	6,454,657	28,666	90,666,000	97,149,324
Directos al Camarones entre A. El Tapón y A. El Corsano	4,672,291	23,210	8,893	4,704,395
Directos al Caribe - Ciénaga Sabaletes	12,447,494	2,964	51,056,784	63,507,242
TOTAL	304,562,138	780,484,085	591,384,866	1,676,431,092

Fuente: Corpoguajira-Consorcio Wajira, 2017

1.10.3 Presión hídrica

El recurso agua es una de las principales necesidades de humanidad, para poder satisfacer desde las más básicas hasta la indispensable actividad que deba desarrollar para garantizar su supervivencia. El agua es un elemento base para la producción en las actividades de la agricultura, producción de energía, industria, incluso minería. Debido a sus impactos en la salud, la equidad de género, la educación y los medios de sustento, la gestión del recurso hídrico, se hace esencial para lograr un desarrollo económico productivo y sostenible, así mismo aliviar la pobreza y el hambre.

Sin embargo, el crecimiento de la población y la competencia de los sectores económicos por este recurso, generan presión en su uso, dejan una cantidad insuficiente para cubrir las necesidades humanas y preservar los caudales ambientales necesarios para mantener los ecosistemas saludables. Las aguas subterráneas se han agotado en muchos lugares, lo cual deja a las actuales y futuras generaciones sin reservas para hacer frente a la creciente variabilidad y cambio climático (Banco Mundial, 2018).

En la zona de trabajo las presiones hídricas sobre el agua superficie (escorrentía, agua de lluvia que no se infiltra en el suelo y fluye sobre la superficie) y subterráneo, es ejercida principalmente por uso doméstico y pecuario, el sector agrícola solo ejerce presión es cuando se realizan riegos los cuales son eventuales. El sector agrícola ejerce presión es en el agua que queda almacenada en la sub-superficie (Profundidad efectiva hasta donde potencialmente puede llegar las raíces, en la zona oscila entre los primeros 50 a 100 centímetros de profundidad), como se describe a continuación.

- **Presión hídrica de agua superficial y subterránea**

Presión de la demanda doméstica y pecuaria, principalmente, sobre la oferta hídrica superficial o subterránea en la cuenca del río camarones bajo un año normal, es estimada a partir del porcentaje de agua extraída para cada sector respecto al total disponible en la subcuenca. La presión se incrementa a medida que la cantidad agua que se requiere extraer para satisfacer la necesidad de la actividad es igual o mayor que la cantidad de agua disponible para ser usada.

En el presente trabajo, se analizaron solo las actividades para uso doméstico y pecuario, más no las agrícolas, debido a que en la zona las aplicaciones de riego en este sector agrícola no son significativas, aunque, estas actividades son las principales que generan mayor presión sobre la oferta hídrica superficial y subterránea

- **Presión hídrica subsuperficial**

La presión de la demanda agrícola es generada en la profundidad efectiva del suelo, sobre la oferta de agua que es almacenada en dicha superficie. Esta capa en la zona puede oscilar entre los 50 a 100 centímetros (profundidad efectiva del suelo). Así mismo, la presión se estima a partir de la relación de demanda de los cultivos y forestales respecto a la lluvia efectiva (agua que se infiltra que potencialmente puede ser aprovechada por el cultivo o forestal).

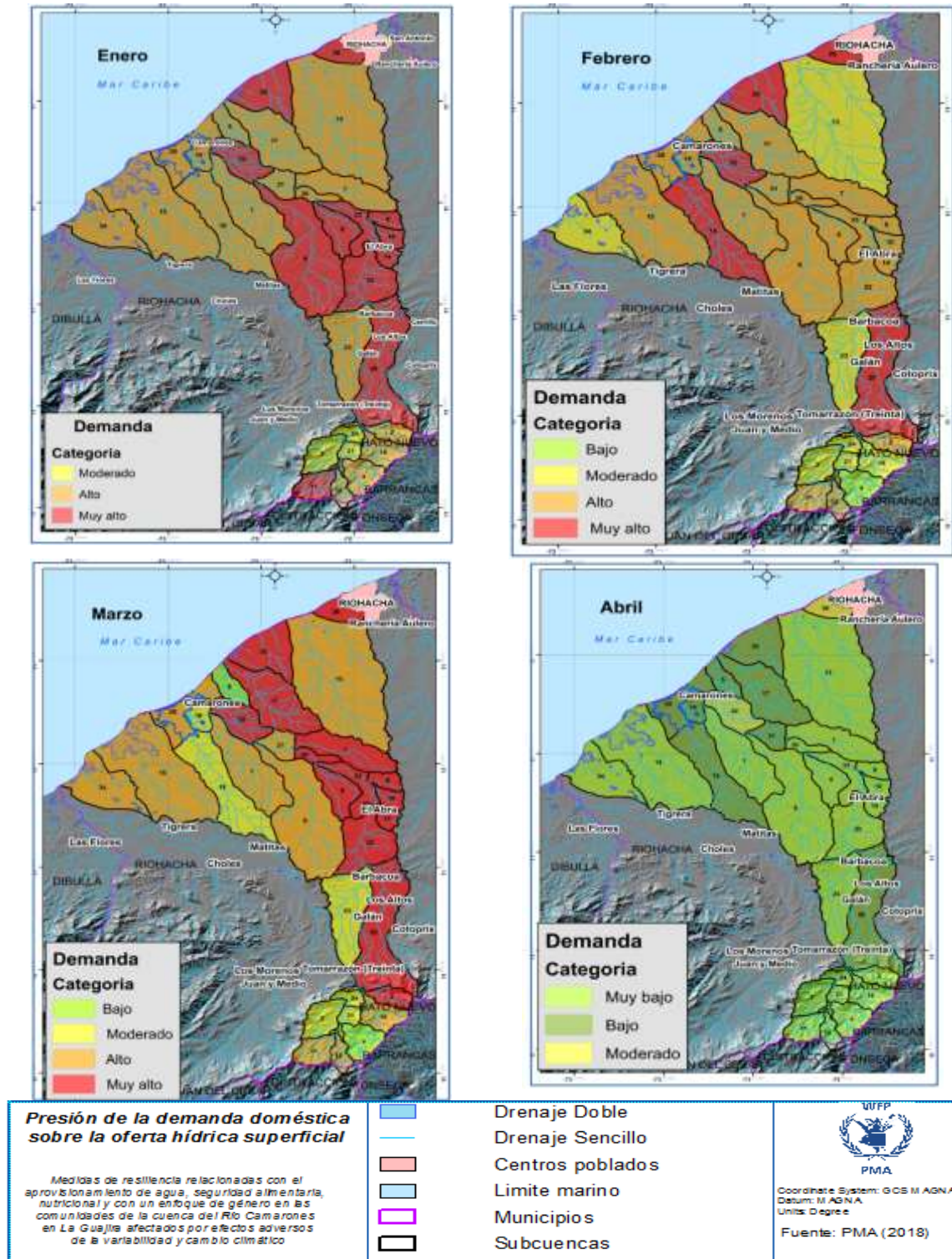
1.11 Presión hídrica superficial

En las Figura 29 y Figura 30, se presenta la presión de la demanda Doméstica y pecuaria, respectivamente, sobre la oferta hídrica superficial en la cuenca del río camarones bajo un año normal hidrológicos. El agua en la superficie es la escorrentía, la cual es parte del agua lluvia que llega a la superficie, pero que no se infiltra en el suelo, sino que fluye sobre la superficie del suelo.

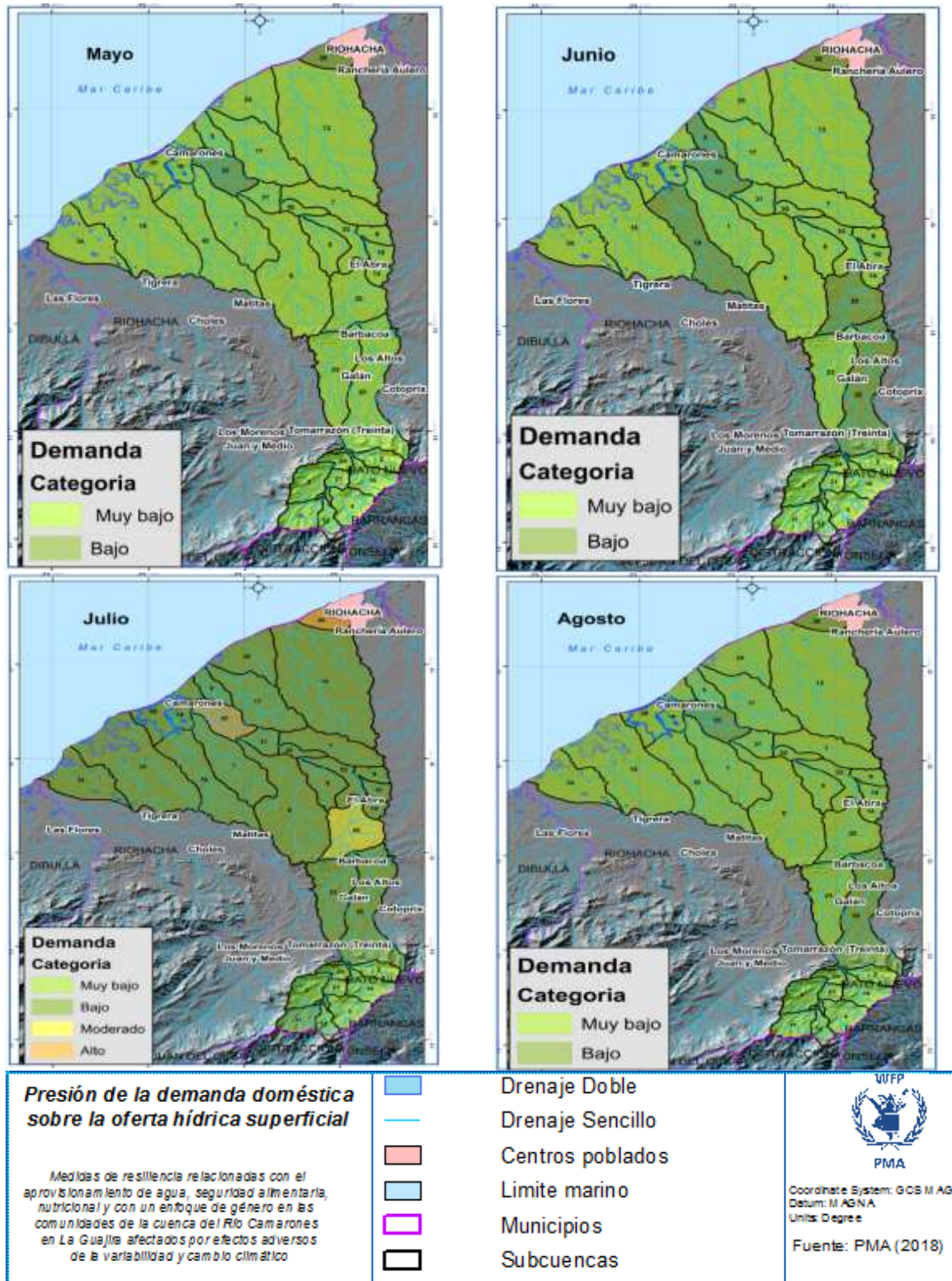
La presión de la demanda doméstica sobre la oferta hídrica superficial en un año hidrológico normal (Año de referencia, calculado con el promedio entre 1981-2010), es más fuerte en los meses de enero a marzo, dado que estos meses son secos, y la disponibilidad de agua baja considerablemente, en algunas subcuencas no se tiene agua disponible o no alcanza a satisfacer el requerida hídrico para uso doméstico. Bajo un año seco (año cuando se ha registrado históricamente los volúmenes de lluvia más bajos) la presión es muy fuerte en casi todo el año, siendo la cuenca baja la más expuesta y vulnerable (fFigura 29).

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

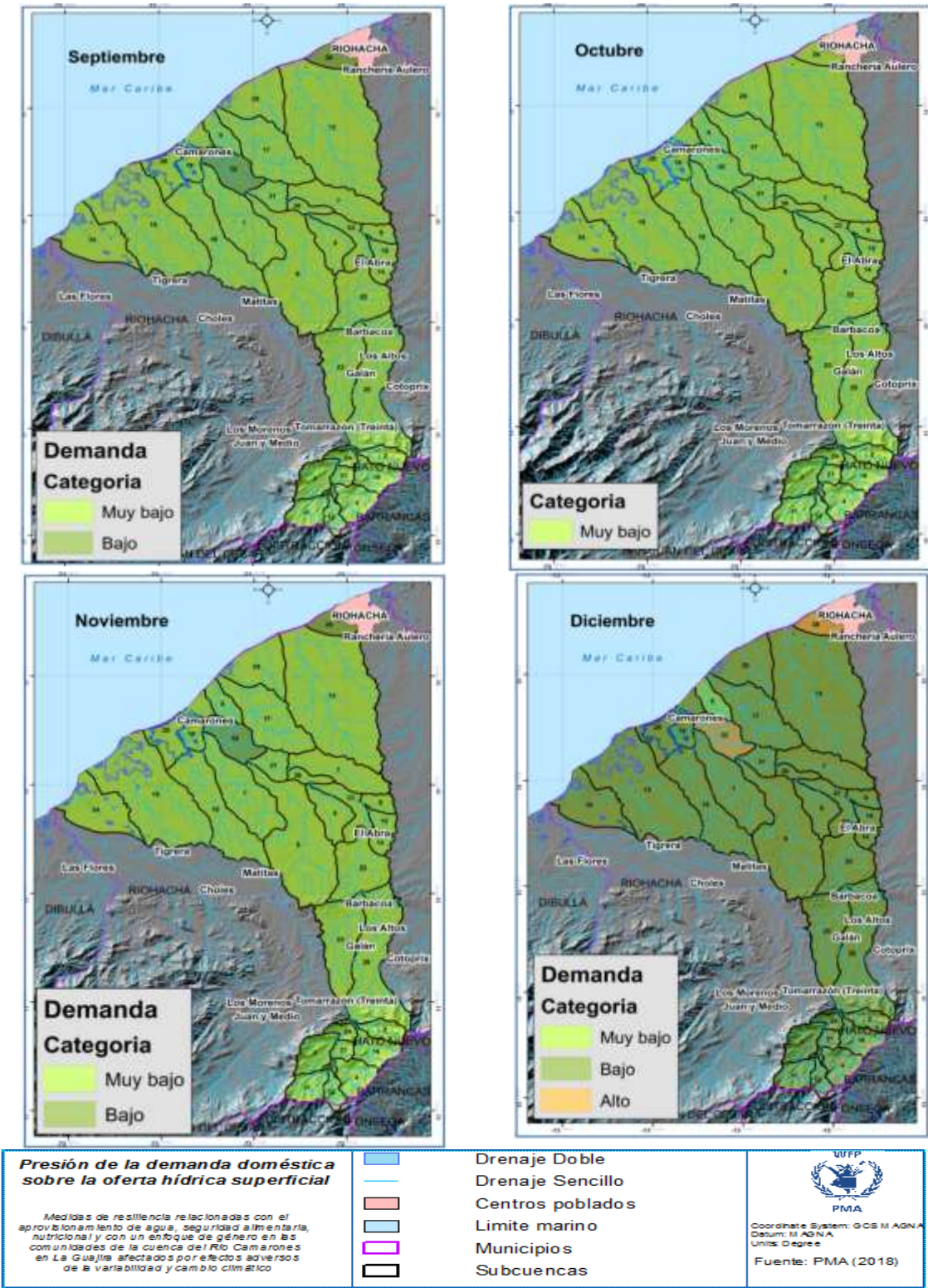
Figura 29: Presión de la demanda Doméstica sobre la oferta hídrica superficial en la cuenca del río camarones bajo un año normal hidrológico.



COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



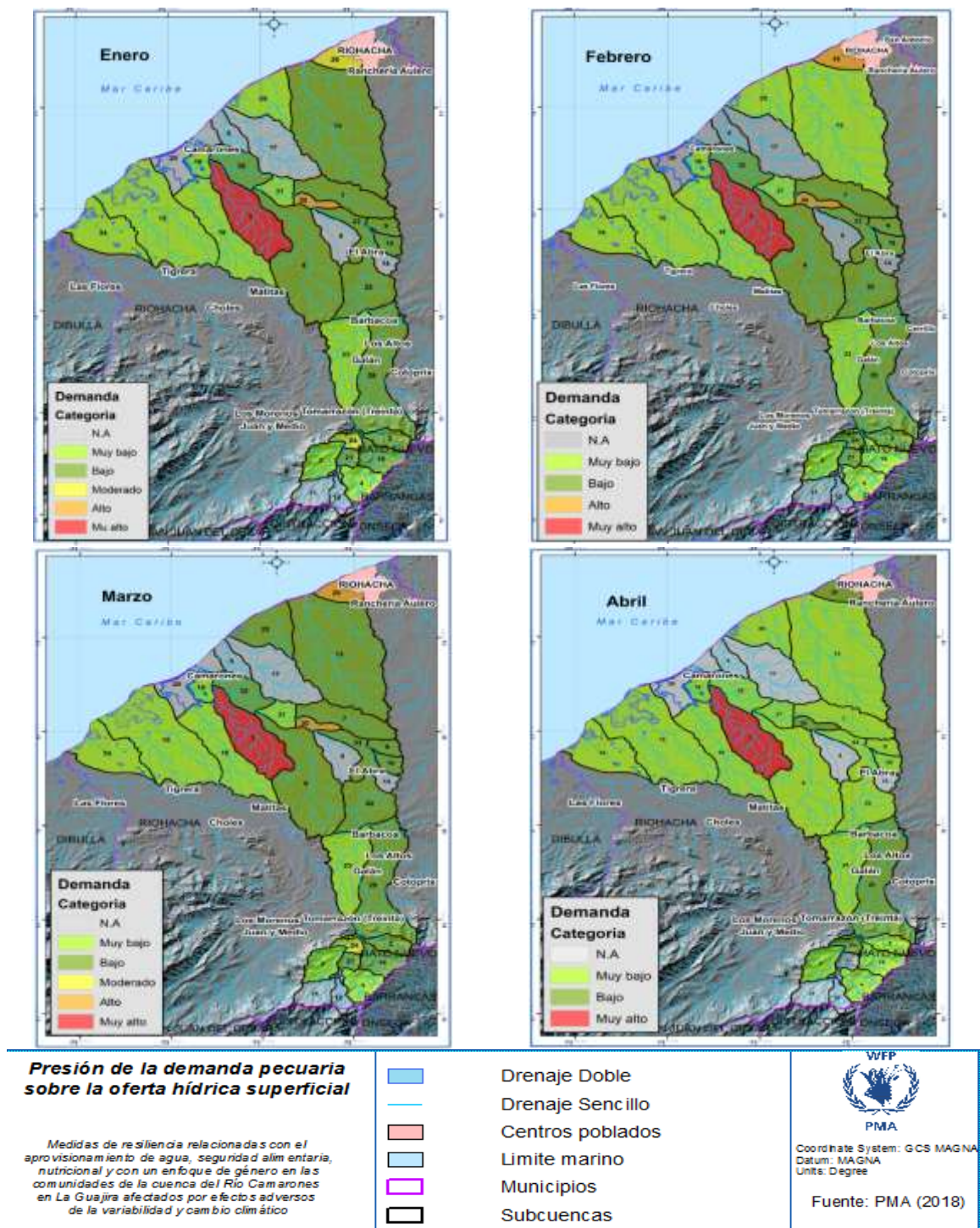
COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



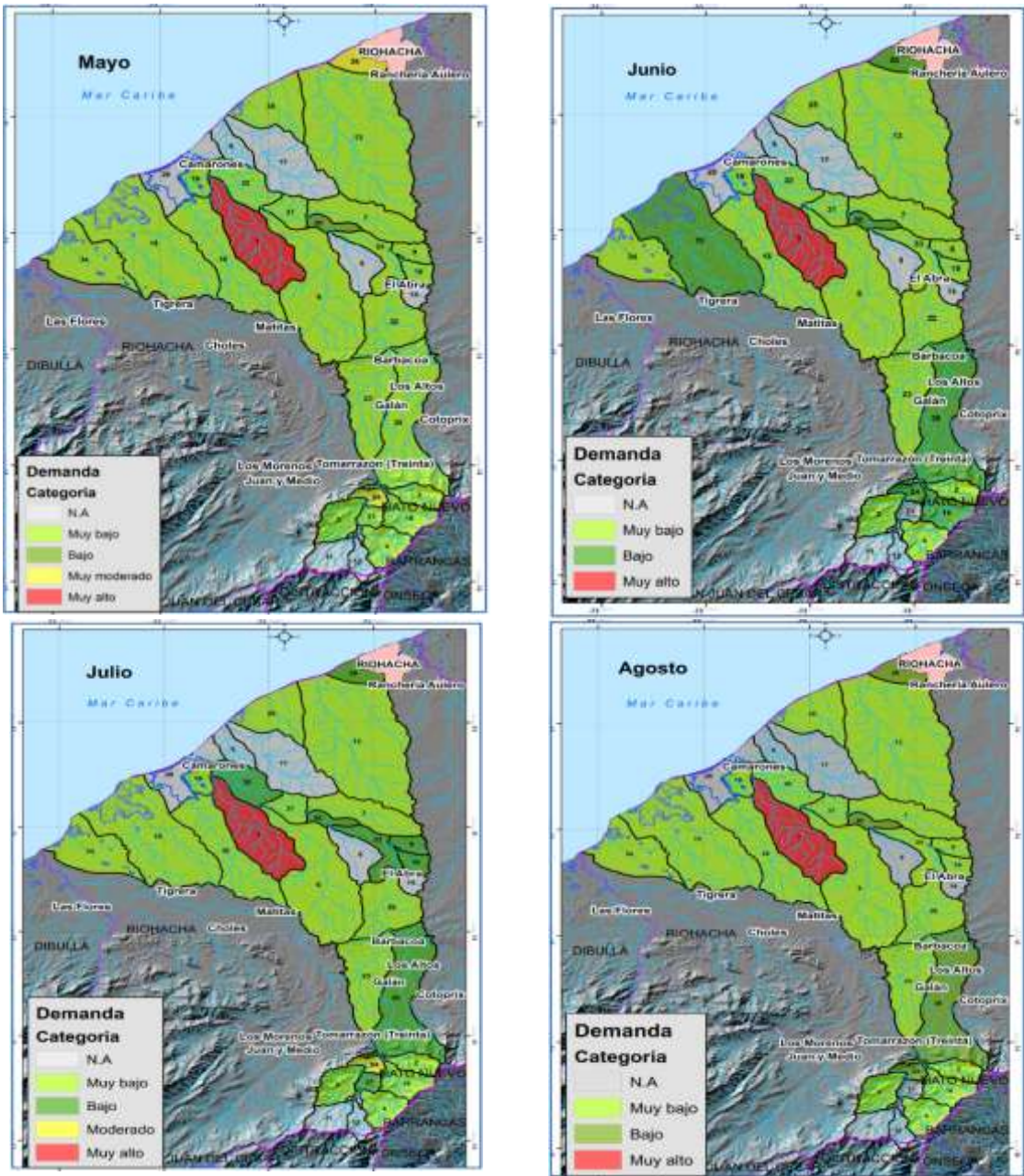
Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

Figura 30: Presión de la demanda Pecuaria sobre la oferta hídrica superficial en la cuenca del río camarones bajo un año normal hidrológico.



COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Presión de la demanda pecuaria sobre la oferta hídrica superficial

Medidas de resiliencia relacionadas con el aprovisionamiento de agua, seguridad alimentaria, nutricional y con un enfoque de género en las comunidades de la cuenca del Río Camarones en La Guajira afectados por efectos adversos de la variabilidad y cambio climático

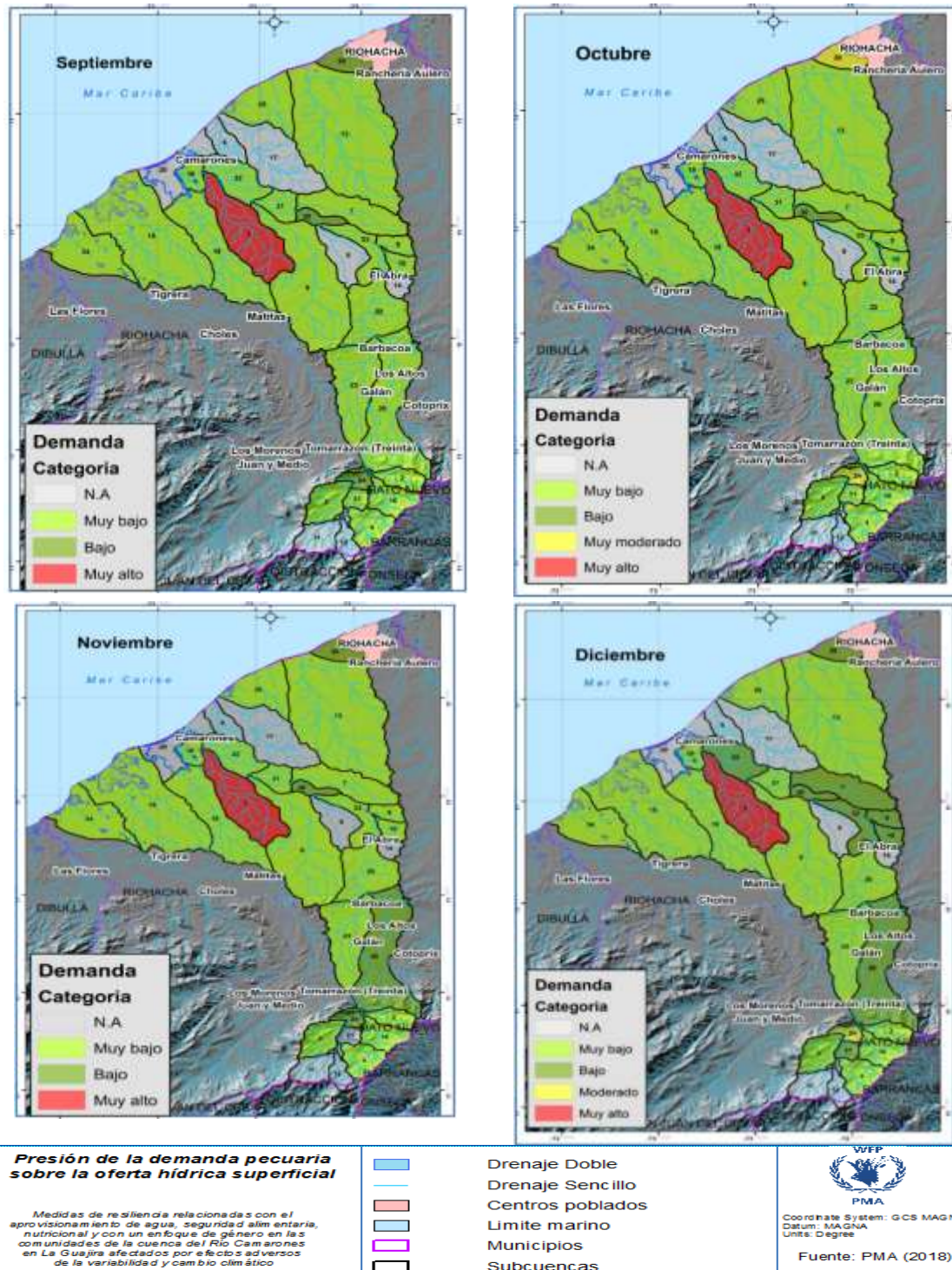
- Drenaje Doble
- Drenaje Sencillo
- Centros poblados
- Limite marino
- Municipios
- Subcuencas



Coordinate System: GCS MAGN
Datum: MAGNA
Units: Degree

Fuente: PMA (2018)

