

INFORME DE FINAL DE CONSULTORÍA

ESTADO ACTUAL DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS LA VILLA (128), SANTA MARÍA (132) Y GRANDE (134)

CONSULTORÍA

PARA DETERMINAR EL CAUDAL AMBIENTAL EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS CHIRIQUÍ VIEJO (102) Y CHIRIQUÍ (108) Y EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA (OFERTA Y DEMANDA HIDROLÓGICA) DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS LA VILLA (128), SANTA MARÍA (132) Y GRANDE (134).



CATHALAC
CIENCIA, EDUCACIÓN Y POLÍTICAS PARA LA GENTE



A faint, circular map of Costa Rica is visible in the background. It shows the outlines of the provinces: Limón, San José, Cartago, Puntarenas, Heredia, Alajuela, Guanacaste, San Carlos, Guanacaste, San José, Puntarenas, Limón, and Talamanca. Specific regions like Comarca Ngöbe Bugle and Veraguas are also labeled.

Informe Final de Consultoría

Estado actual de la disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas de los ríos La Villa (128), Santa María (132) y Grande (134)

Enero 2018

Consultoría

PARA DETERMINAR EL CAUDAL AMBIENTAL EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS CHIRIQUÍ VIEJO (102) Y CHIRIQUÍ (108) Y EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA (OFERTA Y DEMANDA HIDROLÓGICA) DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS LA VILLA (128), SANTA MARÍA (132) Y GRANDE (134).

Presentado por:

Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe

(CATHALAC)

Ministerio de Ambiente

Emilio Sempris

Ministro

Víctor Gómez

Kathia Mojica

Dirección de Gestión Integrada de Cuenca Hidrográficas

Ana Cristina Nicosia

Coordinadora Procuencas

Nadda Fernández

Enlace Procuencas

Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe CATHALAC

Freddy Picado Traña

Director

Alexis Vega

Coordinador Administrativo

Octavio Smith

Coordinador Técnico

Colaboradores principales

Balance Hídrico, disponibilidad de agua (análisis de oferta y demanda), índice de escasez

Octavio Smith

José María Guardia

Lyanne Salazar

Edición y revisión

Cristina Tedman

Jazmín Santiago

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVO GENERAL	11
2.1. Objetivos específicos	11
3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	12
3.1. Características físicas	12
3.1.1. Ubicación	12
3.1.2. Clima	14
3.1.3. Geología	17
3.1.4. Capacidad agrológica de los suelos	20
3.2. Aspectos socioeconómicos	23
4. METODOLOGÍA	30
4.1. Herramienta SWAT	30
4.2. Datos de entrada del modelo	32
4.2.2. Cuenca del río Santa María	36
4.2.3. Cuenca del río Grande	39
4.3. Análisis de la demanda interna y externa	43
4.3.1. Cuenca del río La Villa	44
4.3.2. Cuenca del río Santa María	48
4.3.3. Cuenca del río Grande	51
4.4. Calibración del modelo	54
5. RESULTADOS	74
5.1. Balance hídrico	74
5.1.1. Cuenca del río La Villa	74
5.1.2. Cuenca del río Santa María	75
5.1.3. Cuenca del río Grande	76
5.2. Disponibilidad de agua	77
5.2.1. Cuenca del río La Villa	77
5.2.2. Cuenca del río Santa María	80
5.2.3. Cuenca del río Grande	83
5.3. Índice de escasez de agua	86
5.4. Potenciales áreas de recarga hídrica	91
5.4.1. Áreas potenciales de recarga hídrica en la cuenca del río La Villa	93

5.4.2. Áreas potenciales de recarga hídrica en la cuenca del río Santa María	94
5.4.3. Áreas potenciales de recarga hídrica en la cuenca del río Grande	96
6. CONCLUSIONES.....	98
7. BIBLIOGRAFÍA	100
8. ANEXOS.....	101
Anexo 1 .Taller de validación de datos de entrada (lista de asistencia, memoria y fotos)	102
Anexo 2 .Taller de validación de resultados (lista de asistencia, memoria y fotos).....	110
Anexo 3 .Potenciales áreas de recarga hídrica según pendiente, uso de suelo y tipo de suelo.	116

Figuras

Figura 1. Ubicación del área de estudio.	12
Figura 2. Red hidrográfica y áreas protegidas del área de estudio.	13
Figura 3. Tipos de clima según Mckay del área de estudio.	15
Figura 4. Climograma – Cuenca del río La Villa.	16
Figura 5. Climograma – Cuenca del río Santa María.	17
Figura 6. Climograma – Cuenca del río Grande.	17
Figura 7. Geología del área de estudio.	18
Figura 8. Capacidad agrológica del área de estudio.	22
Figura 9. Distribución de la población por corregimiento – cuenca del río La Villa.	23
Figura 10. Densidad de población (habitantes/km ²) por corregimiento – cuenca del río La Villa.....	24
Figura 11. Viviendas por corregimiento en la cuenca del río La Villa.....	25
Figura 12. Distribución de la población por corregimiento – cuenca del río Santa María.....	25
Figura 13. Densidad de población (habitantes/km ²) por corregimiento – cuenca del río Santa María.....	26
Figura 14. Viviendas por corregimiento en la cuenca del río Santa María.....	27
Figura 15. Distribución de la población por corregimiento – cuenca del río Grande.	27
Figura 16. Densidad de población (habitantes/km ²) por corregimiento – cuenca del río Grande.	28
Figura 17. Viviendas por corregimiento en la cuenca del río Grande.	28
Figura 18. Insumos ingresados al modelo SWAT- Cuenca del río La Villa.	33
Figura 19. Mapa de estaciones meteorológicas utilizadas y promedio anual de lluvia en la cuenca del río La Villa.	35
Figura 20. Insumos ingresados al modelo SWAT- Cuenca del río Santa María.	36
Figura 21. Mapa de estaciones meteorológicas utilizadas y promedio anual de lluvia en la cuenca del río Santa María.....	39
Figura 22. Insumos ingresados al modelo SWAT- Cuenca del río Grande.....	40
Figura 23. Mapa de estaciones meteorológicas utilizadas y promedio anual de lluvia en la cuenca del río Grande.	43
Figura 24. Clasificación de demanda de agua en la cuenca del río La Villa.....	45
Figura 25. Demanda anual por subcuenca en millones de metros cúbicos (Mm ³) en la cuenca del río La Villa	45
Figura 26. Demanda de agua en la cuenca del río La Villa.	47

Figura 27. Clasificación de demanda de agua en la cuenca del río Santa María.....	48
Figura 28. Demanda anual por subcuenca en millones de metros cúbicos (Mm ³) en la cuenca del río Santa María.	49
Figura 29. Demanda de agua de la cuenca del río Santa María.....	50
Figura 30. Clasificación de demanda de agua en la cuenca del río Grande.....	51
Figura 31. Demanda anual por subcuenca en millones de metros cúbicos (Mm ³) en la cuenca del río Grande.....	52
Figura 32. Demanda de agua de la cuenca del río Grande.....	53
Figura 33. Caudales calibrados en la estación Macaracas 1983 – 2000.....	57
Figura 34. Caudales validados en la estación Macaracas 2001 – 2008.....	58
Figura 35. Caudales calibrados en la estación Atalayita 1983 – 2000.....	58
Figura 36. Caudales validados en la estación Atalayita 2001 – 2011.....	59
Figura 37. Caudales calibrados en la estación Calabacito 1983 – 1990.....	59
Figura 38. Caudales validados en la estación Calabacito 1991 – 1998.....	60
Figura 39. Caudales calibrados en la estación río Grande 1983 – 2001.....	62
Figura 40. Caudales validados en la estación río Grande 2001 – 2014.....	63
Figura 41. Caudales calibrados en la estación El Cortezo 1983 – 2014.....	63
Figura 42. Caudales validados en la estación El Cortezo 2011 – 2014.....	64
Figura 43. Caudales calibrados en la estación Cañaverl 1983 – 2010.....	64
Figura 44. Caudales validados en la estación Cañaverl 2001 – 2010.....	65
Figura 45. Caudales calibrados en la estación Murcielaguero 1983 – 2008.....	65
Figura 46. Caudales validados en la estación Murcielaguero 2001 – 2008.....	66
Figura 47. Caudales calibrados en la estación La Soledad 1983 – 1990.....	68
Figura 48. Caudales Validados en la estación La Soledad 1991 – 2005.....	69
Figura 49. Caudales calibrados en la estación San Francisco 1983 – 2000.....	69
Figura 50. Caudales Validados en la estación San Francisco 2001 – 2015.....	70
Figura 51. Caudales calibrados en la estación Alto Jorón 1983 – 1993.....	70
Figura 52. Caudales validados en la estación Alto Jorón 1994 – 1998.....	71
Figura 53. Caudales calibrados en la estación Sitio de Desvío 1983 – 1990.....	71
Figura 54. Caudales validados en la estación Sitio de Desvío 1991 – 1998.....	72
Figura 55. Caudales calibrados en la estación San Juan 1983 – 1990.....	72
Figura 56. Caudales validados en la estación San Juan 1991 – 1997.....	73
Figura 57. Variables del balance hídrico en la cuenca del río La Villa.....	75
Figura 58. Variables del balance hídrico en la cuenca del río Santa María.....	76
Figura 59. Variables del balance hídrico en la cuenca del río Grande.....	77
Figura 60. Oferta hídrica en la cuenca del río La Villa.....	78
Figura 61. Disponibilidad de agua en la cuenca del río La Villa.....	79
Figura 62. Oferta hídrica en la cuenca del río Santa María.....	81
Figura 63. Disponibilidad de agua en la cuenca del río Santa María.....	82
Figura 64. Oferta hídrica en la cuenca del río Grande.....	84
Figura 65. Disponibilidad de agua en la cuenca del río Grande.....	85
Figura 66. Índice de escasez en la cuenca del río La Villa.....	89
Figura 67. Índice de escasez en la cuenca del río Santa María.....	89
Figura 68. Índice de escasez en la cuenca del río Grande.....	90
Figura 69. Áreas Potenciales de disponibilidad de recarga hídrica cuenca del río La Villa.....	94

Figura 70. Áreas Potenciales de disponibilidad de recarga hídrica cuenca del río Santa María.95

Figura 71. Áreas Potenciales de disponibilidad de recarga hídrica cuenca del río Grande.....97

Figura 72. Áreas potenciales de recarga hídrica según la pendiente en la cuenca del río La Villa.117

Figura 73. Áreas potenciales de recarga hídrica según el uso de suelo en la cuenca del río La Villa.....117

Figura 74. Áreas potenciales de recarga hídrica según textura de suelo en la cuenca del río La Villa.118

Figura 75. Áreas potenciales de recarga hídrica según la pendiente en la cuenca del río Santa María.118

Figura 76. Áreas potenciales de recarga hídrica según el uso de suelo en la cuenca del río Santa María119

Figura 77. Áreas potenciales de recarga hídrica según textura de suelo en la cuenca del río Santa María ..119

Figura 78. Áreas potenciales de recarga hídrica según la pendiente en la cuenca del río Grande.....120

Figura 79. Áreas potenciales de recarga hídrica según el uso de suelo en la cuenca del río Grande.120

Figura 80. Áreas potenciales de recarga hídrica según textura suelo en la cuenca del río Grande.....121

Tablas

Tabla 1. Geología de la cuenca del río La Villa.....19

Tabla 2. Geología de la cuenca del río Santa María.19

Tabla 3. Geología de la cuenca del río Grande.20

Tabla 4. Clases de capacidad agrológica y sus características generales.21

Tabla 5. Distribución de las clases de los suelos en el área de estudio.....22

Tabla 6. Clasificación de la pendiente superficial del terreno en %.32

Tabla 7. Superficie del uso de suelo y cobertura vegetal.34

Tabla 8. Característica de los suelos en base a perfiles de IDIAP.34

Tabla 9. Estaciones meteorológicas utilizadas en la cuenca del río La Villa.....34

Tabla 10. Clasificación de la pendiente superficial del terreno en %.37

Tabla 11. Superficie del uso de suelo y cobertura vegetal.37

Tabla 12. Característica de los suelos en base a perfiles de IDIAP.37

Tabla 13. Estaciones meteorológicas utilizadas en la cuenca del río Santa María.....38

Tabla 14. Clasificación de la pendiente superficial del terreno en %.40

Tabla 15. Característica de los suelos en base a perfiles de IDIAP.41

Tabla 16. Superficie del uso de suelo y cobertura vegetal.41

Tabla 17. Estaciones meteorológicas utilizadas en la cuenca del río Grande42

Tabla 18. Evaluación de la calibración a través de NSE, PBIAS y RSR.....54

Tabla 19. Parámetros más sensibles de la calibración por orden de jerarquía. Cuenca del río La Villa.56

Tabla 20. Estaciones utilizadas para la calibración en la cuenca del río La Villa.57

Tabla 21. Parámetros más sensibles de la calibración por orden de jerarquía. Cuenca del río Santa María. .60

Tabla 22. Resultados de la calibración por estación.....62

Tabla 23. Parámetros más sensibles de la calibración por orden de jerarquía. Cuenca del río Grande.67

Tabla 24. Resultados de la calibración por estación.....68

Tabla 25. Balance hídrico en la cuenca del río La Villa (promedio anual 1980-2015).....74

Tabla 26. Balance hídrico en la cuenca del río Santa María (promedio anual 1980-2015).....75

Tabla 27. Balance hídrico en la cuenca del río Grande (promedio anual 1980-2015).76

Tabla 28. Disponibilidad de agua en % de la cuenca del río La Villa.77

Tabla 29. Disponibilidad de agua en % de la cuenca del río Santa María.80

Tabla 30. Disponibilidad de agua en % de la cuenca del río Grande.....83

Tabla 31. Posibilidad de recarga según el tipo de pendiente.....91
Tabla 32. Posibilidad de recarga según la textura del suelo.91
Tabla 33. Posibilidad de recarga según el uso de suelo.92
Tabla 34. Potencialidad de recarga hídrica.93



1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es el principal elemento para garantizar la sostenibilidad ambiental y, por lo tanto, la economía del país. Debido al aumento de la población y a las necesidades crecientes de satisfacer las demandas de carácter doméstica, industrial, eléctrica, recreativa y de garantizar equilibrios ecológicos y sostenibles en general, existe una realidad enfocada hacia la presión por el aprovechamiento del agua. Esta situación influye en la necesidad del Estado panameño para conocer con certeza la oferta y la demanda hídrica de las cuencas hidrográficas por cada subcuenca que la integra.

El presente proyecto para “Determinar el caudal ambiental en las cuencas hidrográficas de los ríos Chiriquí Viejo (102) y Chiriquí (108) y Evaluación de la disponibilidad hídrica (oferta y demanda hidrológica) de las cuencas hidrográficas de los ríos La Villa (128), Santa María (132) y Grande (134)” contempló el desarrollo de 2 fases de investigación: la primera fase se enfocó hacia la determinación del caudal ambiental en las cuencas hidrográficas occidentales de Chiriquí Viejo y Chiriquí; y la segunda fase se enfocó hacia la evaluación de la disponibilidad hídrica en las cuencas hidrográficas de provincias centrales de La Villa, Santa María y Grande.

El presente informe está enfocado en la señalada segunda fase. En ese aspecto, el informe cubre la identificación de los diferentes tipos de demandas oficiales existentes en las cuencas hidrográficas de los ríos La Villa (128), Santa María (132) y Grande (134) manejando cifras numéricas en cuanto al volumen de agua que demandan en los diferentes meses del año.

Por otro lado, mediante la realización de ejercicios de modelación hidrológica, se desarrollaron simulaciones para conocer el comportamiento natural de las cuencas hidrográficas señaladas tomando en consideración variables como las siguientes: relieve, textura del suelo, uso de suelo, precipitación, temperaturas máximas y mínimas, velocidad del viento, radiación solar y humedad relativa. Una vez procesadas las variables mencionadas se realizaron cálculos automatizados de balance hídricos obteniendo resultados cuantitativos de variables como las siguientes: evapotranspiración, escurrimiento superficial, caudal, flujo lateral y otros.

Tomando en consideración los resultados de oferta hídrica plasmado en los balances hídricos obtenidos mediante la modelación hidrológica y las diferentes ubicaciones y conocimientos de volúmenes de agua demandados por las diferentes actividades formalmente registradas y autorizadas para el aprovechamiento de los recursos hídricos, se desarrollaron ejercicios para calcular la disponibilidad de los recursos hídricos por subcuencas, así como el cálculo de índice de escasez. Adicionalmente se identificó los niveles potenciales de intensidad de recarga hídrica.

La gestión científica realizada durante el desarrollo del proyecto contó con talleres donde participaron profesionales técnicos de la Dirección de Gestión de Cuencas Hidrográficas, administraciones regionales de Chiriquí, Coclé, Veraguas y Los Santos y docentes investigadores de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Panamá (sede en Chiriquí). Adicionalmente, el estudio presenta algunas limitaciones en cuanto a la falta de datos de algunas estaciones meteorológicas localizadas en el área de influencia del proyecto y en el desconocimiento de actividades informales de aprovechamiento de agua.

Finalmente, sobre la base de la experiencia obtenida durante el desarrollo del proyecto en ambas fases se construyó un contenido temático para ser impartido en dos cursos teórico-práctico de 40 horas, dirigido a profesionales del MiAMBIENTE y de diferentes instituciones estatales. Mediante estos cursos se logra la transferencia de conocimiento y capacidades para el cálculo de caudal ambiental y evaluación de disponibilidad de recursos hídricos.

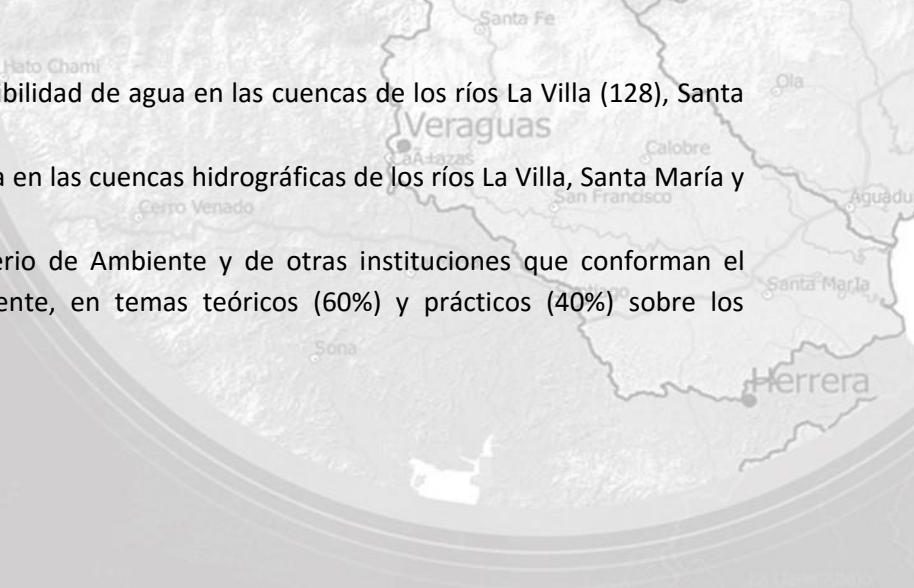


2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la disponibilidad, oferta y demanda de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas de los ríos La Villa (128) en las provincias de Herrera y Los Santos, Santa María (132) en las provincias de Veraguas, Coclé y Herrera, y Grande (134) en la provincia de Coclé.

2.1. Objetivos específicos

- Evaluar el estado actual de la disponibilidad de agua en las cuencas de los ríos La Villa (128), Santa María (132) y Grande (134).
- Analizar la oferta y demanda del agua en las cuencas hidrográficas de los ríos La Villa, Santa María y Grande.
- Capacitar a funcionarios del Ministerio de Ambiente y de otras instituciones que conforman el Sistema Interinstitucional del Ambiente, en temas teóricos (60%) y prácticos (40%) sobre los resultados de ambos estudios.¹



¹ En referencia al estudio del cálculo del caudal ambiental (en las cuencas de los ríos Chiriquí Viejo y Chiriquí) y evaluación de la disponibilidad hídrica (en las cuencas de los ríos La Villa, Santa María y Grande).

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Características físicas

3.1.1. Ubicación

El área de estudio comprenden las cuencas hidrográficas de los ríos La Villa, Santa María y Grande. Están ubicadas al occidente de la ciudad de Panamá y desembocan en la vertiente del Pacífico Central, en el Golfo de Parita. Gran porcentaje de la superficie de estas cuencas forman parte de las tierras secas y degradadas de Panamá. Con una ocupación del 27% del territorio nacional, las tierras secas y degradadas son “espacios geográficos en los que sus habitantes se enfrentan a grandes restricciones biofísicas y económicas, tales como: acceso a tierras y a fuentes de aguas de buena calidad, falta de capital financiero, acceso a mercados y tecnologías modernas y limpias, suelos con graves problemas de erosión y de baja productividad, enfermedades y deforestación, entre otros.” (ANAM, 2008). Existen cuatro áreas críticas que son consideradas como tierras secas y degradadas: Sabana Veragüense, Cerro Punta, Arco Seco y la Comarca Ngäbe Buglé.

En la cuenca del río La Villa el 57% de la superficie es parte del Arco Seco, para la cuenca del río Santa María el 28% y el 45% pertenecen al del Arco Seco y a la Sabana Veragüense respectivamente. En cuanto a la cuenca del río Grande el 62% de la superficie forma parte del Arco Seco (Figura 1).

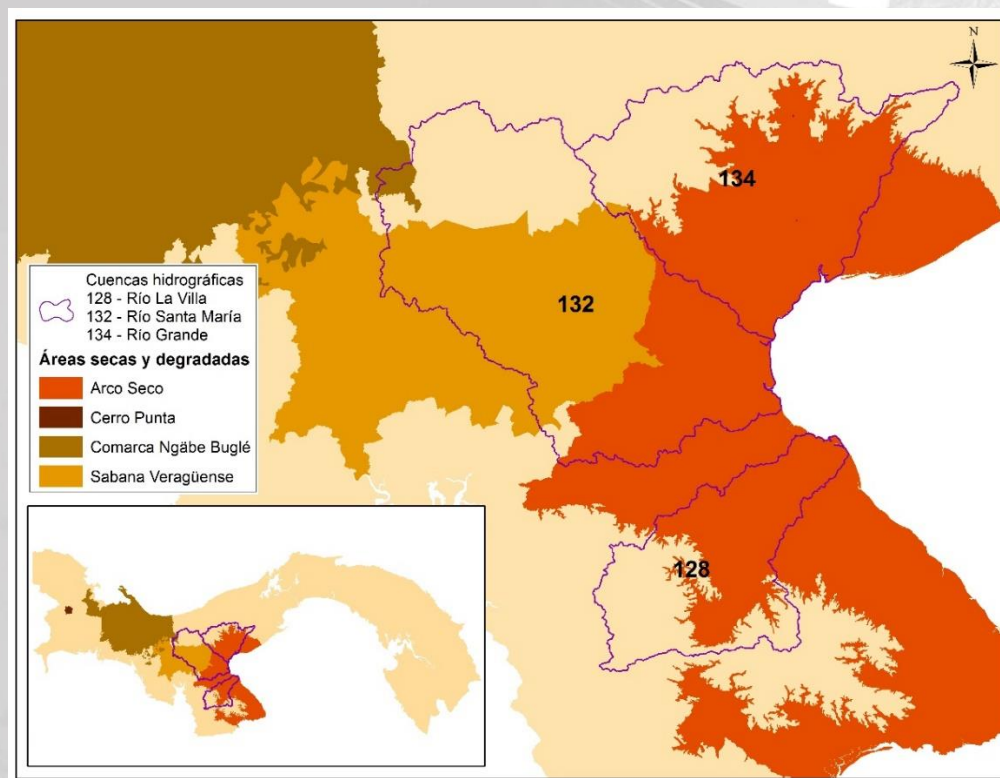


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

(Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE)

La cuenca del río La Villa ubicada en la península de Azuero, se encuentra entre las coordenadas 7° 30' y 8° 00' de latitud norte y 80° 12' y 80° 50' de latitud oeste. Posee una superficie de 1,296.36 km² y una elevación

media de 135 msnm. Su río principal es el río La Villa con una longitud de 125 km y cuenta con afluentes principales como: río Espiguita, Quebrada Pesé, río Tebario, río Estibaná y río El Gato. En la cuenca, 40 km² de superficie son parte de la Reserva Forestal El Montuso, localizado al occidente de la cuenca en la parte alta (Figura 2).

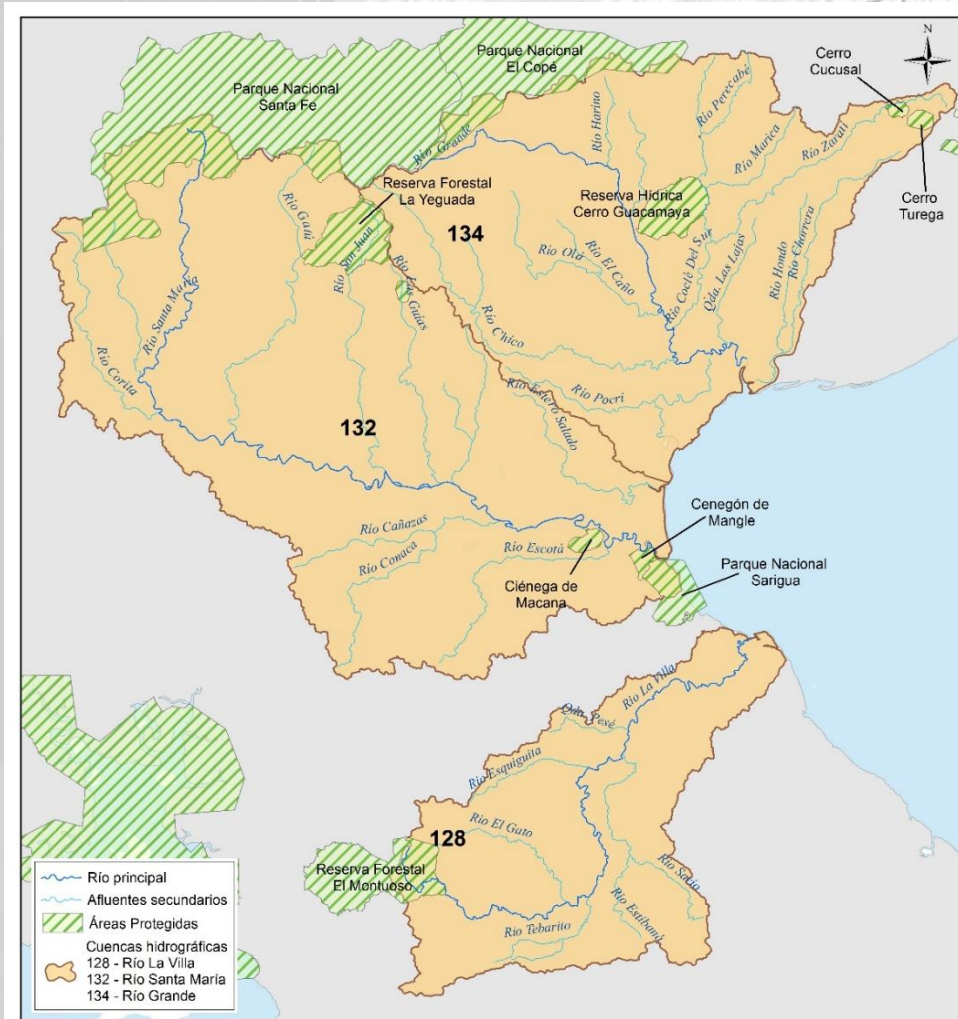


Figura 2. Red hidrográfica y áreas protegidas del área de estudio.
(Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE)

La cuenca del río Santa María está ubicada al norte de la cuenca del río La Villa entre las coordenadas geográficas 8° 00'' y 8° 35'' latitud norte y 80° 30'' y 81° 15'' longitud oeste. Tiene una superficie de 3,362.19 km² y una elevación media de 200 msnm. La longitud del río principal es de 168 km, y recibe aportes de sus afluentes principales: río Escota, río Conaca, río Corita, río Gatú, río San Juan, río Las Guías y río Cocobo. Al norte de la cuenca encontramos áreas protegidas como la Reserva Forestal La Yeguada, el Monumento Natural Los Pozos de Calobre y 68.5 km² de la cuenca forman parte de Parque Nacional Santa Fe. En la parte baja de la cuenca se ubican la Ciénega de La Macana, que es de importancia ecológica para refugio de aves migratorias. También encontramos el refugio de vida silvestre Cenegón del Mangle, que tiene como

propósito garantizar la supervivencia de los ecosistemas de los manglares en la desembocadura del río Santa María. Además en la cuenca baja 17.3 km² forman parte del Parque Nacional Sarigua (Figura 2).