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Fuente: Elaborada en el presente trabajo

Bajo un escenario normal o año hidrológico normal, la presión de la demanda pecuaria sobre la oferta hídrica superficial es mayor en la cuenca baja, especialmente en la subcuenca Arroyo Pozo Redondo, la

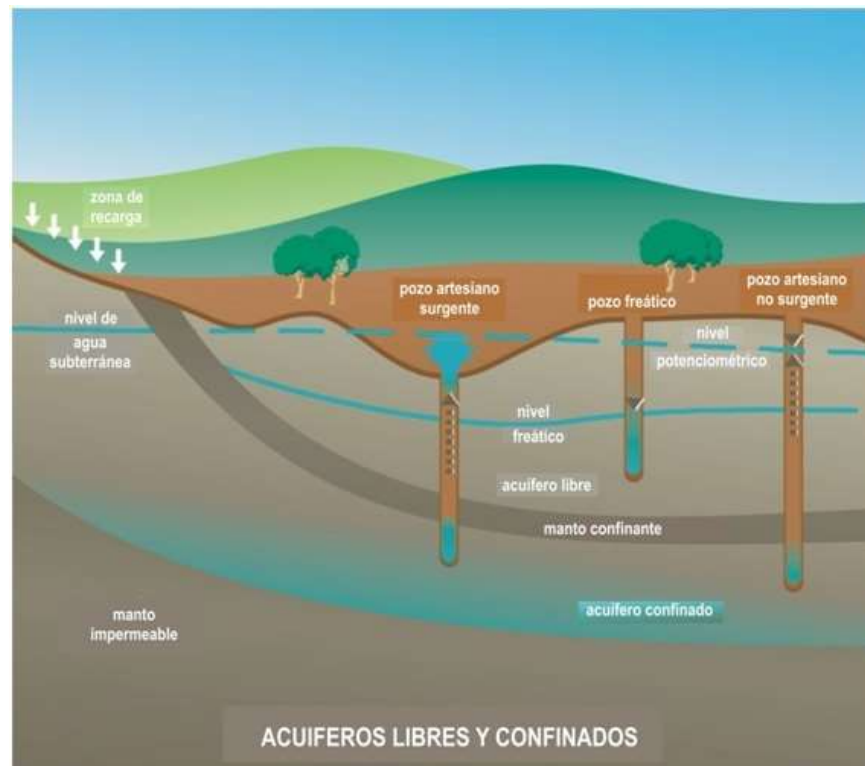
cual la presión que ejerce la actividad pecuaria es muy alta en todo el año. Bajo un escenario seco la presión es muy alta en la cuenca, especialmente en la parte baja y media de la cuenca (Figura 30).

1.12 Presión hídrica subterránea

En la

Figura 32, presión de la demanda doméstica y pecuaria sobre la oferta hídrica subterránea en la cuenca del río camarones bajo un año normal hidrológicos. Esta es el agua que es extraída de los “pozo calicanto” o acueductos de aguas subterráneas que extraen agua de acuíferos, los cuales puede ser de tipo freáticas; acuíferos recargados directamente con el agua lluvia que cae a la superficie del terreno y se infiltra o percola a través de los intersticios o porosidad de éstos, hasta quedar retenidas por un manto impermeable. O de tipo confinado (Artesianas); acuíferos que se alimentan con las aguas lluvias que caen en sus zonas de carga, que generalmente son suelos porosos confinados entre dos capas de roca impermeable (Figura 31) (SENA, 2018).

Figura 31: Esquema de un sistema hídrico subterráneo

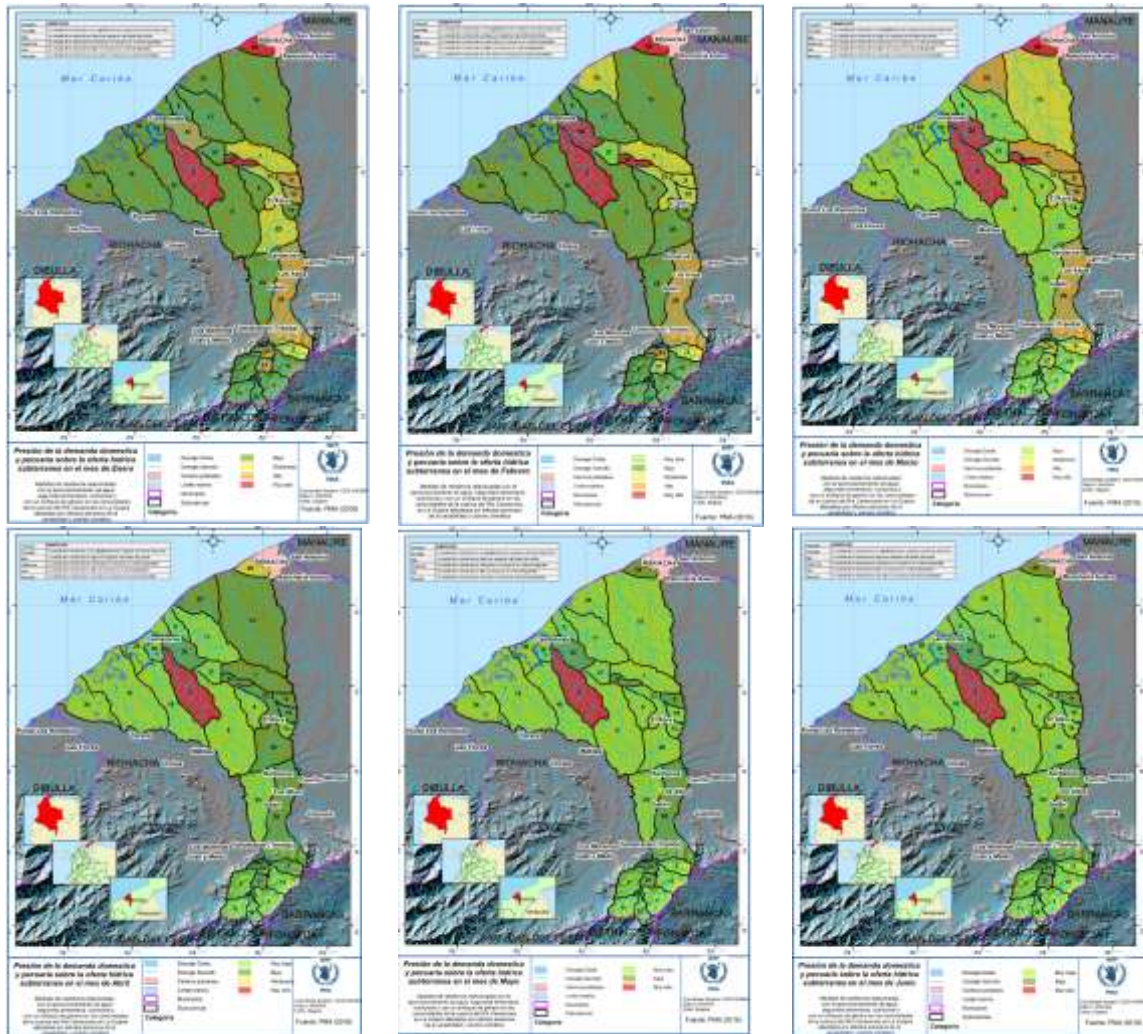


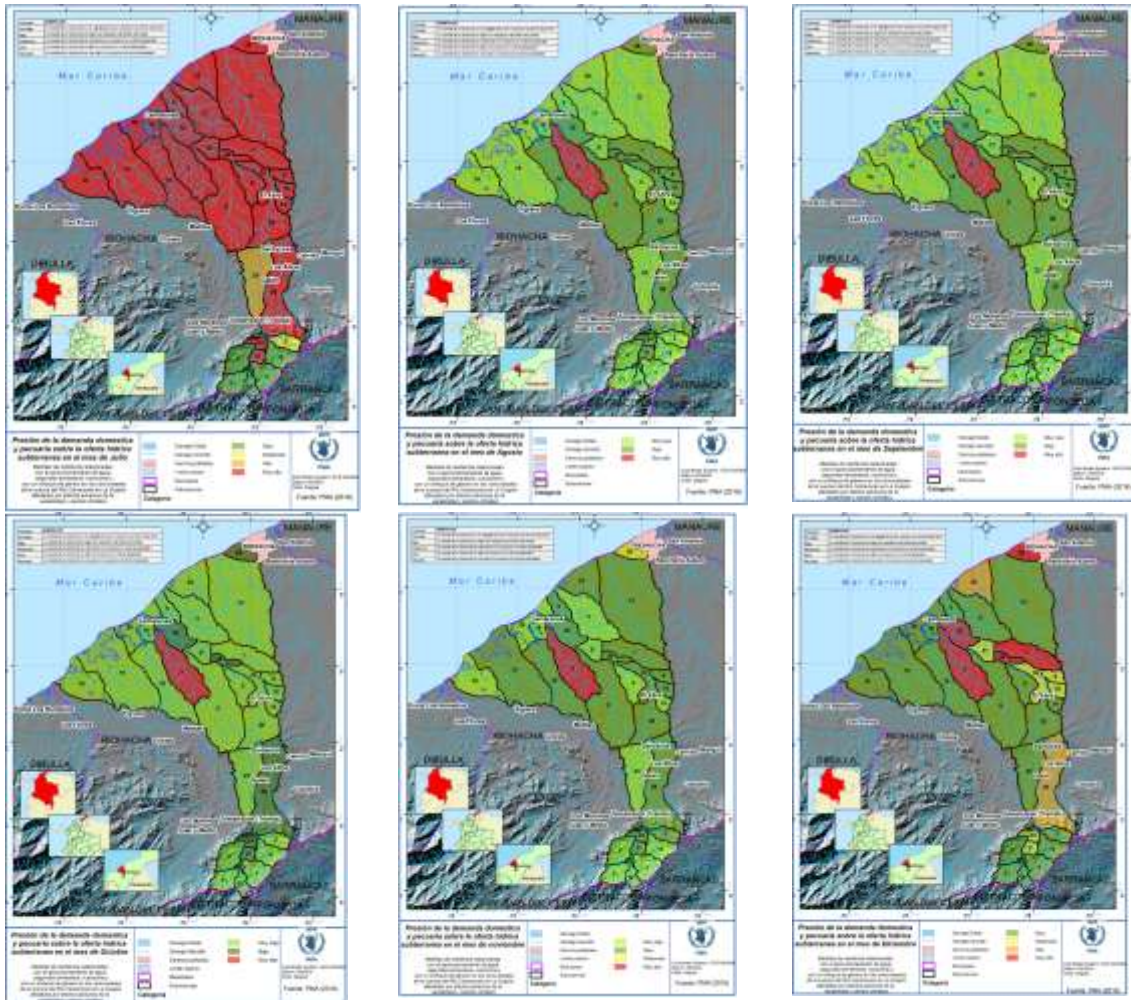
Fuente: (Sistemajpii, 2018).

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

Solo se analizaron estas dos actividades, dado que en la zona las aplicaciones de riego en actividades agrícolas no son significativas, por ende, estas actividades son las principales que generan presión sobre la oferta hídrica subterránea.

Figura 32: Presión de la demanda Doméstica y Pecuaria sobre la oferta hídrica subterránea en la cuenca del río Camarones bajo un año normal hidrológico.





Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

En la anterior figura se aprecia que la presión que ejerce las actividades domésticas y pecuarias en la oferta hídrica subterránea en mucho más fuerte en febrero, marzo y julio. Y Algunas subcuencas de la cuenca baja y media, que descargan sus aguas en las lagunas ubicadas en la cuenca baja, ejercen presión muy alta en casi todo el año.

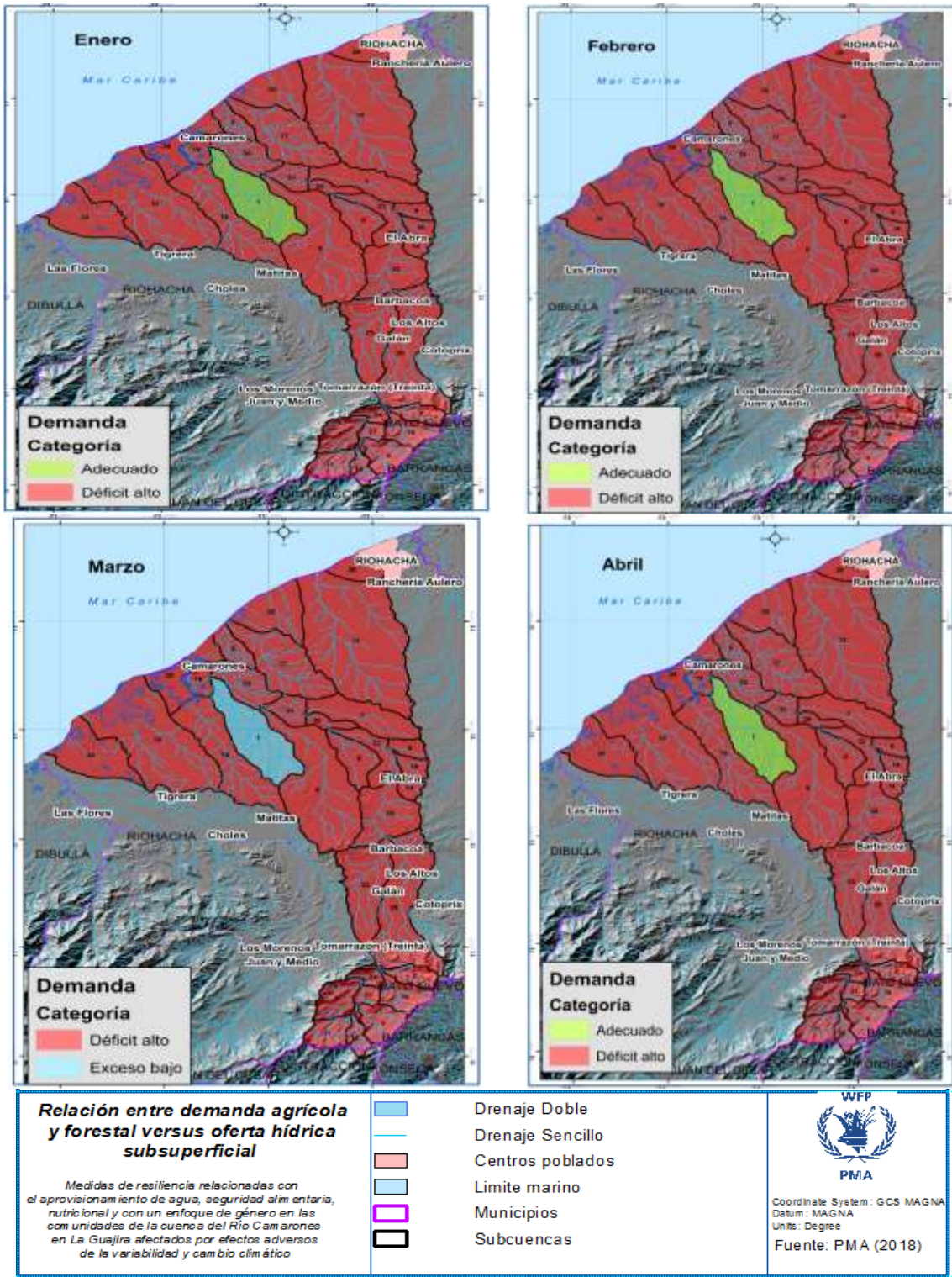
1.13 Presión hídrica subsuperficial

En la Figura 33, se presenta la relación mensual entre demanda agrícola y forestal versus oferta hídrica subsuperficial en la cuenca del río camarones bajo un año normal hidrológico. Se aprecia que en gran parte de la cuenca existe un déficit hídrico en el sector agrícola y forestal. Lo cual, limita estas actividades en la zona, afectando la seguridad alimentaria de la población, además de la biodiversidad de la cuenca.