La cuenca del río Grande se localiza entre las coordenadas 8° 11" y 8° 43" de latitud norte y 80° 07" y 80° 53" de longitud oeste. La superficie de la cuenca es de 2,384.24 km², y el río principal cuenta con una longitud de 94 km y sus tributarios principales son: río Zaratí, río Chico, río Coclé del Sur, río Caño, río Corzo, río Marica y río Perecabé. En la parte alta, 57.2 km² de la cuenca forman parte del Parque Nacional General de División Omar/ El Copé. En la cuenca media encontramos la Reserva Hídrica del Cerro Guacamaya que es considerado como un recurso de conservación natural, donde habitan especies en peligro de extinción. Al este de la cuenca se ubican áreas protegidas municipales: Cerro Cucusal y Cerro Turega (Figura 2).

3.1.2. Clima

El clima en Panamá se determina por tres factores: geografía, oceanografía y meteorología (ANAM, 2010). La geografía se refiere a la latitud, longitud, altitud, relieve y la continentalidad, que se refiere a la influencia que tiene el mar sobre cualquier punto de la superficie terrestre. En cuanto a la oceanografía, Panamá tiene como límite norte y sur al Océano Atlántico y Pacífico respectivamente, que influyen de gran manera en el contenido de humedad sobre el país. Respecto a la meteorología, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) contribuye grandemente al clima de los territorios que estén bajo su influencia. Los desplazamientos norte-sur y sur-norte de la ZCIT trae como consecuencia dos temporadas características de Panamá: seca y lluviosa.

Las tierras que conforman el área de estudio se distingue principalmente por dos tipos de clima según McKay (ANAM, 2010): el clima subecuatorial con estación seca y el clima tropical con estación seca prolongada (Figura 3). El primero se caracteriza por tener promedios anuales de temperatura desde 26.5°C a 27.5 °C para tierras bajas (< 20 msnm). En cambio para las tierras altas (1,000 msnm aprox.) la temperatura puede llegar hasta los 20°C. Para este clima los niveles de precipitación son cercanos o superiores a 2,500 mm. El clima subecuatorial con estación seca cubre un 50% en la cuenca del río La Villa, un 49% en la cuenca del río Santa María y un 36% en la cuenca del río Grande.

El clima con estación seca prolongada cubre la parte media-baja del área de estudio. Se caracteriza por tener temperaturas medias de 27°C a 28°C. Las precipitaciones anuales se encuentran por debajo de los 2,500 mm, y mientras que Los Santos llegan a 1,122 mm (parte de la cuenca del río La Villa). En este clima la estación seca se define por una baja humedad relativa y alta evaporación. Por otro lado, este clima característico cubre un 50.3%, 30.7% y 58.79% en las cuencas de los ríos La Villa, Santa María y Grande respectivamente.

En la parte alta del área de estudio predomina el clima tropical oceánico que abarca un 12% y 1.65% en las cuencas de los ríos Santa María y Grande respectivamente; el clima tropical de montaña baja que abarca un 6.6% en la cuenca del río Santa María y un 3% en la cuenca del río Grande.

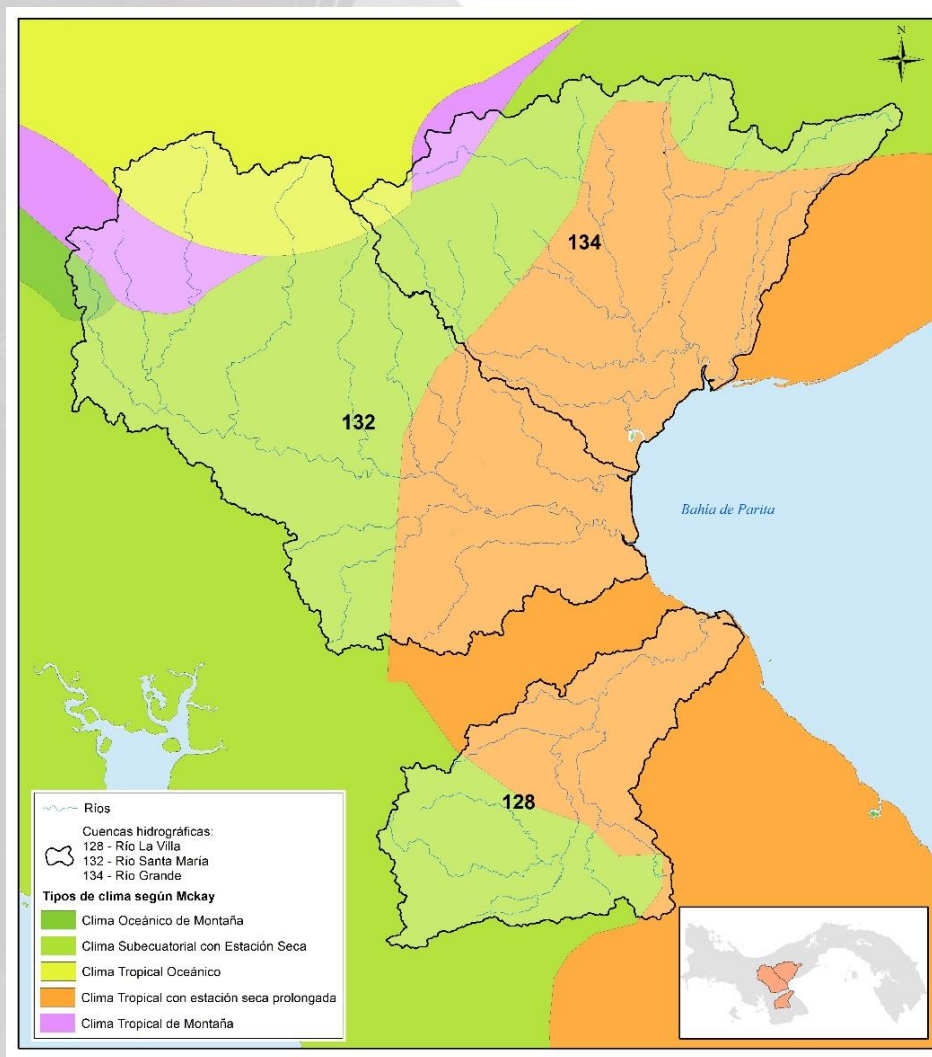


Figura 3. Tipos de clima según Mckay del área de estudio.
(Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE)

La cuenca del río La Villa cuenta con una precipitación media anual de 1,751.68 mm (1972 – 2008), donde el mes de febrero es considerado el más seco y octubre el mes más lluvioso. En la Figura 4 se observa una diferencia de los meses que conforman la temporada seca (diciembre – abril), durante los cuales la precipitación equivale al 8.8% de la lluvia total anual en la cuenca. El restante 91.2% de la lluvia precipita en los meses que conforman la temporada lluviosa (mayo – noviembre). La temperatura promedio máxima que alcanza la cuenca es de 29.1°C en el mes de abril, y la temperatura mínima promedio es de 23.2°C en el mes de octubre. Los cambios de temperatura entre la temporada seca y lluviosa oscilan entre 0.5°C y 0.7°C, es decir, la temperaturas se mantienen prácticamente constantes a lo largo del año.

La precipitación anual de la cuenca del río Santa María es de 2,308.42 mm (1972 – 2008). En la Figura 5 se observa la distribución mensual de la cuenca y se aprecia los meses que conforman la temporada seca: diciembre, enero, febrero, marzo y abril. La precipitación en la estación seca representa el 10% de la lluvia anual de la cuenca. Mientras que, en los meses lluviosos (mayo – noviembre) precipita el 90% de la lluvia, siendo octubre el mes más lluvioso con un 18% de la lluvia anual. La temperatura media de la cuenca es de

26.43°C. En el mes de abril se alcanza una temperatura máxima de 29°C, mientras que en enero la temperatura mínima de 23.7°C.

Por su parte, la cuenca del río Grande posee una precipitación anual promedio de 1,818.1 mm (1972 – 2008). La estación seca se compone de los meses de diciembre hasta abril durante los cuales llueve el 9.6% de la precipitación anual. Por otro lado, durante la estación lluviosa precipita el 90.3% de la lluvia anual entre mayo a noviembre. En la Figura 6 se observa el hidrograma mensual de la cuenca. La temperatura media de la misma es de 25.3°C. A diferencia de las cuencas de los ríos La Villa y Santa María, la cuenca del río Grande cuenta con una tendencia distinta en términos de temperatura (Figura 6), ya que la temperatura máxima se observa en el mes de septiembre y la mínima se observa en el mes de octubre; por lo cual los cambios de temperatura mayores (aumento o disminución) ocurren durante los meses lluviosos.

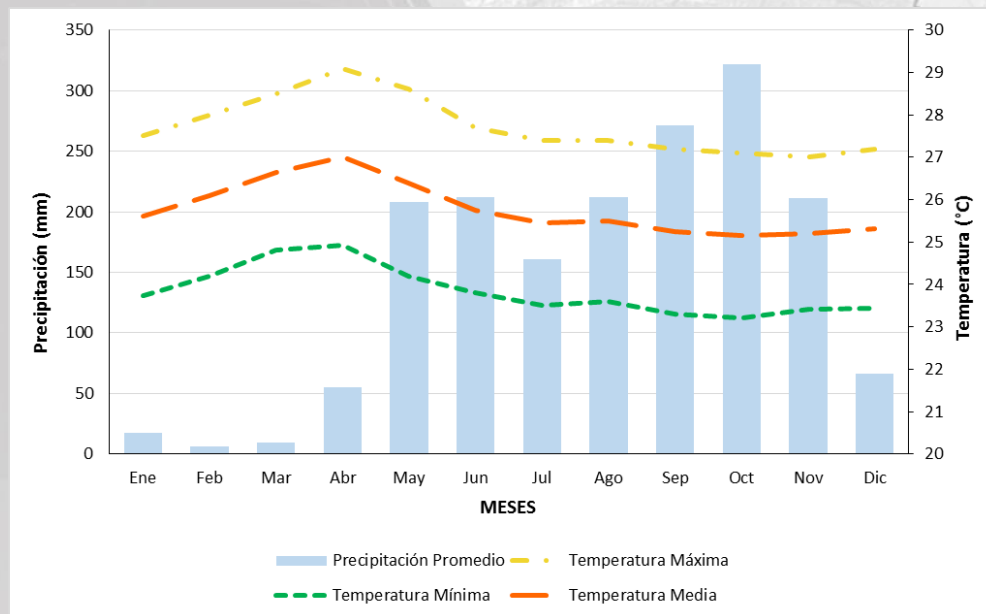


Figura 4. Climograma – Cuenca del río La Villa.

(Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.)

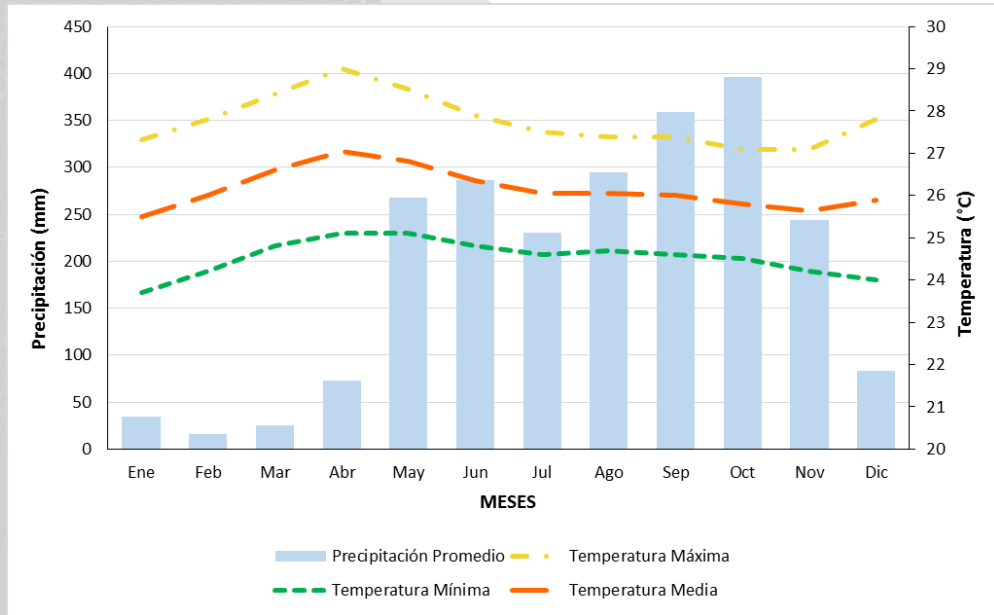


Figura 5. Climograma – Cuenca del río Santa María.

(Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.)

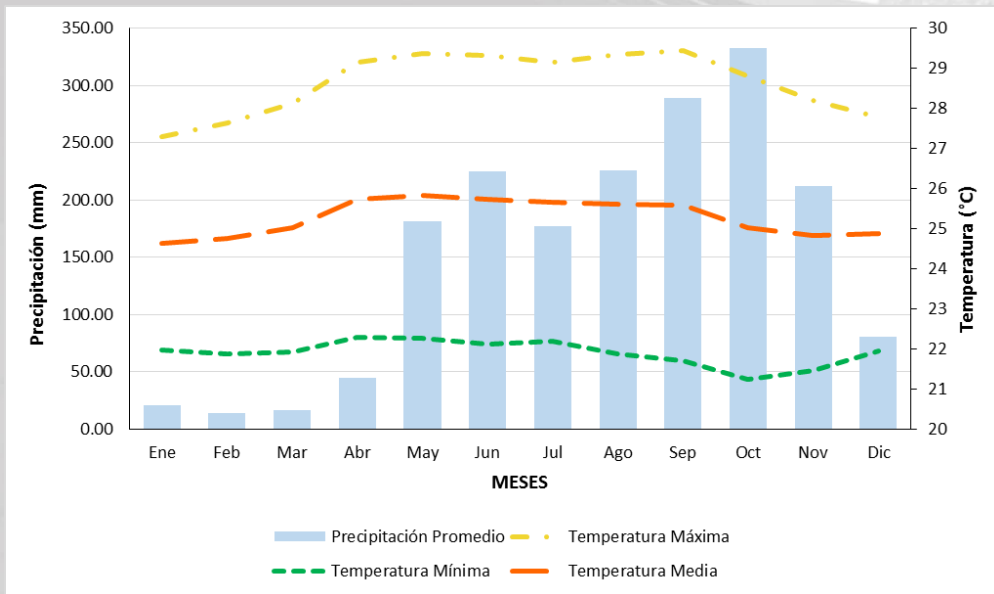


Figura 6. Climograma – Cuenca del río Grande.

(Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.)

3.1.3. Geología

El área de estudio está formada por rocas de origen volcánico, sedimentario y plutónico (Figura 7). Las rocas de origen volcánico son aquellas que se originan por el enfriamiento rápido del magma en la superficie terrestre, a temperatura y presiones bajas. Las rocas de origen sedimentario se forman en la superficie a consecuencia de la acumulación de sedimentos debido a los procesos físicos y químicos de partículas de otras

rocas. Las rocas plutónicas o intrusivas se forman por la solidificación lenta del magma dentro de la corteza terrestre, debido al proceso lento de enfriamiento, creando cristales de gran tamaño.

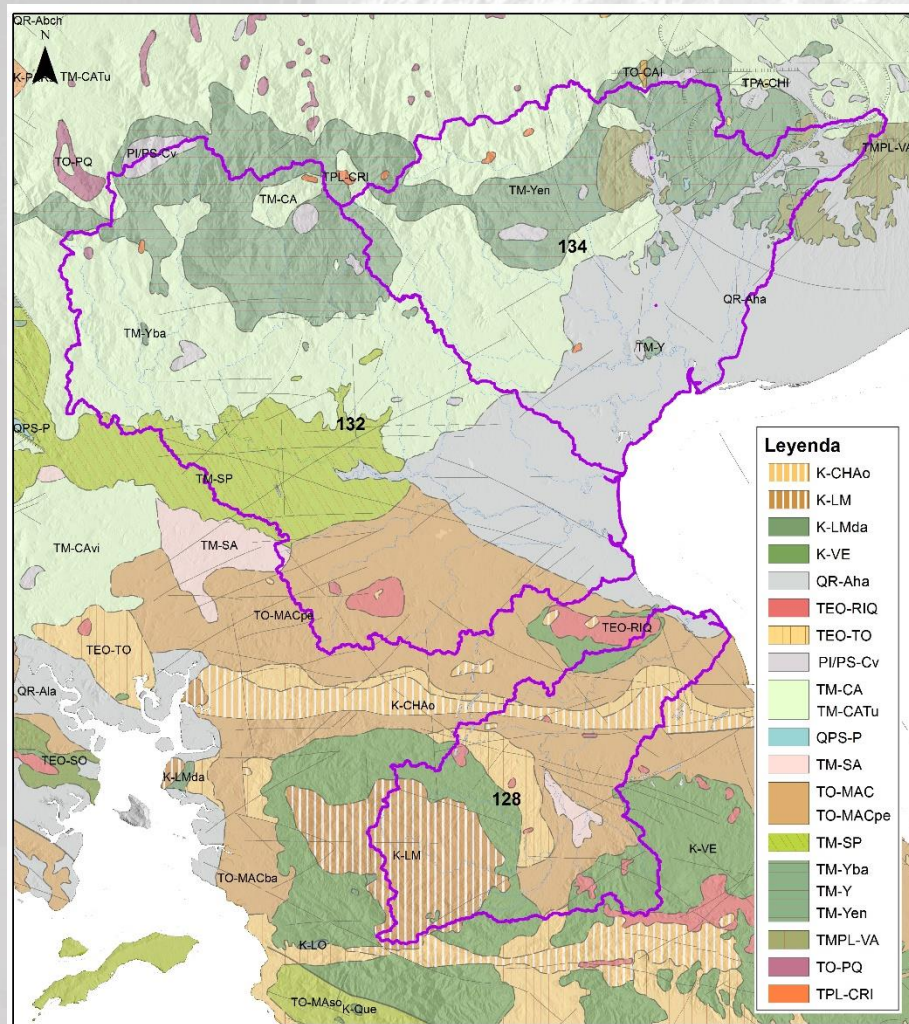


Figura 7. Geología del área de estudio.

128 – Cuenca del río La Villa, 132 – Cuenca del río Santa María, 134 – Cuenca del Río Grande.

(Fuente: Mapa geológico de Panamá, Ministerio de Comercio, Dirección de Recursos Minerales, 1991)

La cuenca del río La Villa se compone principalmente de rocas de origen sedimentarias ya que ocupan el 54.55% de la superficie, seguido de las rocas plutónicas con 45.33% y las rocas de origen volcánico con 5.64% (Tabla 1). Entre las rocas de origen sedimentarias podemos destacar las formaciones de Río Hato (QR-Aha), Tonosí (TEO-TO), Santiago (TM-SA), Macaracas (TO-MAC), Pesé (TEO-MACpe) y Ocú (K-CHAO) que se distribuyen sobre la parte media y baja de la cuenca. En cuanto a las rocas de origen volcánico, encontramos dos formaciones: Dacitas Loma M (K-Lmda) y Playa Venado (K-VE). Por último, las formaciones de rocas plutónicas encontramos: Valle Riquito (TEO-RIQ) distribuida en pequeñas áreas sobre la cuenca y Loma Montuoso (K-LM) que cubre la subcuenca Quebrada Piedras y una porción de la subcuenca del río El Gato y el río Tebario.

Tabla 1. Geología de la cuenca del río La Villa.

	Simbología	Periodo	Grupo	Formación	Descripción	Sup (km ²)	Sup (%)
Sedimentarias	QR-Aha	Cuaternario	Aguadulce	Río Hato	Conglomerado, areniscas, lutitas, tobas, areniscas no consolidadas,	22.91	1.77
	TEO-TO	Terciario	Tonosí	Tonosí	Lutitas, areniscas.	142.69	11.01
	TM-SA		Santiago	Arenisca, conglomerados.	30.17	2.33	
	TO-MAC		Macaracas	Macaracas	Tobas y areniscas tobáceas.	296.37	22.86
	TO-MACpe		Pesé	Tobas continentales, areniscas, calizas.	143.43	11.06	
	K-CHAO	Secundario	Changuinola	Ocú	Calizas y tobas.	71.58	5.52
Volcánicas	K-LMda	Secundario		Dacitas Loma M.	Dacitas.	1.59	0.12
	K-VE		Playa Venado	Playa Venado	Basaltos, pillow lavas.	264.31	20.39
Plutónicas	TEO-RIQ	Terciario		Valle Riquito	Cuarzodioritas, noritas y gabros.	28.7	2.21
	K-LM	Secundario		Loma Montuoso	Cuarzodioritas, cuarzo gabros, noritas, granodioritas y cuarzomonzonitas.	294.61	22.73

(Fuente: Mapa geológico de Panamá, Ministerio de Comercio e Industria, Dirección de Recursos Minerales, 1991)

La cuenca del río Santa María se compone principalmente de rocas de origen volcánico ya que abarcan el 66.45% de la superficie. Las rocas de origen sedimentarias cubren el 32.32% y las plutónicas cubren solamente el 1.22% de la superficie de esta cuenca (Tabla 2).

Tabla 2. Geología de la cuenca del río Santa María.

	Simbología	Periodo	Grupo	Formación	Descripción	Sup (km ²)	Sup (%)
Sedimentarias	QR-Aha	Cuaternario	Aguadulce	Río Hato	Conglomerado, areniscas, lutitas, tobas, areniscas no consolidadas, pómez.	538.57	16.02
	TEO-TO	Terciario	Tonosí	Tonosí	Lutitas, areniscas.	0.91	0.03
	TO-MACpe		Macaracas	Pesé	Tobas continentales, areniscas, calizas.	542.32	16.13
	TM-SA		Santiago	Arenisca, conglomerados.	4.95	0.15	
Volcánicas	PI/PS-Cv	Cuaternario		Cerro Viejo	Basaltos/andesita, amigdaloides vidriosos. Basaltos Post-ignimbriticos.	51.61	1.54
	TM-CA	Terciario	Cañazas	Cañazas	Andesitas, basaltos y tobas.	46.45	1.38
	TM-CATu			Tucué	Andesitas/basaltos, lavas, brechas, tobas y plugs.	1107.56	32.94
	TM-SP		San Pedrito	San Pedrito	Tobas y aglomerados.	454.8	13.53
	TM-Yba		La Yeguada	Bale	Dacitas, riodacitas, riolitas.	3.38	0.10
	TM-Yen			C. El Encanto	Dacitas, riodacitas, ignimbritas, sub-intrusivos, tobas y lavas.	570.52	16.97
Plutónicas	TEO-RIQ		Terciario		Valle Riquito	Cuarzodioritas, noritas y gabros.	36.1
	TO-PQ	Petaquilla		Granodiorita, cuarzomonzonitas, granodioritas, dioritas, dacitas.	1.82	0.05	
	TPL-CRI	San Cristóbal		Granodioritas y mangeritas.	3.25	0.10	

(Fuente: Mapa geológico de Panamá, Ministerio de Comercio e Industria, Dirección de Recursos Minerales, 1991)

Las formaciones que componen principalmente las rocas de origen sedimentarias son: Río Hato (QR-Aha) y Pesé (TO-MACpe) ubicadas en la parte baja de la cuenca. Las de origen volcánico están presentes

principalmente en las formaciones de Tucué (TM-CATu), San Pedrito (TM-SP) y Cerro El Encanto (TM-Yen) que cubren básicamente la parte alta y media de la cuenca. Las rocas plutónicas están compuestas por las formaciones de Valle Riquito (TEO-RIQ), Petaquilla (TO-PQ) y San Cristóbal (TPL-CRI).

El 35% de las formaciones geológicas de la cuenca de río Grande corresponden a material sedimentario del periodo cuaternario (QR-Aha), compuesto principalmente por conglomerados, lutitas, tobas, areniscas no consolidadas y pómez. Este tipo de formación se focaliza en el tramo bajo y sureste de la cuenca. Las formaciones volcánicas ocupan el 65% de la superficie total de la cuenca, de las cuales predominan tres (3): Tucué (TM-CATu) que ocupa las subcuencas de río Chico, Olá, la parte alta de río Grande. La formación Cerro El Encanto (TM-Yen) que se distribuye por toda la subcuenca del río Coclé del Sur y la formación El Valle (TM-PL-VA) que se encuentra entre el interfluvio de las subcuencas de Coclé del Sur y Nacimiento del río Grande. Las rocas plutónicas están presente en la formación San Cristóbal (TPL-CRI), compuesta por granodioritas y mangeritas.

Tabla 3. Geología de la cuenca del río Grande.

	Simbología	Periodo	Grupo	Formación	Descripción	Sup (km ²)	Sup (%)
Sedimentarias	QR-Aha	Cuaternario	Aguadulce	Río Hato	Conglomerado, areniscas, lutitas, tobas, areniscas no consolidadas, pómez.	824.08	34.56
	PI/PS-Cv	Cuaternario		Cerro Viejo	Basaltos/andesita, amigdaloides vidriosos. Basaltos Post-ignimbriticos.	32.34	1.36
QPS-P			Cerro Picacho	Basaltos/andesita, conglomerados, aluviones, coluviones, lodolitas.	1.28	0.05	
Volcánicas	TM-CA	Cañazas		Cañazas	Andesitas, basaltos y tobas.	18.85	0.79
	TM-CATu			Tucué	Andesitas/basaltos, lavas, brechas, tobas y plugs.	780.31	32.73
	TMPL-VA	Terciario		El Valle	Dacitas, brechas, plugs, flujos ignimbriticos, pumitas, tobas finas. Andesitas/basaltos, tobas y subintrusivos de grano fino	108.33	4.54
	TM-Y	La Yeguada		La Yeguada	Dacitas, ignimbritas y tobas.	5.28	0.22
	TM-Yen			C. El Encanto	Dacitas, riodacitas, ignimbritas, subintrusivos, tobas y lavas.	609.51	25.56
Plutónicas	TPL-CRI	Terciario		San Cristóbal	Granodioritas y mangeritas.	4.26	0.18

(Fuente: Mapa geológico de Panamá, Ministerio de Comercio e Industria, Dirección de Recursos Minerales, 1991)

3.1.4. Capacidad agrológica de los suelos

La capacidad de uso de los suelos se define como “el potencial que tiene una unidad específica de suelo para ser utilizada en forma sostenida sin afectar su capacidad productiva. La capacidad de uso indica la intensidad con que se puede utilizar el suelo. Por definición el uso actual del suelo no debe ser mayor del que su capacidad establece, pues se crea un conflicto de uso que degenerara en la degradación del suelo, las aguas y los otros elementos medio ambientales que están interrelacionados” (ANAM, 2008).

En Panamá el método utilizado para evaluar la capacidad de uso de los suelos es el propuesto por Klingebiel y Montgomery en 1961 y diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) en la década de 1940-1950. El método está determinado por ocho clases; en cada clase se define la capacidad del suelo para la explotación agrícola (Tabla 4).

Para realizar esta clasificación se toman en cuenta características como: profundidad, permeabilidad, salinidad, conductividad hidráulica, clase de drenaje, pendiente, capacidad de retención de agua disponible para las plantas, riesgo de erosión, alcalinidad, sustancias tóxicas, entre otras.

Tabla 4. Clases de capacidad agrológica y sus características generales.

Clase	Descripción
Clase I	Suelos con muy pocas limitaciones que restringen su uso. Utilización agrícola
Clase II	Suelos con algunas limitaciones que reducen la elección de cultivos o requieren prácticas moderadas de conservación. Utilización agrícola
Clase III	Suelos con limitaciones severas que reducen la elección de cultivos y/o requieren prácticas de conservación especiales. Utilización agrícola
Clase IV	Suelos con limitaciones muy severas que restringen la elección de cultivos y/o requieren una gestión muy cuidadosa
Clase V	Suelos sin riesgo de erosión pero con otras limitaciones cuya superación es poco práctica o desaconsejable
Clase VI	Suelos con limitaciones muy severas. No aptos para el uso agrícola. Utilización restringida a pastos, explotación forestal o conservación
Clase VII	Suelos con limitaciones muy severas. No aptos para el uso agrícola. Utilización restringida a pastos, explotación forestal o conservación
Clase VIII	Suelos con limitaciones que excluyen su uso para la producción de cultivos comerciales. Utilización restringida, por ejemplo, a finalidades recreativas, estéticas o protección de la fauna

(Fuente: Añó & Sánchez, 2003)

Según la clasificación de la USDA, las clases I, II, III y IV son suelos aptos para la agricultura. Sin embargo, las limitaciones incrementan a medida que la clase es mayor, excluyendo el uso de ciertos cultivos, aumentando las prácticas de manejo y conservación de los suelos, y por ende, un incremento de los costos de producción. En el área de estudio no está presente la clase I, siendo este el suelo que cuenta con muy poca o ninguna limitación para su uso. Estos suelos también se definen como suelos arables. En la cuenca del río La Villa el 31% de la superficie es considerado como suelos arables, donde predomina la clase IV. En la cuenca del río Santa María el 36% son suelos arables y las clases que sobresalen son la III y IV. En cuanto a la cuenca del río Grande, los suelos arables ocupan el 35% y predominan las clases III y IV.

Los suelos V, VI, VII y VIII son considerados no aptos para la agricultura (no arables) ya que presentan limitaciones como riesgos a erosión, suelos pedregosos o grandes pendientes. Por lo tanto su uso se inclina a pastoreos, desarrollo de la vegetación natural, plantaciones forestales o conservación de recursos naturales. A medida que la clase aumenta la limitación del suelo es mayor. Estas clases son las que mayormente abundan en el área de estudio. La cuenca del río La Villa tiene un 69% de superficie total de

suelos no arables. La cuenca del río Santa María tiene un 64% y la cuenca del río Grande tienen un 65%. En la Tabla 5 se muestra la distribución de áreas y porcentajes que ocupa cada una de las clases del área de estudio, y en la Figura 8 el mapa de la capacidad agrológica de uso del área de estudio.

Tabla 5. Distribución de las clases de los suelos en el área de estudio.

Clase	Cuencas hidrográficas de los ríos					
	La Villa		Santa María		Grande	
	Area (km ²)	Porcentaje (%)	Area (km ²)	Porcentaje (%)	Area (km ²)	Porcentaje (%)
Clase II	10.07	0.78	173.45	5.16	156.95	6.58
Clase III	86.67	6.69	441.75	13.14	308.76	12.95
Clase IV	307.73	23.74	580.11	17.25	376.33	15.78
Clase V				0.00	43.95	1.84
Clase VI	96.59	7.45	287.85	8.56	60.90	2.55
Clase VII	795.31	61.35	1192.84	35.48	508.01	21.31
Clase VIII			686.19	20.41	929.36	38.98

(Fuente: Base de datos de MiAMBIENTE)

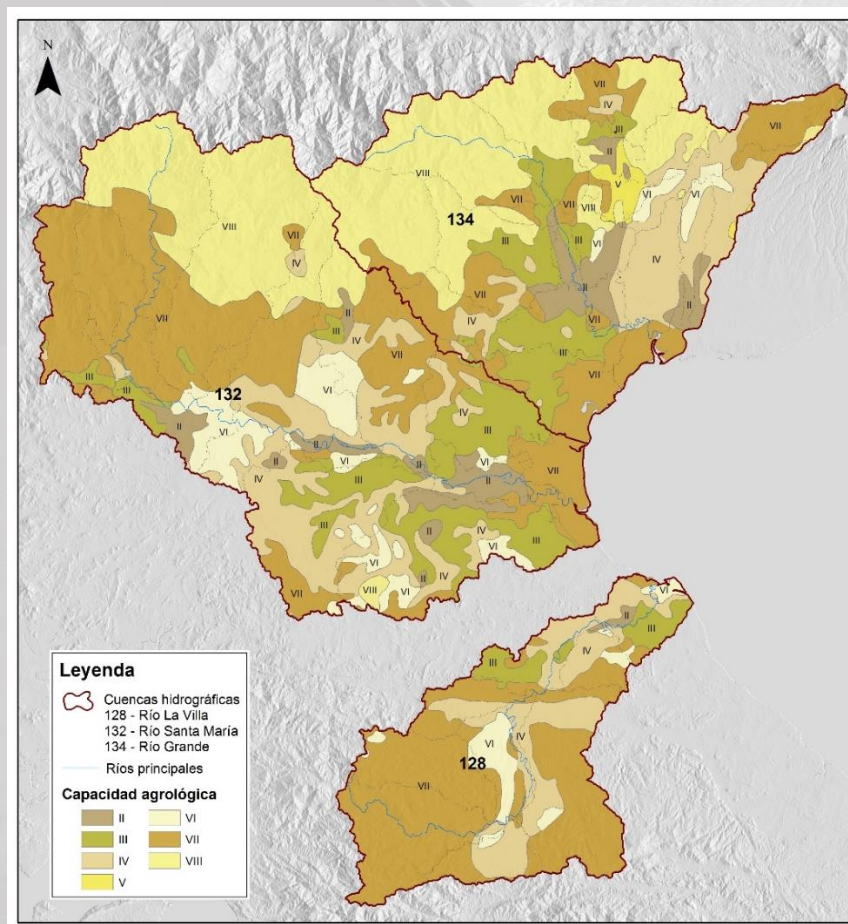


Figura 8. Capacidad agrológica del área de estudio.
(Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE)

3.2. Aspectos socioeconómicos

La población aproximada dentro de la cuenca del río La Villa es de 82,013, donde casi el 50% está distribuido proporcionalmente entre ambos sexos. Los corregimientos que presentan mayor cantidad de población pertenecen al distrito de Chitré. Estos son: San Juan Bautista (el corregimiento con mayor población), Monagrillo, Llano Bonito y Chitré Cabecera cuyos números de habitantes son superiores a 8,000 (en cada uno de los corregimientos mencionados). También sobresale el corregimiento de La Villa de Los Santos con casi 8,000 habitantes. Los corregimientos mencionados hasta el momento están concentrados hacia el norte de la cuenca y por lo tanto se identifica como el sector con altos niveles de población (Figura 9).

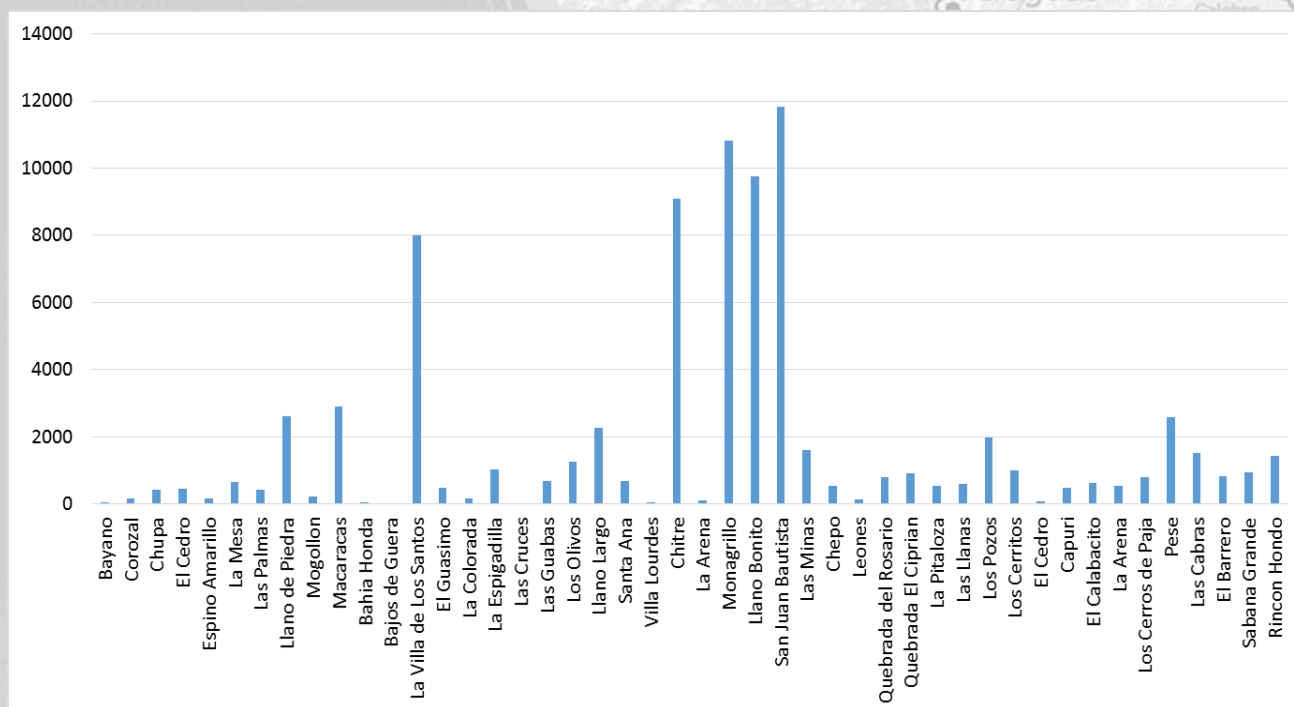


Figura 9. Distribución de la población por corregimiento – cuenca del río La Villa.

En segunda instancia, se encuentran el grupo de corregimiento integrados por Llano de Piedra (distrito de Macaracas) y Macaracas; al igual que Llano Largo del distrito de Los Santos y Pesé cuyos números de habitantes superan a los 2,000, y en el caso de Los Pozos su cantidad de habitantes es próximo a los 2,000. El resto de los corregimientos de la cuenca presentan una cantidad de habitantes inferior a los 2000.

A nivel de densidad de población, los corregimientos de mayor densidad son San Juan Bautista del distrito de Chitré y Pesé, próxima a 1,400 habitantes/Km². Adicionalmente se encuentra el corregimiento de Monagrillo con más de 1,000 habitantes/ Km², Llano Bonito con más de 800 habitantes por Km² y Chitré con más de 600 habitantes/Km². En segundo nivel se encuentran los corregimientos de La Espigadilla y Llano Largo con densidades superiores a los 200 habitantes/Km². El resto de los corregimientos presentan densidades inferiores a los 200 habitantes /Km² (Figura 10).