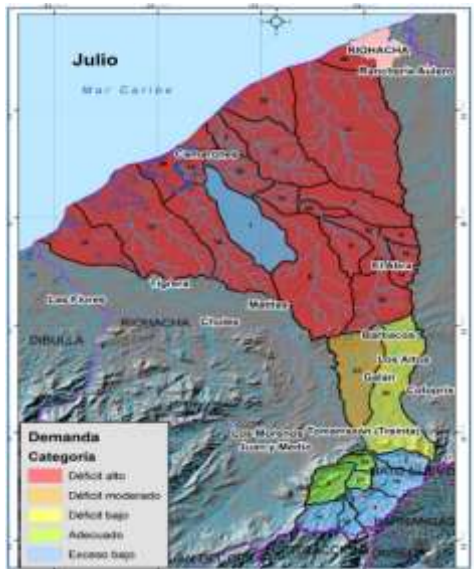
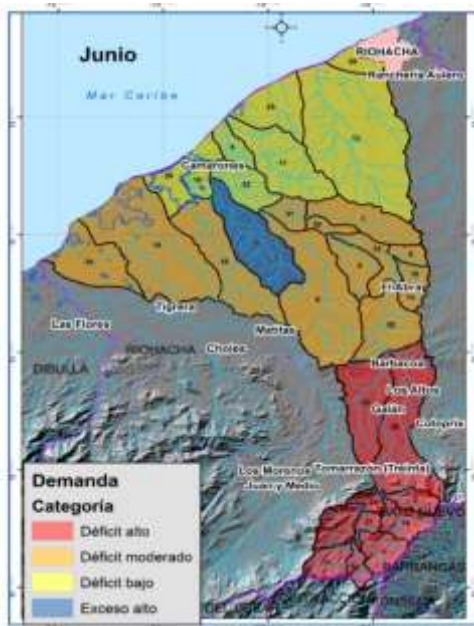
COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Figura 33: Relación entre demanda agrícola y forestal Vs. oferta hídrica superficial en la cuenca del río camarones bajo un año normal hidrológico

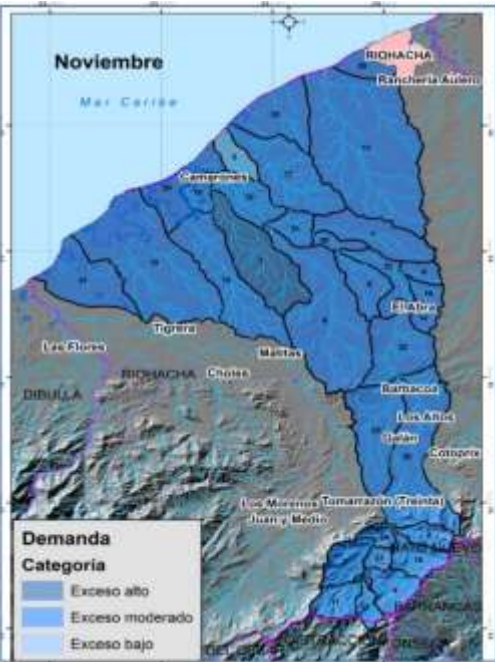
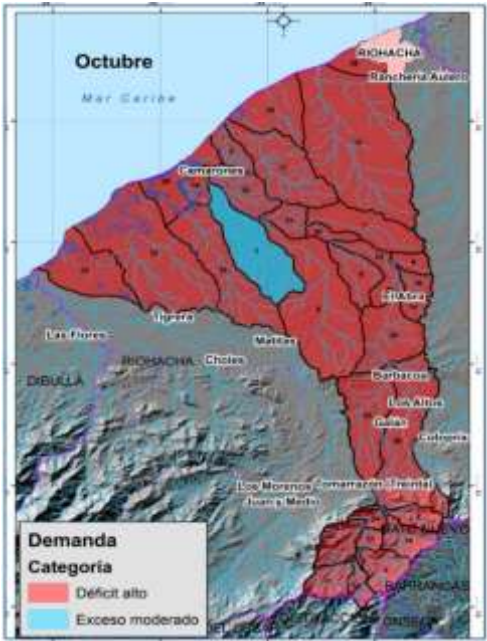


COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



<p>Relación entre demanda agrícola y forestal versus oferta hídrica subsuperficial</p> <p><i>Medidas de resiliencia relacionadas con el aprovisionamiento de agua, seguridad alimentaria, nutricional y con un enfoque de género en las comunidades de la cuenca del Río Cameroes en La Guajira afectados por efectos adversos de la variabilidad y cambio climático</i></p>	<ul style="list-style-type: none">Drenaje DobleDrenaje SencilloCentros pobladosLimite marinoMunicipiosSubcuencas	<p>WFP</p> <p>PMA</p> <p>Coordinate System: GCS MAGNA Datum: MAGNA Units: Degree</p> <p>Fuente: PMA (2018)</p>
---	---	--

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



Relación entre demanda agrícola y forestal versus oferta hídrica subsuperficial

Medidas de resiliencia relacionadas con el aprovisionamiento de agua, seguridad alimentaria, nutricional y con un enfoque de género en las comunidades de la cuenca del Río Camarones en La Guajira afectados por efectos adversos de la variabilidad y cambio climático

- Drenaje Doble
- Drenaje Sencillo
- Centros poblados
- Limite marino
- Municipios
- Subcuencas



Coordinate System: GCS MAGNA
Datum: MAGNA
Units: Degree
Fuente: PMA (2018)

Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

1.14 Análisis sobre la oferta de hídrica o de agua dulce para uso de los requerimientos de las comunidades y los ecosistemas de la cuenca del río Camarones.

En el estudio del POMCA del río Camarones y otros directos al Caribe CORPOGUAJIRA (Corpoguajira-Consorcio Wajira, 2017), en un área de 89.192, 2 ha, se obtuvo que la oferta hídrica superficial de $7.682 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a partir de mediciones indirectas, sin embargo, según el estudio del PMA (2018) registra una oferta hídrica neta superficial de aproximadamente de $2.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (6.6 millones de metros cúbicos en un año promedio) y una oferta total de $11.07 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Incluye el caudal ambiental). La oferta subterránea es de aproximadamente 2.6 millones metros cúbicos anuales; en total la oferta neta en un año normal es de aproximadamente 9.2 millones de metros cúbicos por año.

Considerando que en la cuenca hay un total de 20.496 habitantes y según HLPE, (2015) se menciona que una persona necesita mínimo de 50 a 100 litros de agua al día, es decir necesita 0.1 m^3 diarios o 36.5 m^3 anuales, por ende, la demanda de toda la población anual es 748.104 m^3 . Para poder suplir sus necesidades básicas, en la cuenca se requiere una oferta hídrica mínima promedio de $2.029,6 \text{ m}^3$ de agua diarios o 748.104 m^3 anuales, para suplir sus necesidades de consumo de la población.

Al evaluar la oferta versus demanda anualmente, esta es satisfecha, sin embargo, la oferta de agua está limitada a los periodos de lluvias que normalmente son en mayo, septiembre, octubre y parte de noviembre, en los demás meses normalmente se presenta baja o nula oferta de agua lluvia. Esta condición de que las lluvias (oferta de agua lluvia) se concentra en solo cuatro meses, sumado que en la región no se realiza un adecuado manejo de las aguas lluvias, hace que se presente un déficit de agua o escasez total de agua en los meses con bajos volúmenes de lluvia o periodos completamente secos (no se presentan lluvias). No obstante, la oferta hídrica en toda la cuenca disponible bajo condiciones de un año seco es deficitaria o casi nula en casi todo el año.

La presión de la demanda doméstica y pecuaria, respectivamente, sobre la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Camarones bajo un año normal hidrológico en promedio en toda la cuenca ejercida por la demanda doméstica y pecuaria respectivamente es del 12% y 5.3 % respecto al total del agua disponible en la superficie en un año hidrológico. Es de notar, que la presión ejercida por la demanda doméstica y pecuaria puede alcanzar el 100% en periodos secos.

La presión de la demanda doméstica sobre la oferta hídrica superficial en un año hidrológico normal (Año de referencia, calculado con el promedio entre 1981-2010), es más fuerte en los meses de enero a marzo, dado que estos meses son secos y la disponibilidad de agua baja considerablemente, en algunas subcuencas no se tiene agua disponible o no alcanza a satisfacer el requerido hídrico para uso doméstico. Bajo un año seco (año cuando se ha registrado históricamente los volúmenes de lluvia más bajos) la presión es muy fuerte en casi todo el año, siendo la cuenca baja la más expuesta y vulnerable.

Bajo un escenario normal o año hidrológico normal, la presión de la demanda pecuaria sobre la oferta hídrica superficial es mayor en la cuenca baja, especialmente en la subcuenca Arroyo Pozo Redondo, la cual la presión que ejerce la actividad pecuaria es muy alta en todo el año. Bajo un escenario seco la presión es muy alta en la cuenca, especialmente en la parte baja y media de la cuenca.

La presión de la demanda doméstica y pecuaria sobre la oferta hídrica subterránea en las cuencas del río Camarones bajo un año normal hidrológico, es mucho más fuerte en febrero, marzo y julio. Aunque en

algunas subcuencas de la cuenca baja y media, especialmente las que descarga sus aguas en las lagunas ubicadas en la cuenca baja, se ejerce una presión muy alta en casi todo el año.

ANÁLISIS DE RIESGO.

1.15 Procedimiento Metodológico

Mucho se habla del riesgo a raíz de los crecientes daños y pérdidas que han ocurrido en todos los sectores a nivel mundial, nacional y local en los últimos años, por causa de eventos severos asociados tanto a variabilidad como a cambio climático, especialmente por la variabilidad climática extrema que se ha convertido en uno de los mayores problemas, especialmente para los agricultores familiares y seguridad alimentaria en las comunidades campesinas e indígenas por ser los más vulnerables.

Los comportamientos anómalos de la lluvia, la temperatura y de otras variables climáticas, están asociadas con la variabilidad en la producción agrícola, y a la disponibilidad de agua, lo que a su vez constituye uno de los factores principales de la falta de seguridad alimentaria.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) explica el riesgo de la siguiente manera (IPCC, 2014):

$$\text{Riesgo} = f \{ \text{Amenaza, Exposición, Vulnerabilidad} \}$$

La anterior, expresión se aplicará al sector agrícola, evaluando algunos sistemas productivos de la zona, de importancia para la seguridad alimentaria o de referencia para otros cultivos.

Por tal razón, el análisis de vulnerabilidad ante impactos potenciales de un clima cambiante (Variabilidad y cambio climático), es el primer paso para iniciar un proceso de adaptación, ya que permite que tomadores de decisiones gubernamentales, institucionales y habitantes de una localidad, identifiquen respuestas en diferentes componentes (salud, fortalecimiento organizativo, ambiente, economía, política, infraestructura, prevención de desastres, entre otros) necesarias para garantizar su permanencia en el territorio a mediano y largo plazo en el marco de un clima con nuevas anomalías temporales.

La vulnerabilidad en agroecosistemas se evalúa a través la sensibilidad del sistema productivo, es decir se evaluó la reducción del rendimiento respecto a la amenaza de sequía, dado que esta es la principal amenaza que se presenta en la zona. La vulnerabilidad productiva o sensibilidad del sistema productivo se evalúa con ayuda de la herramienta de modelación Cropwat-FAO, la cual permite determinar los impactos de ocurrencia de eventos climáticos en el desarrollo y productividad de esos cultivos. De este modo será posible diferenciar la sensibilidad de cada uno de los cultivos analizados, así como de sus fases fenológicas críticas ante la ocurrencia de variaciones climáticas desfavorables.

El análisis de la exposición se realizó mediante técnicas de balances hídricos agrícolas y de balances hidrológicos regionales que permitan determinar deficiencias y excesos hídricos agrícolas y territorios evaluados, tanto en condiciones normales como de ocurrencia de eventos ENOS (El Niño, La Niña, Neutro – No presencia del fenómeno ENSO).