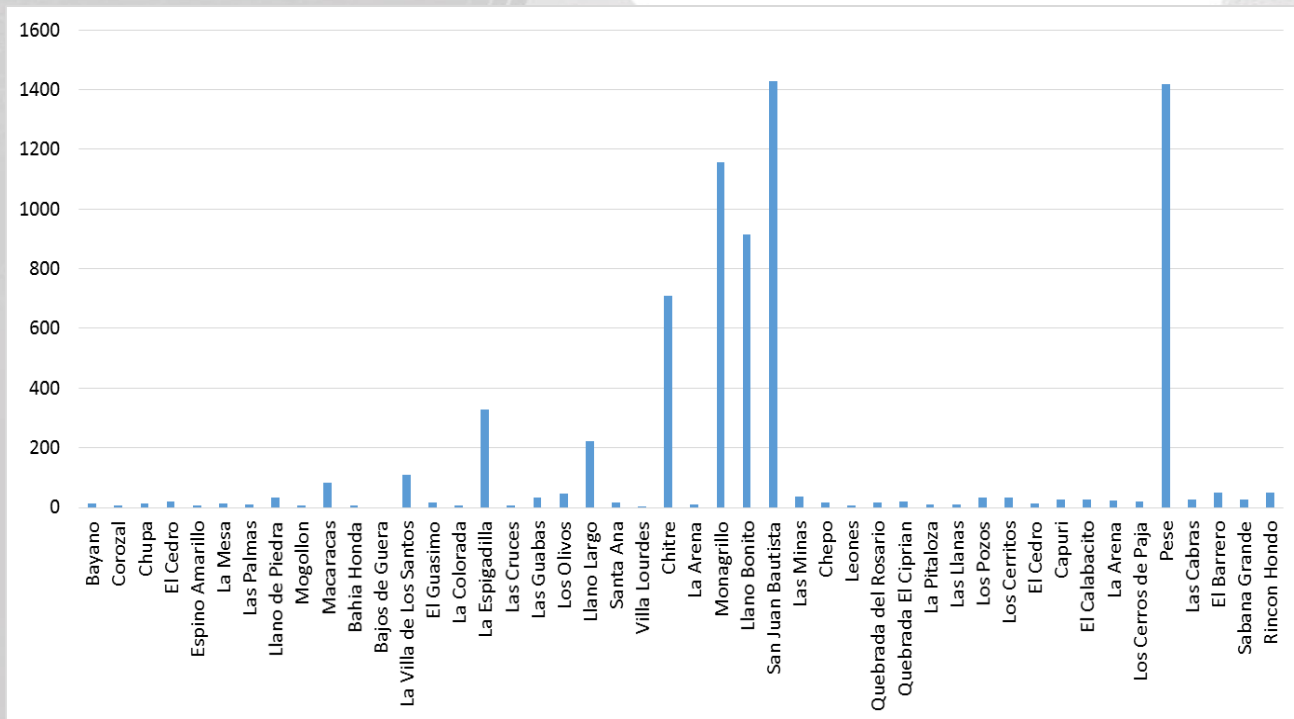


Figura 10. Densidad de población (habitantes/km²) por corregimiento – cuenca del río La Villa.

En cuanto a viviendas, el corregimiento de San Juan Bautista presenta un mayor número con cifras que superan a las 3,500; seguido por Monagrillo con más de 3,000. Los corregimientos de La Villa de Los Santos, Chitré y Llano Bonito poseen más de 2,500 cada uno. Los corregimientos de Llano de Piedra, Macaracas, Llano Largo, Los Pozos y Pesé presentan un número de vivienda superior a 500. El resto de los corregimientos poseen menos de 500 viviendas (Figura 11).

El corregimiento de Quebrada el Ciprian del distrito de Las Minas es el que presenta mayor cantidad de viviendas sin servicio de agua potable con cifras superiores a 120 casas. Le sigue el corregimiento de Chepo con casi 60 casas. Posteriormente se encuentra Las Minas, Quebrada del Rosario, Las Llanas y El Cedro con más de 20 viviendas sin agua. El resto de los corregimientos presentan menos de 20 viviendas sin servicio de agua potable.

A nivel de pobreza, el distrito con menor nivel es Chitré, inferior al 9%. Es el segundo distrito con menor nivel de pobreza a nivel nacional. Le sigue el municipio de Los Santos con un nivel de pobreza menor al 16%, y los distritos de Macaracas, Los Pozos y Pesé presentan niveles de pobreza inferiores al 33%. Por otro lado, el distrito de Las Minas es el distrito con mayor nivel de pobreza en toda la cuenca con niveles aproximados al 50%.

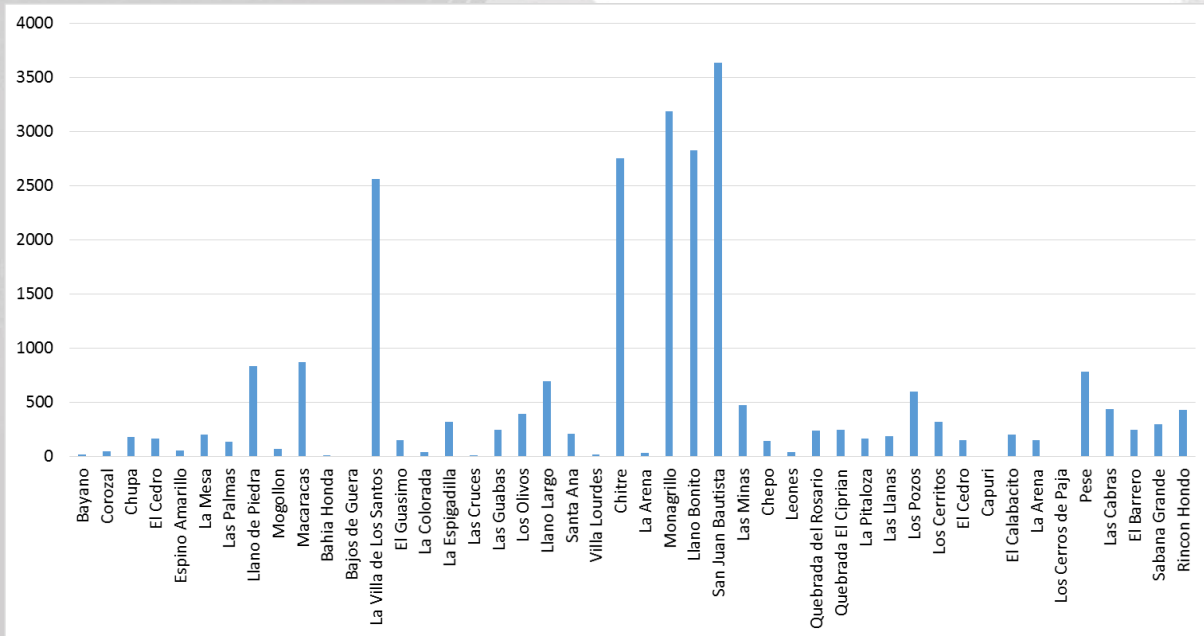


Figura 11. Viviendas por corregimiento en la cuenca del río La Villa.

La población dentro de la cuenca del río Santa María es de aproximadamente 212,867 habitantes, constituido por 52% hombres y 48% mujeres. El corregimiento con mayor número de habitantes es La Peña del distrito de Santiago, con valores superiores a 30,000 habitantes. Les sigue el grupo de corregimientos conformados por Barnizal, El Aromillo, Los Hatillos, Chitra, Canto del Llano y San Francisco con número de habitantes superiores a 10,000. Existe otro grupo de corregimientos cuya cantidad de habitantes se mantienen por encima a los 5,000 y menor a los 10,000. El resto de los corregimientos presentan una población inferior a 5,000 habitantes (Figura 12).

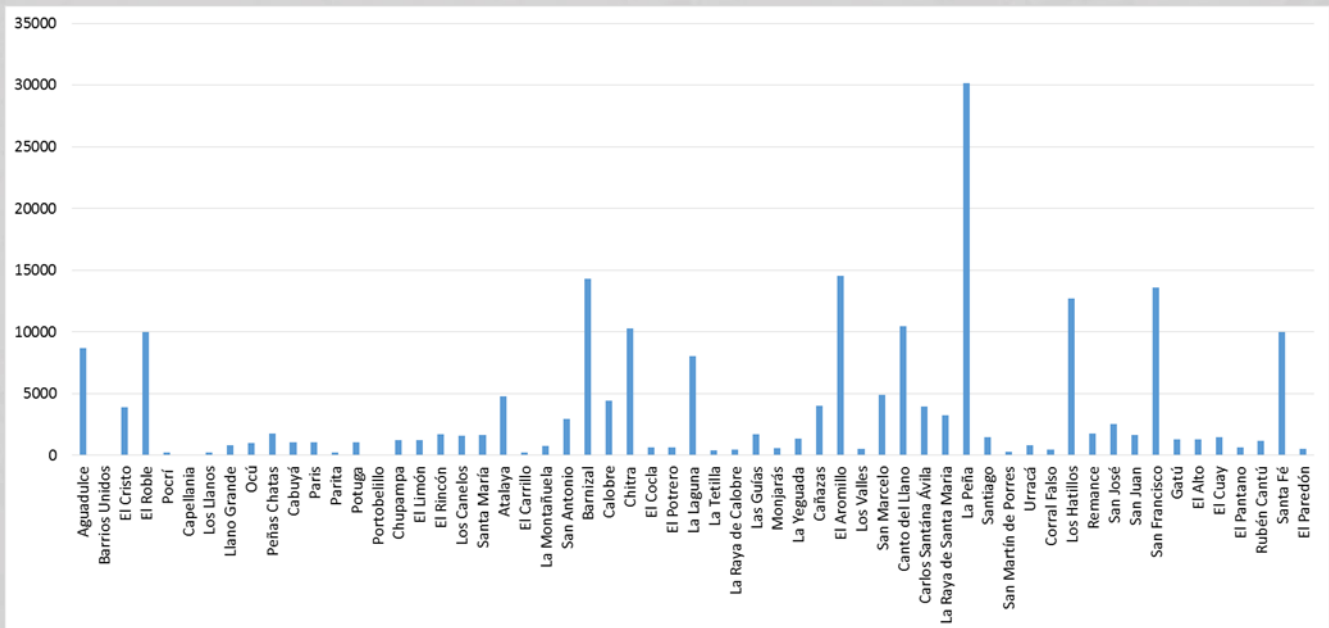


Figura 12. Distribución de la población por corregimiento – cuenca del río Santa María.

A nivel de densidad de población el corregimiento de Barnizal del distrito de Calobre es el que presenta mayor densidad en toda la cuenca con valores superiores a 800 habitantes/Km². Le sigue el corregimiento de La Peña con valores superiores a 700, y Aguadulce con valores superiores a 300. También sobresalen los corregimientos de Atalaya y el Aromillo con densidades superiores a 200. San Antonio, Santiago y San Francisco presentan densidades superiores a 100. El resto presenta densidades inferiores a los 100 habitantes/Km² (Figura 13).

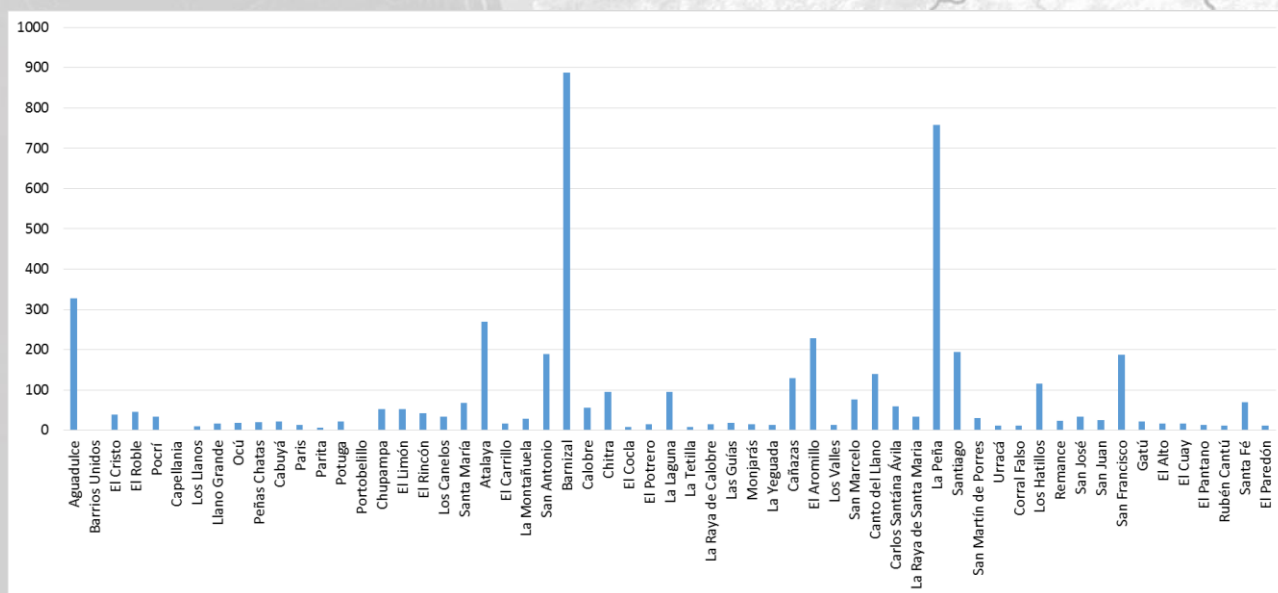


Figura 13. Densidad de población (habitantes/km²) por corregimiento – cuenca del río Santa María.

En cuanto a vivienda el corregimiento de La Peña presenta el mayor número de viviendas con más de 8000. En segunda instancia se encuentra los corregimientos de Barnizal, El Aromillo, Los Hatillos, y San Francisco con más de 3000 vivienda. El grupo de corregimientos conformados por Atalaya, Calobre, San Marcelo y Carlos Santana Ávila presenta una cantidad de viviendas superior a 1000. El resto de los corregimientos presentan menos de 1000 viviendas (Figura 14).

En lo referente a viviendas sin servicio de agua, el corregimiento de Santa Fe es el que presenta mayor número de viviendas sin agua potable en más de 1000. Los corregimientos de El Aromillo y Los Hatillos presentan más de 400 y menos de 500 viviendas sin agua, y el corregimiento de La Laguna presenta más de 200 viviendas sin agua. En el resto de los corregimientos existen menos de 200 viviendas sin agua potable.

En cuanto a niveles de pobreza, los distritos de Santiago y Aguadulce localizados hacia el sur de la cuenca presentan niveles inferiores con rangos comprendidos entre 11.8% y 14.5%. Les siguen los distritos de Santa María, Atalaya y Parita con niveles de pobreza entre 14.5% y 21% hacia el sur de la cuenca. El distrito de Ocú presenta rangos entre 20% y 25% de pobreza, y el grupo de municipios localizados hacia el sur de Cañazas, Santa Fe y Ñürüm presentan los niveles más altos de pobreza en toda la cuenca con rangos que están entre 51% y 83%.

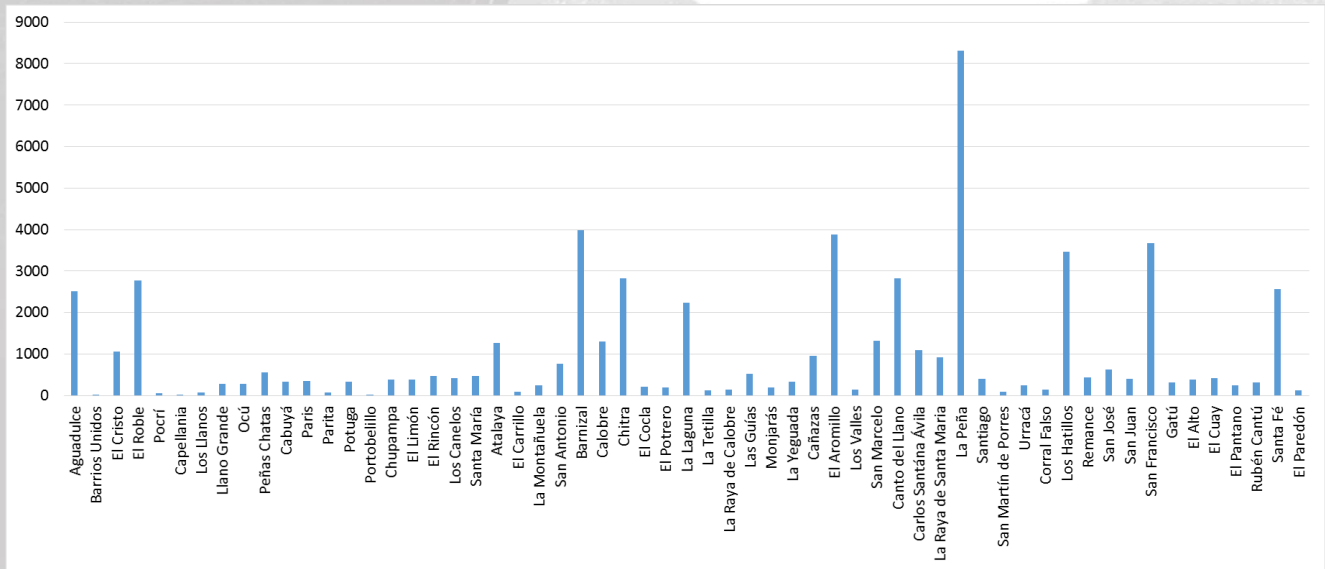


Figura 14. Viviendas por corregimiento en la cuenca del río Santa María.

La cuenca de río Grande tiene una población de aproximadamente 130,392 habitantes, donde el 51% es del sexo masculino y el 49% es del sexo femenino. El corregimiento con mayor número de habitantes es el corregimiento de Penonomé con más de 20,000 habitantes. Seguidos por los corregimientos de Pocrí y Pajonal que presentan más de 10,000 habitantes. Posteriormente le siguen el grupo de corregimientos conformados por Barrios Unidos, Natá, El Coco y Cañaveral con más de 5,000 habitantes. El resto de los corregimientos presentan una población inferior a los 5,000 habitantes (Figura 15).

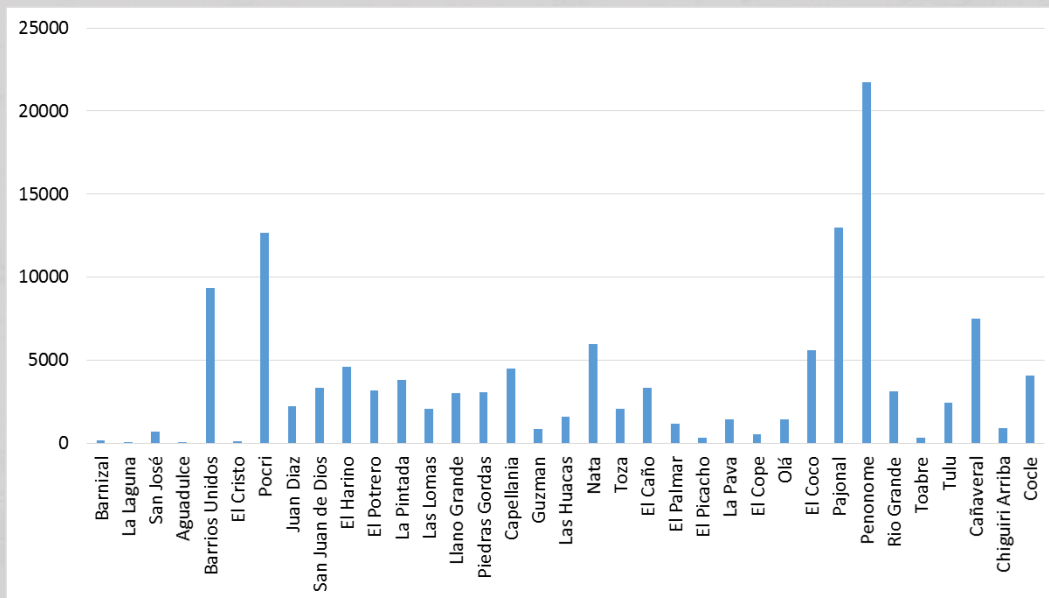


Figura 15. Distribución de la población por corregimiento – cuenca del río Grande.

En cuanto a densidad de población sobresale el corregimiento de Pocrí como el más densamente poblado a nivel de toda la cuenca. Este corregimiento alcanza una densidad superior a 800 habitantes/Km². En segunda

instancia le sigue el corregimiento de Penonomé con una densidad de casi 400 habitantes/Km². Posteriormente se encuentra Barrios Unidos con una densidad superior a 200 habitantes/Km². Adicionalmente se encuentran los corregimientos de San Juan de Dios y Cañaveral con densidades superiores a los 100 habitantes/Km². El resto de los corregimientos presentan densidades inferiores a 100 habitantes/Km² (Figura 16).

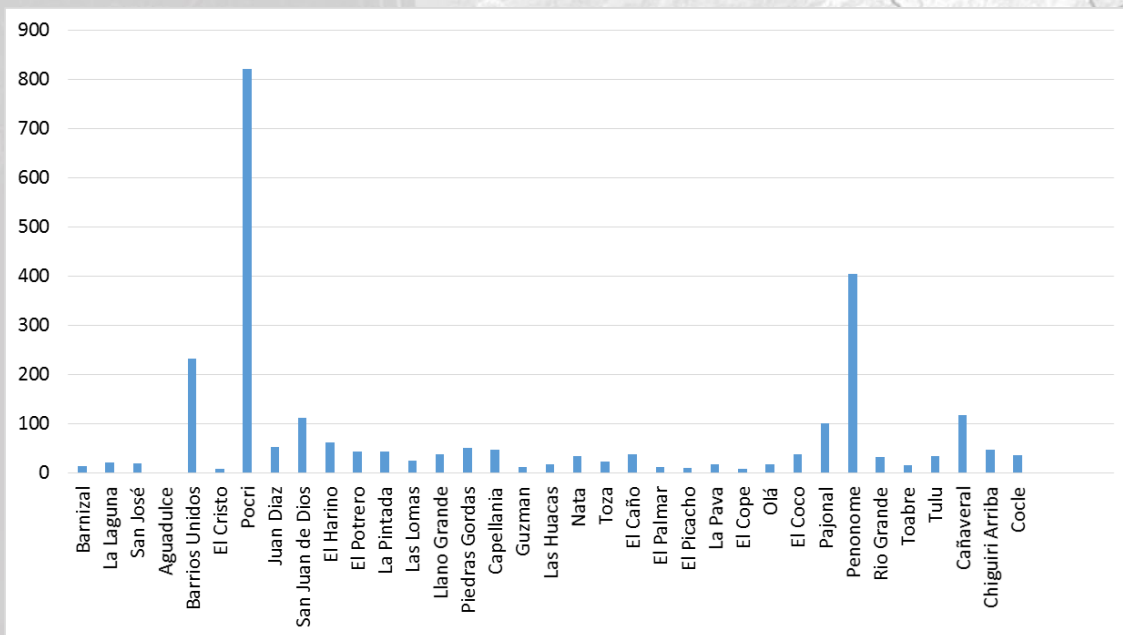


Figura 16. Densidad de población (habitantes/km²) por corregimiento – cuenca del río Grande.

En lo referente a vivienda, el corregimiento de Penonomé es el que presenta mayor número de viviendas con una cantidad superior a las 5,000. Seguido por el corregimiento de Pocrí con una cantidad superior a los 3,000. Mientras que los corregimientos de Barrios Unidos y Pajonal presentan cantidades de vivienda que superan a las 2,000. El resto de los corregimientos presentan menos de 1,000 viviendas (Figura 17).

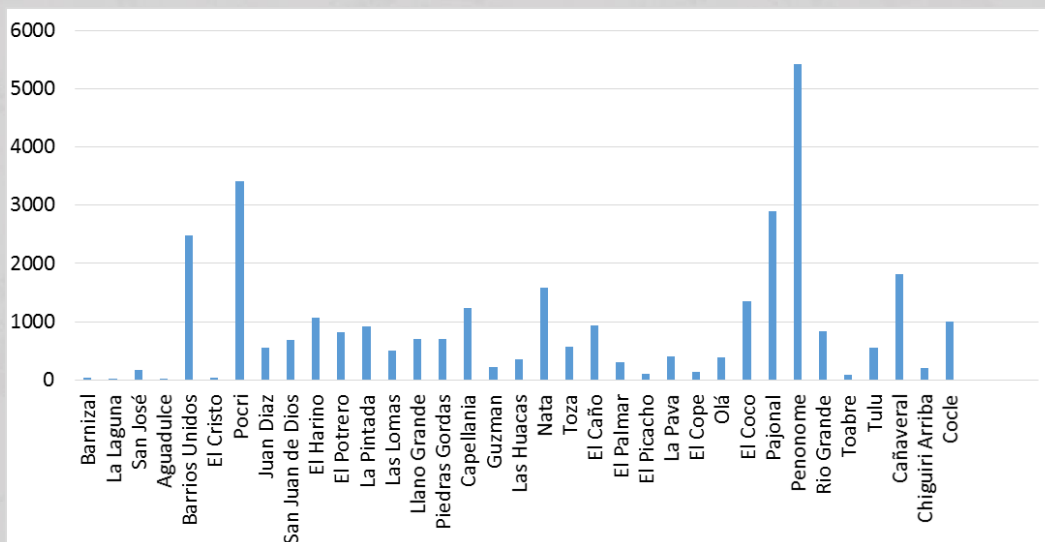


Figura 17. Viviendas por corregimiento en la cuenca del río Grande.

A nivel de pobreza, el distrito de Aguadulce es el que presenta menores niveles de pobreza con alrededor de 14.5%. Los distritos de Natá y Antón presentan niveles entre 28% y 30% y el distrito de Penonomé registra 38.4%. Los distritos de La Pintada, Calobre y Olá presentan niveles de pobreza superior al 47%.

Comarca Ngobe Bugle



4. METODOLOGÍA

4.1. Herramienta SWAT

La aplicación SWAT (por sus siglas en inglés) es una herramienta para la evaluación de suelo y agua de la vertiente de un río o de una cuenca hidrográfica. Funciona sobre la plataforma de ArcGIS y QGIS y fue desarrollada por el Dr. Jeff Arnold del Servicio de Investigación Agrícola (ARS, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para predecir los impactos de la práctica de manejo de suelo en el agua, sedimentos y producción de sustancias químicas agrícolas en cuencas de gran tamaño. SWAT integra varios modelos del ARS y es consecuencia directa del modelo SWRRB1 (Simulador para Recursos de Agua en Cuencas Hidrográficas Rurales; William et al., 1985; Arnold et al., 1990). El SWRRB es un modelo continuo de paso del tiempo que fue desarrollado para simular las cargas de origen de las cuencas hidrográficas.

A nivel de antecedentes, los modelos que contribuyeron al desarrollo del SWAT fueron los siguientes:

- CREAMS2 (Sustancia químicas, escorrentías y erosión de Sistemas de Gestión Agrícola. Knisel, 1980);
- GLEAMS2 (Efectos de la carga de agua subterránea en Sistemas de Gestión Agrícola. Leonard et al., 1987); y
- EPIC4 Calculadora del Impacto de la Erosión-Productividad. (William et al., 1984).

El desarrollo del SWRRB inició con una modificación del modelo diario de hidrología de lluvia de CREAMS. Los mayores cambios a este último fueron en los siguientes:

- Producción de agua en las cuencas;
- Incorporación de agua subterránea o componente de flujo de retorno;
- Incorporación de componente de almacenamiento de depósito;
- Modelo de simulación de tiempo integrando datos para lluvias, radiación solar y temperatura;
- Mejoramiento de métodos para predecir los promedios máximos de escorrentía;
- Incorporación del modelo EPIC de desarrollo de cosecha;
- Incorporación del componente de enrutamiento de flujo;
- Incorporación de componente de transporte para simular movimiento de sedimento a través de estanques, depósitos y valles;
- Cálculo de transmisión de pérdidas.

El desarrollo del SWRRB empezó con una modificación del modelo diario de hidrología de lluvias de CREAMS. Los mayores cambios resultaron en la ampliación de varias subcuencas para predecir la producción de agua en las cuencas, y agregación de agua subterránea o componente de flujo de retorno.