El proceso para la elaboración de los balances hídricos agrícolas para los cultivos priorizados fue realizado usando la metodología FAO del modelo FAO CROPWAT, donde la evapotranspiración de referencia (ET_o) se estimó a través del método FAO-PENMAN – MONTEITH, a partir de información de las variables climática, temperaturas máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}), humedad relativa (HR), Brillo solar (Br.S) y

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



velocidad del viento. Al no contar con información de esta última variable, se tomó un valor por defecto de $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, valor que es recomendado por FAO, según las condiciones climáticas de la zona de estudio.

Los módulos del modelo se construyeron de la siguiente manera:

Módulo Clima: Inicialmente se consolidó la mayor cantidad de información confiable del conjunto de datos de las variables climáticas (escala mensual) disponibles de la estación representativa de la zona de trabajo, la cual es perteneciente a la red nacional administrada por el IDEAM, y datos estimados de satélite. En este contexto se consideraron cuatro escenarios climáticos de referencia bajo estudio.

Período “normal” según series climáticas (Promedio 1981 a 2010) en escala mensual, la cual tiene como objeto describir las características sumarias del clima con los valores históricos promedios multianuales, de acuerdo con los procedimientos del Documento Técnico WMO-TD/Nº 341 (OMM, 1989).

Periodo El Niño: Se identificó a partir de la serie climatología entre 1981 a 2016, con presencia del ENSO Fase El Niño.

Periodo La Niña: Se identificó a partir de la serie climatología entre 1981 a 2016, con presencia del ENSO Fase La Niña.

Periodo Neutro: Se identificó a partir de la serie climatología entre 1981 a 2016, cuando no estaba presente el fenómeno ENSO Fase El Niño o La Niña, es decir se realiza un promedio de los meses cuando no estuvo presente el fenómeno ENSO (Fase El Niño y La Niña). Este escenario se diferencia del Normal climatológico, dado que el periodo Normal se construye entre 1981 a 2010 y toma todos los meses incluidos los que fueron ENSO.

Para todos los escenarios climáticos bajo análisis se estimó con la ETo, con base en información histórica de las variables climáticas.

Módulo de precipitación: Se estimó la precipitación efectiva a través de la metodología recomendada por la “United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service” (USDA/SCS). La precipitación efectiva es aquella fracción de la precipitación total que puede ser potencialmente aprovechada por las plantas. Depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación, pendiente del terreno, contenido de humedad del suelo y velocidad de infiltración, entre otros.

Módulo de cultivo: Este módulo se ajustó con información de FAO, documentos 33 (FAO, 1979) y 56 (FAO, 1996), estudios de la serie de Riego y Drenaje. Así mismo se consideró el cultivo de pastura “nativa” como un cultivo modal o de referencia para analizar agroclimáticamente otros cultivos de la zona.

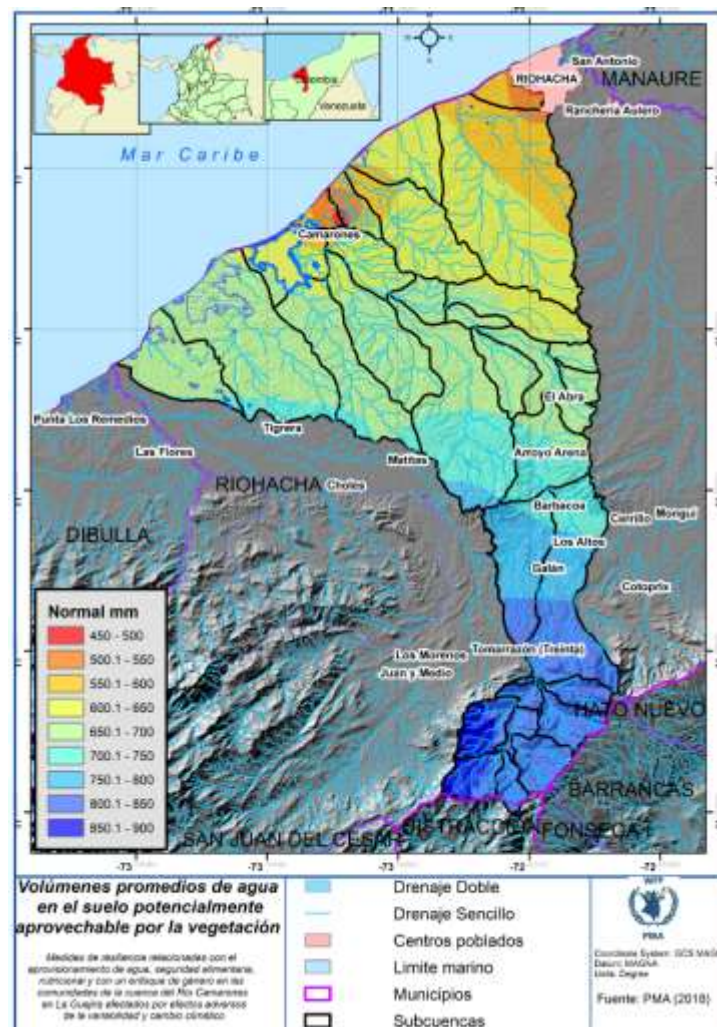
Módulo de Suelo: Este módulo se construyó con base en información edáfica reportada en el estudio de suelo para departamento a escala 1:100.000 realizado por el IGAC, donde se seleccionó el perfil modal de la unidad cartográfica representativa de la zona de interés (IGAC, 2007). La información de parámetros hidro-físicos faltantes se estimó a partir de la textura usando modelos de pedotransferencia, como “Soil Water Characteristics-Hydraulic Properties Calculator” (Saxton, 2009).

1.16 Agua aprovechable en el suelo

En las Figura 34 y Figura 35 se presenta el agua aprovechable acumulada anual en la capa vegetal del suelo, que potencialmente puede ser usada en cultivos, forestales y vegetación nativa en la cuenca del río Camarones, bajo un escenario normal climatológico, de exceso (año lluvioso) y deficitario (año con bajos volúmenes mensuales de lluvia).

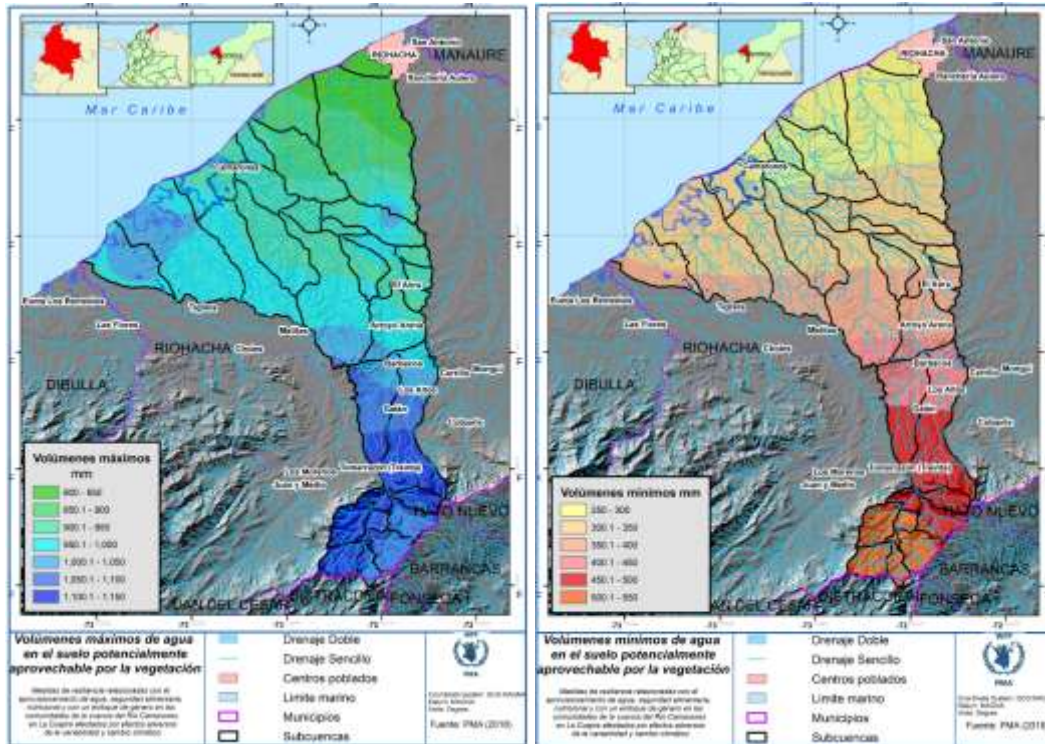
En dichas figuras, se aprecia que la cuenca baja, normalmente presenta bajos volúmenes de agua acumulados en la capa vegetal del suelo, esta situación es más crítica bajo un escenario de año seco. En un año lluvioso se presentan condiciones favorables para el desarrollo y establecimiento de cultivos en la cuenca baja y media. En la cuenca alta puede presentarse en algunos meses condiciones de excesos hídricos. Esto puede ocasionar problemas de movimientos en masa en esta parte de la cuenca e influenciar inundaciones en la cuenca media y baja.

Figura 34: Agua aprovechable (Milímetros) para la agricultura, forestal en la cuenca del río camarones, bajo un escenario normal.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

Figura 35: Agua aprovechable (milímetros) para la agricultura, forestal en la cuenca del río camarones, bajo un escenarios exceso y deficitarios.



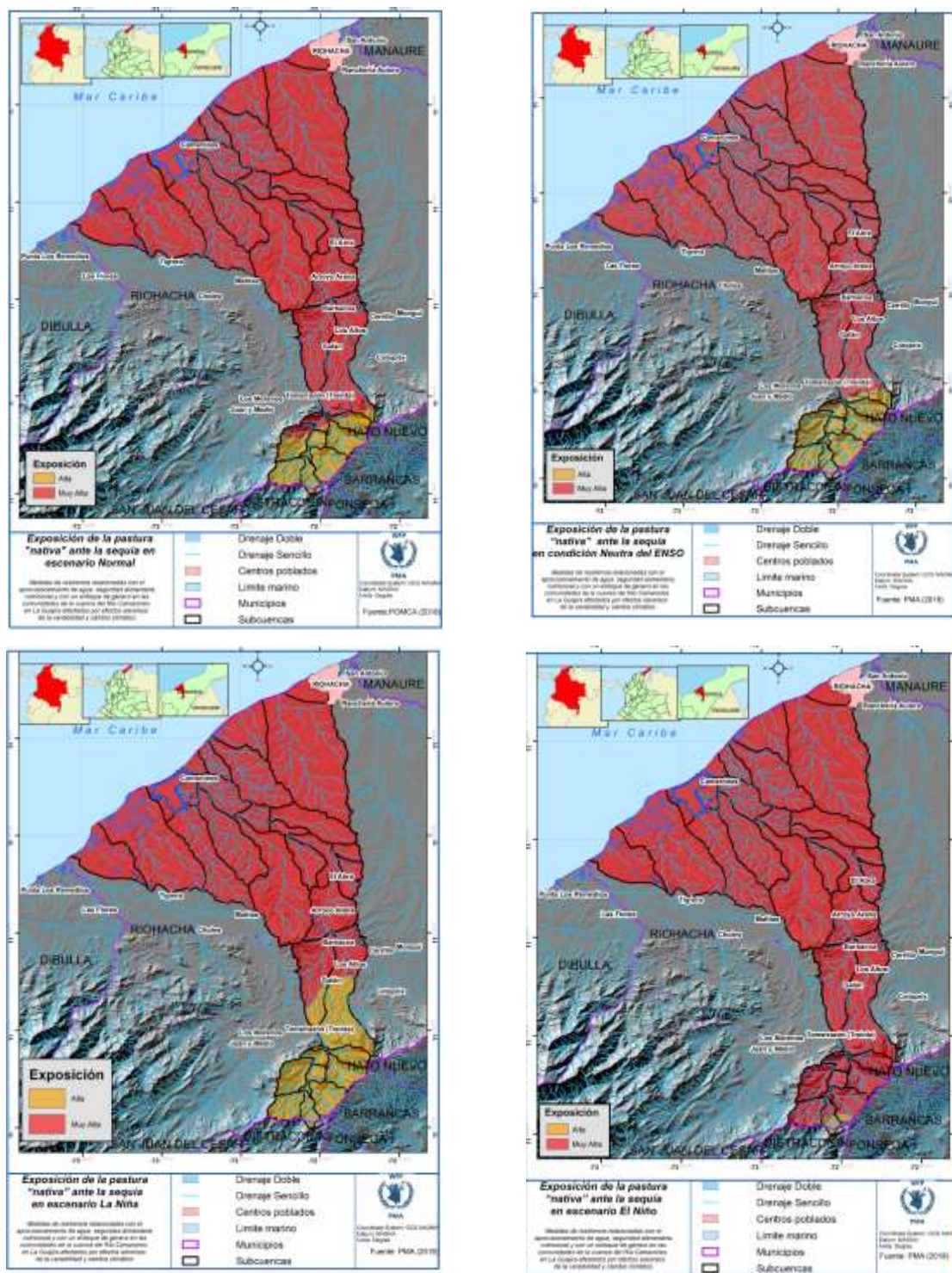
Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

1.17 Análisis de riesgo agrícola

En las Figuras 36,37,38,39, 40,41,42,43 se presentan la exposición y vulnerabilidad productiva a través de indicadores para los principales sistema productivo agrícolas (pastura nativa, yuca, maíz criollo) de importancia para la seguridad alimentaria en la cuenca del río camarones ante amenaza de sequía bajo escenarios normal, El Niño, La Niña y Neutro del fenómeno.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

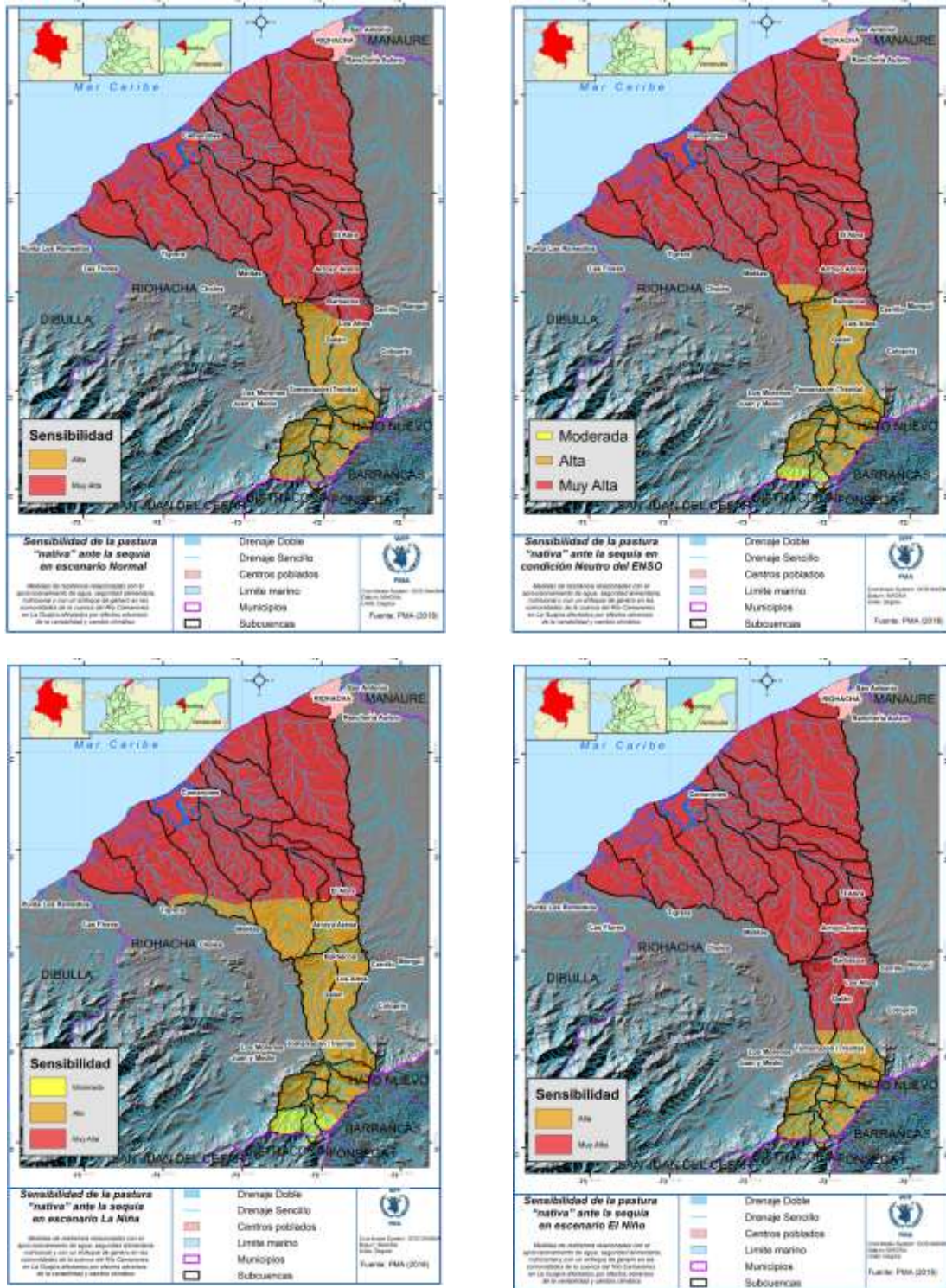
Figura 36: Exposición de las pasturas en la cuenca del río camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

Figura 37: Vulnerabilidad del sistema productivo del cultivo de pasturas en la cuenca del río camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



En la cuenca normalmente el desarrollo del forraje de la pastura está altamente expuesto con una alta vulnerabilidad productiva ante la presencia de la amenaza de sequía, afectando la producción ganadera y por ende la seguridad alimentaria de las comunidades. Esta condición es mucho más fuerte bajo condición de El Niño y menos fuerte bajo fase La Niña de fenómeno ENSO.

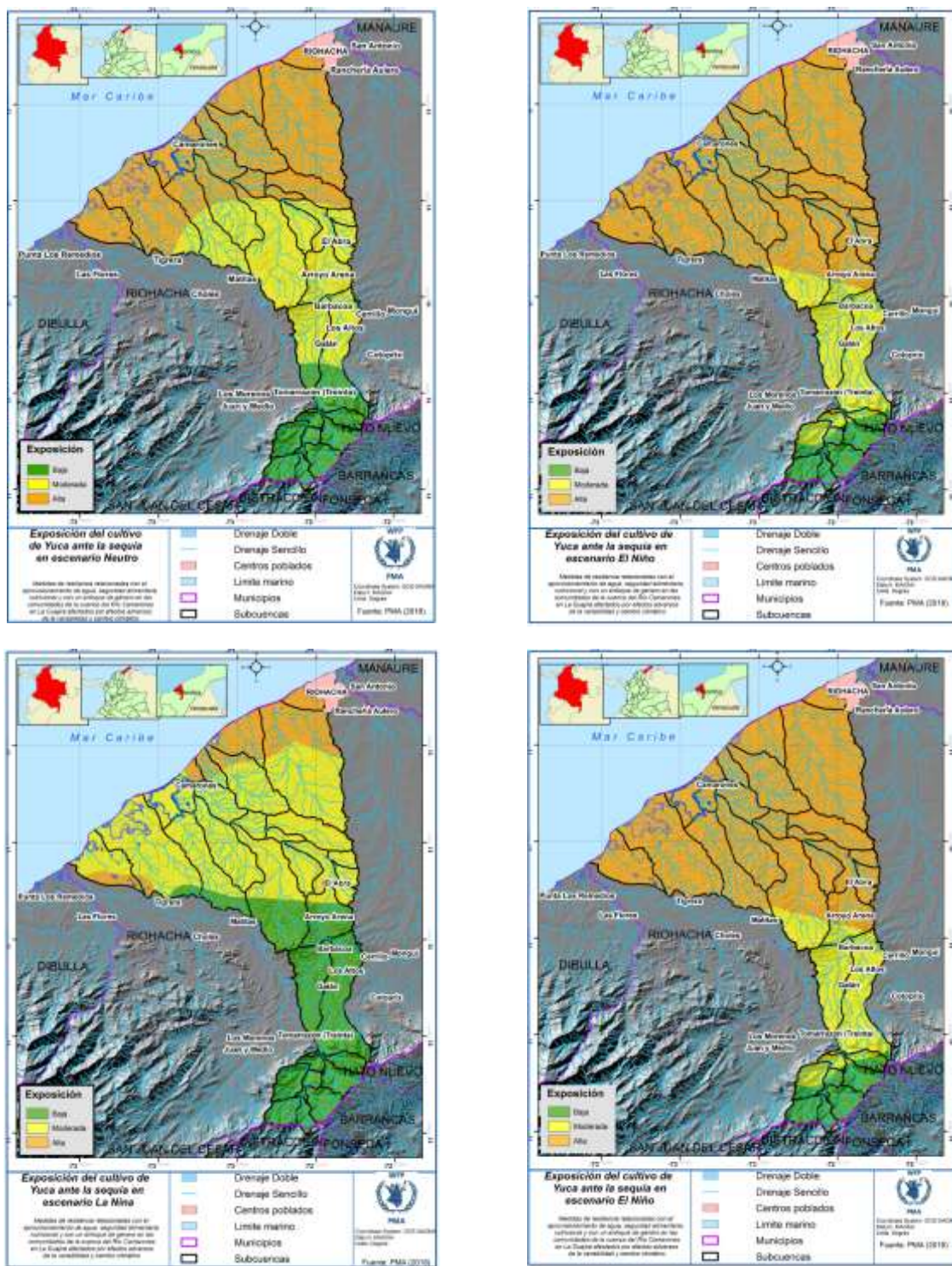
Es importante aclarar que, aunque la zona este bajo la influencia del ENSO, fase La Niña, la amenaza ante sequía persiste, dado que la influencia de dicha fase del fenómeno es fortalecer procesos de nubosidad. Pero su influencia depende en que tan fuerte es el fenómeno, como se acopla con procesos océano-atmosféricos que se presentan en el océano Pacífico y que tan fuerte es su conexión con los fenómenos que se presentan en el Océano atlántico.

En resumen, no se debe entender Fenómeno La Niña como un sinónimo de condiciones excesivas de lluvias, de igual forma “El Niño”, no es sinónimo de sequía. Además, este fenómeno tanto fase La Niña como El Niño tiene su condición más fuerte entre diciembre a enero, meses que son climatológicamente secos en la región.

En conclusión, el riesgo climático debido amenazas de sequía en la producción ganadera, analizado desde la disponibilidad de forraje para su establecimiento es muy alto. La disponibilidad de alimento para el ganado bobino o caprino es limitado en los periodos de lluvia, los cuales son muy cortos en el año, y gran parte del año presenta déficit hídrico.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

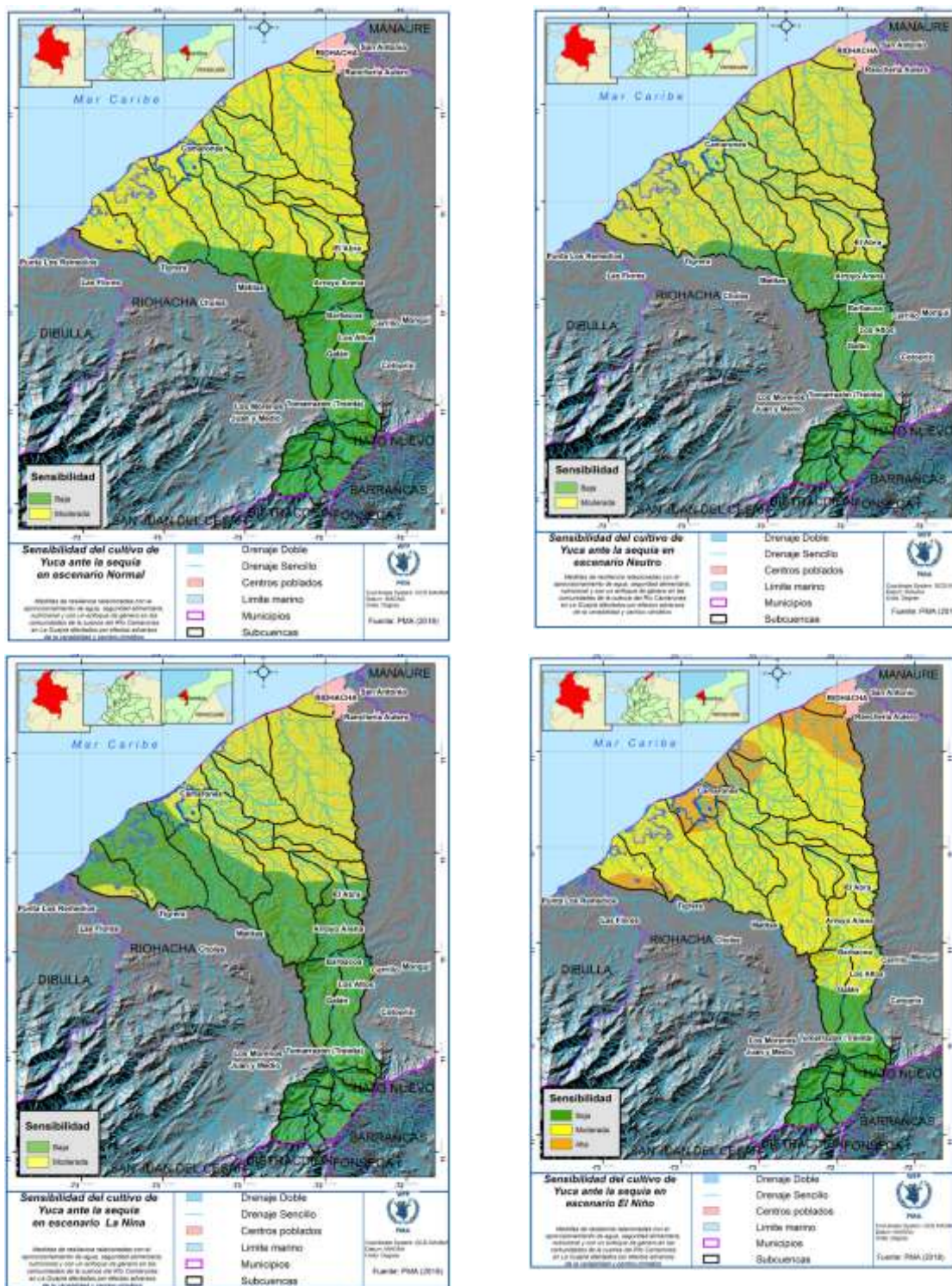
Figura 38: Exposición del cultivo de yuca en la cuenca del río camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

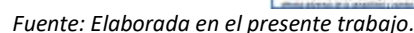
COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

Figura 39: Vulnerabilidad del sistema productivo del cultivo de yuca en la cuenca del río camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos



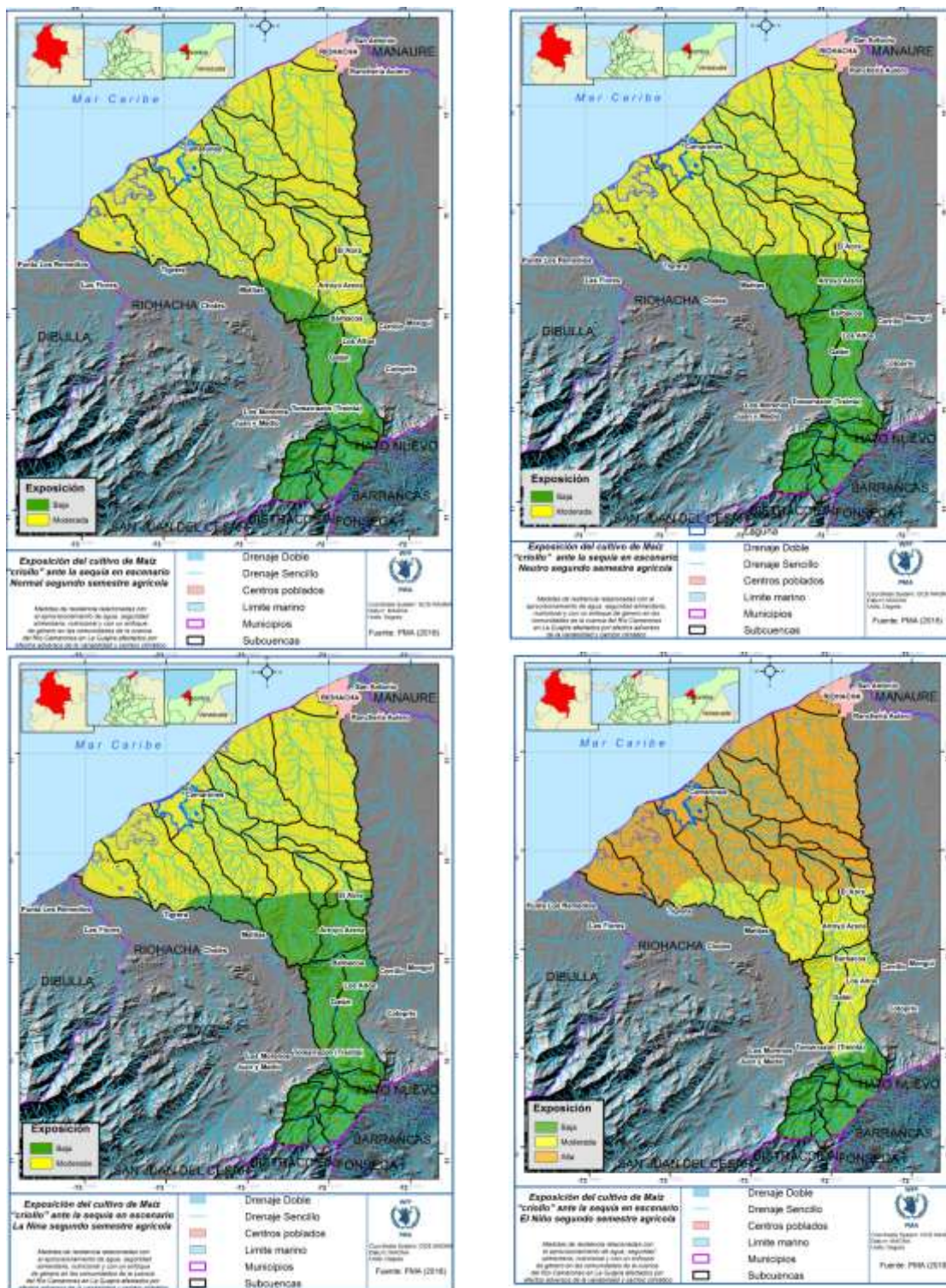
Fuente: Elaborada en el presente trabajo

Figura 40: Exposición del cultivo de maíz en el primer semestre agrícola en la cuenca del río camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.



COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

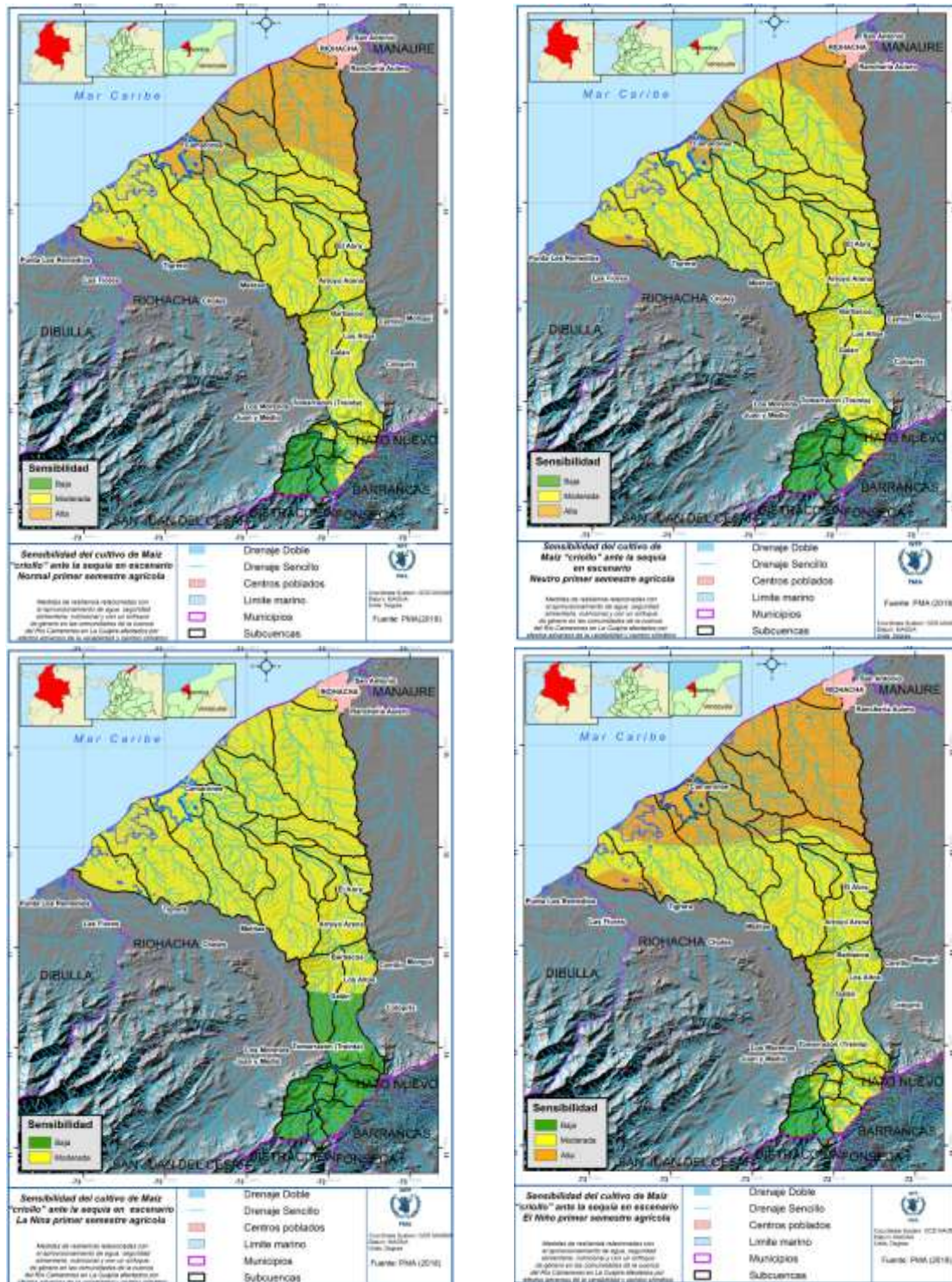
Figura 41: Exposición del cultivo de maíz en el segundo semestre agrícola en la cuenca del río camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

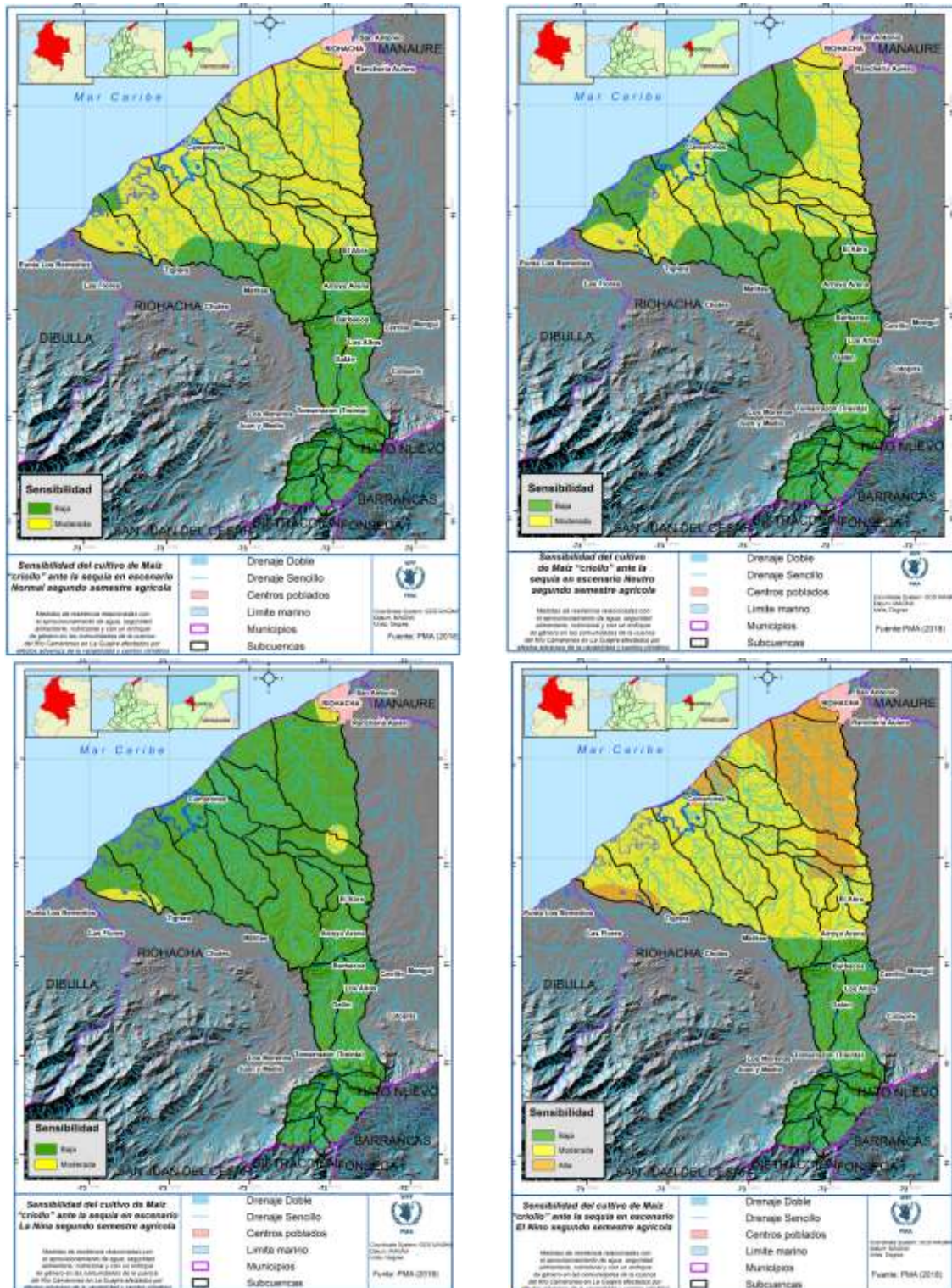
Figura 42: Vulnerabilidad del sistema productivo del cultivo de maíz en el primer semestre agrícola en la cuenca los camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO

Figura 43: Vulnerabilidad del sistema productivo del cultivo de maíz en el segundo semestre agrícola en la cuenca del río camarones ante amenaza de sequía bajo varios escenarios climáticos.



Fuente: Elaborada en el presente trabajo.

Normalmente el cultivo de maíz en el primer semestre agrícola del año está altamente expuesto con una alta vulnerabilidad productiva ante la presencia de la amenaza de sequía, especialmente en la cuenca baja y media. Esta condición es mucho más fuerte bajo condición de El Niño y menos fuerte bajo fase La Niña de fenómeno ENSO. En el segundo semestre, aunque está altamente expuesto a la presencia del evento de sequía, la vulnerabilidad productiva es entre alta y muy alta bajo escenario El Niño, siendo la cuenca baja la más vulnerable.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuenca media y alta presentan una tendencia positiva al incremento de la precipitación acumulada anual, con una tasa de incrementos de 5.4 y 10.5 mm*año⁻¹, respectivamente. En cambio, la cuenca baja presenta una tendencia negativa con una tasa de disminución de 1.4 mm*año⁻¹.

En toda la cuenca observa una tendencia a incrementar los eventos extremos de sequía y lluvias torrenciales. Así como al incremento de la temperatura del aire, lo que aumentará la demanda hídrica de las plantas, animales y seres humanos, afectando también su disponibilidad.

El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en Ingles), presenta una influencia en los patrones de precipitación y temperatura. Este fenómeno en la fase El Niño (Condición cálida), tiende a disminuir los volúmenes de lluvias mensuales e incrementar eventos extremos de sequías, aunque en algunos años se han registrados lluvias extremas, como en el año 1979, que registro lluvias anuales sobre lo normal. En cambio, bajo la fase La Niña (Condición fría), se presenta una tendencia a incrementar el volumen mensual, así como las lluvias torrenciales.

Todas las partes de la cuenca están altamente expuesta a los efectos de los eventos de sequía especialmente, además el grado de amenaza que se presente este evento es muy alta, principalmente bajo la influencia de la variabilidad y cambio climático.

Los resultados climáticos en el POMCA difieren con los encontrados en el presente trabajo, debido a que usaron 14 años (incluyendo el periodo 2010-2011 que fue muy lluvioso, generando una engañosa oferta hídrica bajo condiciones normales) y no el periodo de 30 años (1981-2010), recomendado por la Organización de Meteorología Mundial-OMM e IDEAM. Dicha normal climática afecta los cálculos de la oferta hídrica, estimando valores más altos tanto para el año normal hidrológico como en para el año seco, dado que los periodos más secos se presentaron en años que no fueron tenidos en cuenta.

En el periodo 1991-2000 se presentó un avance de la desertificación debido a la disminución en el volumen anual de precipitación. En el periodo 2000-2010, se presentó un retroceso dado que fue una década lluviosa en la zona, pero en los últimos años se está presentando un avance en la desertificación, dado que los últimos tres (3) años se han registrados volúmenes de precipitación bajo lo normal. La zona presenta una alta amenaza y exposición ante este fenómeno, siendo en la cuenca baja muy alta.

Bajo cualquier escenario climático la cuenca alta tiene la mayor disponibilidad hídrica en el suelo, en cambio la cuenca baja la menor, presentándose en esta parte una exposición muy alta por disponibilidad hídrica en el suelo para fines de los cultivos, árboles y los ecosistemas.

En el área de trabajo normalmente el sector agrícola, pecuario y doméstico presenta una alta exposición y vulnerabilidad ante la amenaza de sequía, esta condición es mucho más fuerte bajo condición El Niño y menor, aunque no se reduce bajo La Niña.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



La presión de la demanda doméstica sobre la oferta hídrica superficial en un año hidrológico normal (Año de referencia, calculado con el promedio entre 1981-2010), es más fuerte en los meses de enero a marzo, dado que estos meses son secos, y la disponibilidad de agua baja considerablemente, en algunas subcuencas no se tiene agua disponible o no alcanza a satisfacer el requerida hídrico para uso doméstico. Bajo un año seco (año cuando se ha registrado históricamente los volúmenes de lluvia más bajos) la presión es muy fuerte en casi todo el año, siendo la cuenca baja la más expuesta y vulnerable.

Bajo un escenario normal o año hidrológico normal, la presión de la demanda pecuaria sobre la oferta hídrica superficial es mayor en la cuenca baja, especialmente en la subcuenca Arroyo Pozo Redondo, la cual la presión que ejerce la actividad pecuaria es muy alta en todo el año. Bajo un escenario seco la presión es muy alta en la cuenca, especialmente en la parte baja y media de la cuenca.

En la cuenca existe una oferta hídrica anual que satisface la demanda anual, sin embargo, dicha oferta de agua está limitada a los periodos de lluvias que normalmente son en los meses de mayo, septiembre, octubre y parte de noviembre, en los demás meses normalmente se presenta baja o nula oferta de agua lluvia. Esta condición de que las lluvias (oferta de agua lluvia) se concentra en solo cuatro meses, sumado que en la región no se realiza un adecuado manejo de las aguas lluvias, hace que se presente un déficit de agua o escasez total de agua en los meses de bajos volúmenes de lluvia o periodos totalmente secos.

La amenaza climática que presenta mayor impacto sobre la cantidad de la oferta hídrica en la cuenca es la sequía la cual se presenta muy frecuentemente y con duración que puede alcanzar varios meses, hasta 8 meses con sequía severa (muy baja disponibilidad de agua).

El riesgo agroclimático es muy alto, debido a la amenaza de sequía es muy recurrente en la cuenca, lo que no permite que se presente un adecuado desarrollo de cultivos anuales o perennes, especialmente en la cuenca baja y media. Afectando la producción ganadera y por ende la seguridad alimentaria de las comunidades.

Se recomienda la evaluación de la viabilidad de establecer cultivos de ciclo cortos como maíz, frijol, melón, entre otros los cuales se espera una baja exposición ante amenazas de sequía y su vulnerabilidad productiva este entre baja a moderada.

Propuestas de intervención recomendadas

Perfil de proyecto sistemas de riego a pequeña escala.

NOMBRE DE LA MEDIDA		Sistemas de riego a pequeña escala.
OBJETIVO	Implementar sistemas eficientes de riego a pequeña escala, según el contexto local, con el fin de adaptarse antes eventos extremos asociados a la variabilidad y cambio climático y asegurar seguridad alimentaria.	
DESCRIPCION GENERAL		
La medida consiste en el diseño e implementación de un sistema de riego a pequeña escala, como estrategia de adaptación ante el impacto del estrés hídrico bajo un contexto de clima cambiante, liderada por las entidades educativas de la zona. Esta medida se concreta mediante las siguientes actividades generales:		
<ul style="list-style-type: none">➤ Evaluar y adecuar los reservorios hídricos para el almacenamiento de agua lluvias, para fines de riego.➤ Diseñar e implementar sistemas de riego a pequeña escala, según las perspectivas agroeconómicas y ambientales de la zona.		

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



<ul style="list-style-type: none"> ➤ Evaluar indicadores que ayuden a definir cuándo y cuánta agua aplicar en el riego según el arreglo del sistema productivo agrícola. ➤ Evaluar e implementar riego deficitario, según los requerimientos hídricos del sistema agropecuario, para optimizar el agua disponible sin sacrificar el rendimiento (épocas sensibles y críticas del cultivo). ➤ Implementar escuelas de campo donde jóvenes, hombres y mujeres campesinas e indígenas, así como técnicos locales aprenden haciendo, temáticas sobre manejo y uso adecuado y eficiente del recurso hídrico, por ejemplo, a través del diseño e implementación de sistemas de riego intra-predial. 	
PROBLEMAS QUE SE ESPERAN RESOLVER CON LA IMPLEMENTACION DE LA MEDIDA	RESULTADOS ESPERADOS
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de almacenamiento de agua baja, y no es sostenible para un sistema de riego a pequeña escala. • Las comunidades no tienen capacidades técnicas para un manejo adecuado y eficiente del agua. • Riesgo de pérdida de la seguridad alimentaria y bajos ingresos por venta de excedentes. 	RESULTADO ESPERADO 1
	Instalación de sistemas de riego a pequeña escala, para disminución de la vulnerabilidad y riesgo agroclimático
	RESULTADO ESPERADO 2
	Fortalecimiento de las capacidades productivas y seguridad alimentaria
DURACION DEL PROYECTO	VALOR TOTAL DEL PROYECTO ¹
18 meses	COP \$ 200.000.000

Perfil de proyecto Sistemas de Cosecha de Agua Lluvia.

TÍTULO DE LA MEDIDA:		COSECHA DE AGUA LLUVIA.
Objetivo		Implementar alternativas de cosecha de agua lluvia que ayuden a enfrentar efectos negativos en períodos de eventuales lluvias escasas.
DESCRIPCION GENERAL		
Una de las soluciones para hacer frente a la escasez de agua es el aprovechamiento eficiente del agua de lluvia, tradición milenaria que se practica desde hace 5000 años. Esta medida consiste en recolectar y utilizar el agua de lluvia que se descarga de las superficies duras, como los techos o el escurrimiento de suelos. Esta medida se concreta mediante las siguientes actividades generales:		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Implementar tres sistemas de cosecha de agua, aprovechar las cubiertas de las viviendas para recolectar el agua lluvia por gravedad. ➤ Identificar las viviendas según características de los techos o adecuarlos ➤ Capacitar a la comunidad en la operación y mantenimiento del sistema. ➤ Socializar mediante exposición a la comunidad de la medida implementada para asegurar la apropiación, sostenibilidad y difusión de la medida. ➤ Hacer seguimiento y evaluación de la medida. 		
PROBLEMAS QUE SE ESPERAN RESOLVER CON LA IMPLEMENTACION DE LA MEDIDA	RESULTADOS ESPERADOS	

¹ Costos aproximados. No incluye contrapartidas, operación del proyecto, información secundaria, coordinación y otros gastos que puede incurrir en el transporte de los materiales.

COMPONENTE CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO



<ul style="list-style-type: none"> • Depender directamente de la cantidad de precipitación presentada en la zona. • La instalación de sistemas adecuados representa una inversión inicial que tarda unos años en amortizarse. • Se debe tener cuidado con posible contaminación del agua por materia orgánica o animales, razón por la que debe pasar por un proceso de limpieza antes de ser almacenada en un lugar seguro y bien cerrado. • Aunque en algunos lugares se considere como agua potable, no es recomendable, ya que depende de las condiciones de cada lugar y de los lugares por los que escurre 		<ul style="list-style-type: none"> • Agua reservada para uso, domestico, agrícola y/o pecuario
DURACION DEL PROYECTO	VALOR TOTAL DEL PROYECTO²	
4 meses	COP \$ 200.000.000	

Perfil de proyecto sistemas Participativos de Alertas Hidroclimáticas Tempranas.

NOMBRE DE LA MEDIDA		SISTEMAS PARTICIPATIVOS DE ALERTAS HIDROCLIMÁTICAS TEMPRANAS.
OBJETIVO	Diseñar e implementar un sistema participativo de alertas hidroclimáticas tempranas, según análisis y perfiles de las condiciones climáticas históricas, recientes y futuras de modo participativo con actores locales relevantes.	
DESCRIPCION GENERAL		
La medida se concentra en la evaluación, diseño y uso de sistemas participativos de alertas hidroclimáticas tempranas, como una herramienta para la optimización de programas de gestión del riesgo, así como para la toma de decisiones en la planificación de las actividades agrícolas y pecuarias a través de información local del clima monitoreada y pronosticada con técnicas científicas y saberes ancestrales.		
DURACION DEL PROYECTO		VALOR TOTAL DEL PROYECTO ³
18 meses		COP \$ 300.000.000

² Costos aproximados. No incluye contrapartidas, operación del proyecto, información secundaria, coordinación y otros gastos que puede incurrir en el transporte de los materiales.

³ Costos aproximados. No incluye contrapartidas, operación del proyecto, información secundaria, coordinación y otros gastos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar , A., Auer , I., Brunet , M., Peterson , T., & Wierin. (2012). *Guidance on metadata and homogenization*. Von <http://ebookbrowse.com/guidance-on-metadata-and-homogenization-doc-d423424641> abgerufen
- Banco Mundial. (30. 3 2018). *Banco Mundial*. Von <http://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/15/water-resources-management-results-profile> abgerufen
- Benavides, H., Mayorga, R., & Hurtado, G. (2007). *ANÁLISIS DE INDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS PARA COLOMBIA USANDO EL RCLIMDEX*. Bogotá: NOTA TÉCNICA DEL IDEAM.
- Boshell. (2012). *Curso de posgrado de Agrometeorología*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Boshell, J., León , G., & Peña , A. (2011). *Metodologías para generar y utilizar información meteorológica: A nivel subnacional y local frente al cambio climático. Serie Manuales / Manual N°4. Programa AACC*.
- CENAPRED. (2017). *Busca ciclones versión 3.0. . México: SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES .*
- Corpoguajira-Consorcio Wajira. (2017). *Ajustar y/o Actualizar los Planes de Ordenación y . Bucaramanga*.
- CPC NOAA. (1. Diciembre 2017). *NOAA's Climate Prediction Center*. Von El Niño Southern Oscillation: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml abgerufen
- Díaz. (2014). *Diagrama de flujo, del cálculo y determinación de la lámina de riego*. Bogotá.
- Emaze. (15. 12 2017). *Emaze Presentation*. Von <https://www.emaze.com/@AILRZZCT/Presentation-Name> abgerufen
- ETCCDI. (1. 12 2017). *Climate Change Indices - ETCCDI*. Von <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml> abgerufen
- FAO. (1979). *Documento 33. Serie Riego y Drenaje. Efectos del agua sobre los rendimientos de los cultivos*. ROMA: FAO.
- FAO. (1996). *Allen, R., Luis S., P., Raes, D., & Smith, M. Evapotranspiración del Cultivo. Documento FAO 56. Serie Riego y Drenaje*. Roma: FAO.

- IDEAM. (2007). *ANÁLISIS DE INDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS PARA COLOMBIA USANDO EL RCLIMDEX. NOTA TÉCNICA DEL IDEAM. IDEAM–METEO/007-2007.* . Bogotá D.C.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP y CANCELLERIA. (2015). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Cancillería.* Von Primer informe bienal de actualización de Colombia:
http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023422/Primer_Informe_Bienal.pdf abgerufen
- IGAC. (2007). *Estudio general de suelos y zonificación de Tierras. Departamento de La Guajira.* Bogotá: IGAC.
- IGAC, IDEAM, MADAT. (2010). *PROTOCOLO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE SUELOS Y TIERRAS POR DESERTIFICACIÓN* . Bogotá D.C.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).* United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, .
- IPPC. (2014). *Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report. Food Security and Food Production Systems. WGII AR5 Chapter 7.* . <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.
- Karl, T. N. (1999). *Workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. Climatic Change,*. CLIVAR/GCOS/WMO.
- León, G. (17. 06 2013). Metodología para el control de calidad de los datos meteorológicos. *Taller CORPOICA.*
- León, G. J. (2000). Circulación general del trópico y la Zona de Confluencia Intertropical en Colombia. *Meteorología Colombiana No 1.*
- León, G. J. (2001). Ondas del este en Colombia y algunos aspectos relevantes de los ciclones tropicales Colombia. *Meteorología Colombiana No 3*, 137-141.
- Montealegre. (1999). *La influencia de los procesos de interacción océano-atmósfera del Pacífico tropical y el Atlántico en la variabilidad interanual de la precipitación en Colombia. Tesis de M.Sc. en Meteorología.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Montealegre. (2009). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. Informe final de las actividades desarrolladas en el marco del contrato de prestación de servicios No IDEAM 022 - 2009.* Bogotá: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM.
- Montealegre, E. (2012). *Análisis de la variabilidad climática inter-anual (El Niño y La Niña) en la Región Capital, Bogotá Cundinamarca.* . Bogotá-Colombia: PRICC.

- Montealegre, J. (2010). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia, asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala.* . Bogotá: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. Subdirección de Meteorología.
- NOAA. (20. 11 2017). *Climate Prediction Center - NOAA.* Von <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml> abgerufen
- OMM. (1989). *Calculation of monthly and annual 30-year standard normals. Geneva, Technical document, Nº 341; WCDP, Nº 10.* Ginebra: OMM.
- Peterson, T. (2005). *Climate Change Indices.* . WMO Bulletin.
- Saxton, R. (2009). *Soil Water Characteristics-Hydraulic Properties Calculator.* <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>. Washington: United States Department of Agriculture (USDA) and Washington State University.
- SENA. (30. 03 2018). *Curso: PROGRAMA DE CAPACITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO.* Von http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html# abgerufen
- Sistemajpii. (30. 03 2018). *AGUAS SUBTERRÁNEAS DE VENEZUELA.* Von <http://sistemajpii.blogspot.com.co/2011/06/aguas-subterraneas-de-venezuela.html> abgerufen
- Surf & Ski. (30. 11 2017). *Surf & Ski.* Von <https://surf.tike10.com/zona-convergencia-intertropical/> abgerufen
- WMO. (2007). *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante WCDMP-Nº 61, OMM-TD Nº. 1377.*