Al final de la década de los 80s, el Departamento de Asuntos Indígenas necesitó un modelo para estimar el impacto del manejo hidrológico en las reservas en Arizona y Nuevo México utilizando el SWRRB. Sin embargo el SWRRB fue utilizado para cuencas de hasta escasos cientos de km² y posee limitaciones de división de la cuenca hasta 10 subcuencas. Adicionalmente, la oficina también quiso simular el flujo de corriente para las cuencas que se extendían más de varios miles de Km². En ese aspecto, se desarrolló un modelo denominado

ROTO dirigiendo las salidas al vertedero (Arnold et al., 1995), que tomó las salidas de múltiples de los recorridos de SWRRB, redirigió los flujos por canales y reservas (depósitos) y venció las limitaciones de las subcuencas de SWRRB. Posteriormente se fusionan SWRRB y ROTO en un solo modelo denominado SWAT, permitiendo la simulación de áreas muy extensas.

SWAT tiene la capacidad de trabajar en 2 fases: la fase terrestre del ciclo hidrológico basado en la ecuación $SWt=SW0 + \Sigma(Rday-Qsurf-Ea-Wseep-Qgw)$, donde:

- SWt= contenido final de agua en el suelo
- SW0= contenido inicial de agua en el suelo en un día
- Rday= cantidad de precipitación en un día
- Qsurf= cantidad de escorrentía de la superficie en un día
- Ea=cantidad de evapotranspiración en un día
- Wseep= cantidad de agua que entra en la zona de vadosa del perfil del suelo en un día
- Qgw= cantidad de flujo de retorno en un día

En términos hidrológicos, el modelo trabaja bajo la lógica que cuando la precipitación descende, el agua puede ser interceptada y contenida en el dosel de la vegetación o caer a la superficie del suelo. Una vez que el agua cae en la superficie del suelo se infiltra en el perfil de la tierra o fluye sobre el terreno como escorrentía, moviéndose rápidamente hacia un canal de corriente y contribuye en un corto plazo con la corriente. El agua infiltrada puede ser contenida en el suelo y evapotranspirada posteriormente; o puede avanzar lentamente al sistema de la superficie – agua a través de pasos subterráneos.

La otra fase - no utilizada para el presente estudio - es conocida como enrutamiento del ciclo hidrológico y está relacionado con la determinación de las cargas de agua, sedimento, nutrientes y pesticidas hacia el canal principal y su dirección por la red de corriente de la cuenca, usando una estructura semejante a la red de corriente de HYMO (William y Han, 1972), permitiendo también la modelación de la transformación de sustancia química en la corriente y cauce.

Para el presente estudio se trabajó el modelo SWAT en la fase terrestre del ciclo hidrológico. Durante su corrida en la etapa inicial se introdujo como dato el modelo de elevación digital de 30 m generado por la Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM, por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA, para obtener la generación de escorrentías y delimitaciones de áreas de aporte tomando como base la capa de las subcuencas hidrográficas generada oficialmente por el Ministerio de Ambiente de la República de Panamá.

En la segunda etapa de la corrida se introdujo al modelo las capas de textura de suelo del IDIAP, uso de suelo y cobertura boscosa de MiAMBIENTE, y se realizó el cálculo de la pendiente de la cuenca de interés. En ese sentido, se obtuvieron las salidas de las unidades de respuesta hidrológica conocidas como HRU.

En la tercera etapa de la corrida se introdujeron datos climáticos relacionados con precipitación, humedad relativa, radiación solar, temperatura máxima y mínima y velocidad del viento. Previo al mencionado proceso, se había introducido al modelo los datos estadísticos relacionados con las variables mencionadas del clima y

que fueron procesados a través de una aplicación en Excel denominada WGEN User. Al culminar la corrida de esta tercera etapa, el modelo SWAT procedió a generar cálculos de diferentes variables características del balance hídrico. Es importante señalar que también se realizaron ejercicios de calibración del modelo para obtener resultados o salidas de balance hídrico confiable.

4.2. Datos de entrada del modelo

Al realizar una modelación hidrológica, la obtención y preparación de los datos de entrada son de gran importancia. Se requiere de un procesamiento y análisis de la información recopilada donde se obtienen mapas, integración de información, formateo de datos, análisis espacial y estadístico de los datos para comprobar su confiabilidad antes de ser ingresados al modelo. Estos datos incluye: Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés), hidrografía, cobertura boscosa y uso de suelo, tipo de suelo, pendiente superficial del terreno y variables climáticas con un mínimo de 30 años de registros.

En cuanto al periodo de modelación, se analizaron 36 años que comprenden desde 1980 – 2015. La selección del periodo se basó en la disponibilidad de los datos meteorológicos e hidrométricos; además, es importante considerar un periodo no menor de 30 años al realizar una modelación que involucre información climática, ya que, de esta manera se logra cubrir la variabilidad climática relevante en el área de estudio.

4.2.1. Cuenca del río La Villa

El DEM utilizado es del proyecto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)² con resolución de 30 metros, básicamente es una representación la altura del terreno respecto al nivel de mar (Figura 18a). Para la cuenca del río La Villa, el DEM refleja una altura máxima de 910 m, que se aproxima al punto más alto en la cuenca, el cerro Manguillo con una elevación de 997 m. A partir del modelo de elevación digital se obtiene la capa de pendiente, otro insumo para la modelación hidrológica (Figura 18b). El 14% del terreno es de pendiente plana, el 22% posee una pendiente ligeramente ondulada, el 29% es de pendiente moderadamente ondulado, el 31% del terreno es de pendiente ondulada y solo el 3.5% del terreno es fuertemente ondulado. En la Tabla 6 podemos observar cuanto representan en Km² estos porcentajes de pendientes para cada clasificación dada.

Tabla 6. Clasificación de la pendiente superficial del terreno en %.

Pendiente (%)	Área (km ²)	% de Área
0 - 3	186.995	14.42
3 - 8	284.195	21.92
8 - 20	377.91	29.15
20 - 45	400.94	30.93
> 45	46.32	3.57
TOTAL	1296.36	100

Nota: 0 – 3% es pendiente plana o casi plana, 3 – 8% es ligeramente ondulado, 8 – 20% es moderadamente ondulado, 20 – 45 es ondulado, mayor que 45% es fuertemente ondulado.

² <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

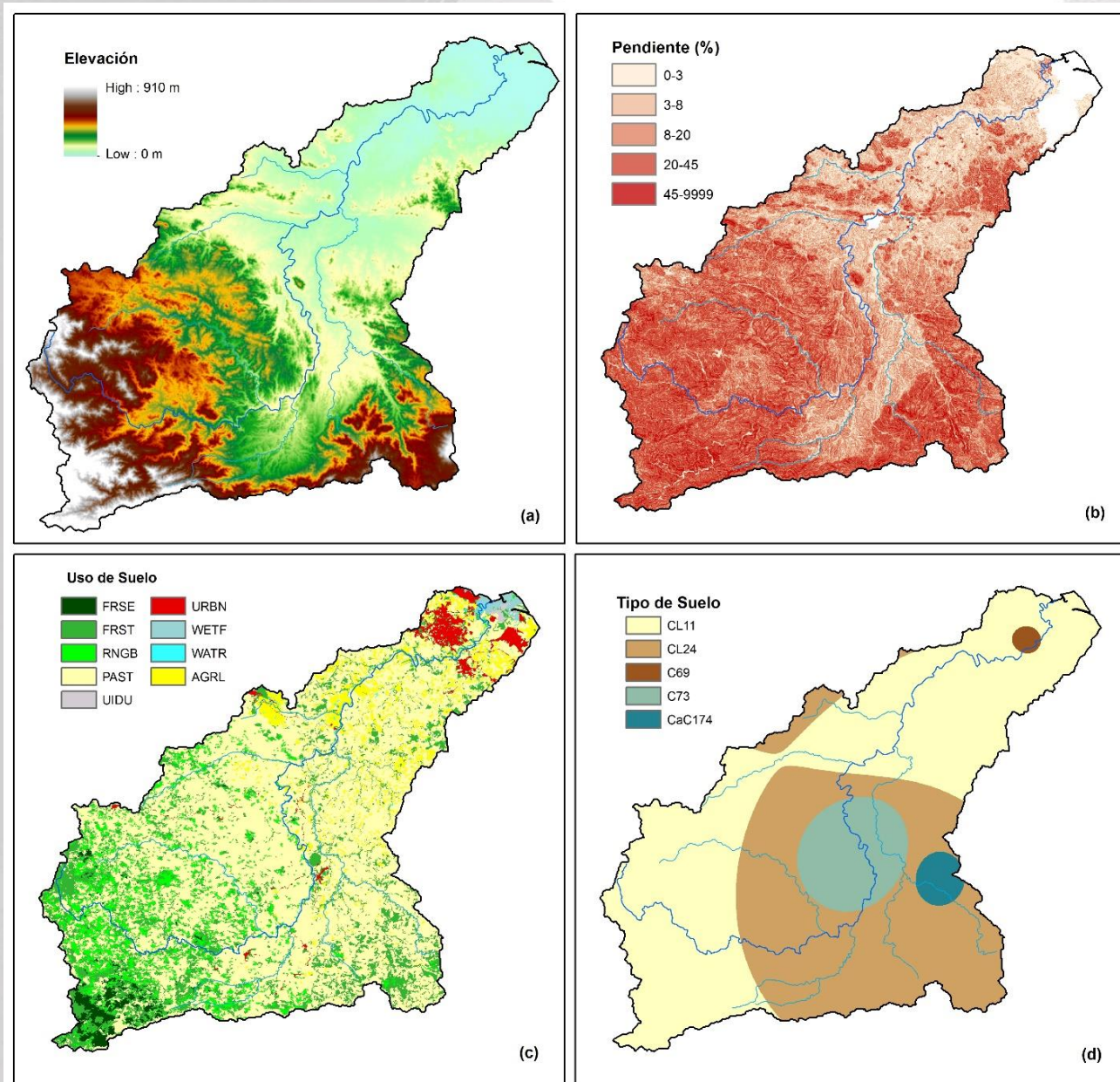


Figura 18. Insumos ingresados al modelo SWAT- Cuenca del río La Villa.
(Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE)

La capa de uso de suelo (Figura 18c) se obtuvo a partir de la base de datos de cobertura boscosa del MiAMBIENTE del 2010. Dentro de las categorías establecidas encontramos: bosque maduro, bosque intervenido, rastrojo, uso agropecuario, suelo desnudo, áreas pobladas, humedales (manglares), aguas y los cultivos individuales fueron agrupados en la categoría de agricultura. Como podemos observar en la Tabla 7, el uso que predomina en esta cuenca es el uso agropecuario, abarcando el 66% de la superficie total de la cuenca.

Tabla 7. Superficie del uso de suelo y cobertura vegetal.

Código	FRSE	FRST	RNGB	PAST	UIDU	URBN	WETF	WATR	AGRL	TOTAL
Área (Km ²)	22.21	192.94	113.86	854.37	1.69	26.59	7.13	4.81	72.51	1296.36
(%)	1.71	14.88	8.78	65.91	0.13	2.05	0.55	0.37	5.59	100

Nota: FRSE – Bosque maduro, FRST – Bosque intervenido, RNGB – Rastrojo, PAST – Uso Agropecuario, UIDU – Suelo desnudo, URBN – Áreas pobladas, WETF – Humedales, WATR – Agua, AGRL – Agricultura.

Para definir las unidades de suelo en la cuenca el modelo requiere parámetros como profundidad, textura, erosión, clase de drenaje, propiedades como alcalinidad, salinidad, conductividad hidráulica, densidad aparente entre otros. Esta información se obtuvo de perfiles de suelo levantados por el Instituto de Investigaciones Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Se contó con seis perfiles de suelos (Tabla 8). Las texturas identificadas en la cuenca fueron arena-arcilloso fino, arcilloso y franco-arcilloso (Figura 18d). En la Tabla 8 se describe el porcentaje de arcilla, limo y arena de cada perfil, entre otras características.

Tabla 8. Característica de los suelos en base a perfiles de IDIAP.

Textura	% Arcilla	% Limo	% Arena	Grupo Hidrológico	Horizontes	Profundidad máxima del perfil (mm)	USLE	UTM X	UTM Y
CL	33.4	42.48	24.11	C	6	1800	0.2143	567516	871910
CL	29.6	33.3	37	C	6	1300	0.1727	555408	882489
C	47.31	25.44	27.24	D	5	1400	0.1768	564291	878815
C	47.6	18.4	34	D	5	800	0.1692	549619	856686
CaCl	24.65	26.71	48.63	C	3	720	0.147	555135	854850

(Fuente: Base de datos de Instituto de Investigaciones Agropecuaria de Panamá)

En cuanto a los datos climáticos, se utilizaron las estaciones que se muestran en la Tabla 9, que describe el número, nombre de la estación, el tipo de estación (AC: tipo A convencional, CC: tipo C convencional, BC: tipo B convencional), elevación y coordenadas UTM. Se dispuso de 11 estaciones meteorológicas, de las cuales 2 de ellas (estación Chepo y Valle Rico) se encuentran fuera de la cuenca (Figura 19).

Tabla 9. Estaciones meteorológicas utilizadas en la cuenca del río La Villa.

Número	Nombre	Tipo de Estación	Elevación	Longitud	Latitud
128-001	Los Santos	AC	16	564201.3	877801.9
128-003	Las Minas	CC	350	529401.8	860354.4
128-004	Macaracas	CC	111	549621.8	854843.8
128-005	La Mesa de Macaracas	CC	180	542280.2	843781.4
128-006	Los Pozos	CC	260	538590	860361.1
128-010	Pese	CC	80	542253.5	873262.1
128-011	Llano de Piedra	CC	150	547793.2	845629.1
128-012	Pitaloza Arriba	CC	380	536765.3	843776.8
128-016	Pan de Azucar	CC	250	533081	854829.2
122-006	Chepo	BC	680	519603.7	854176.8
126-010	Valle Rico	BC	173	571358.1	842679.8

(Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica S.A - ETESA, Gerencia de Hidrometeorología)

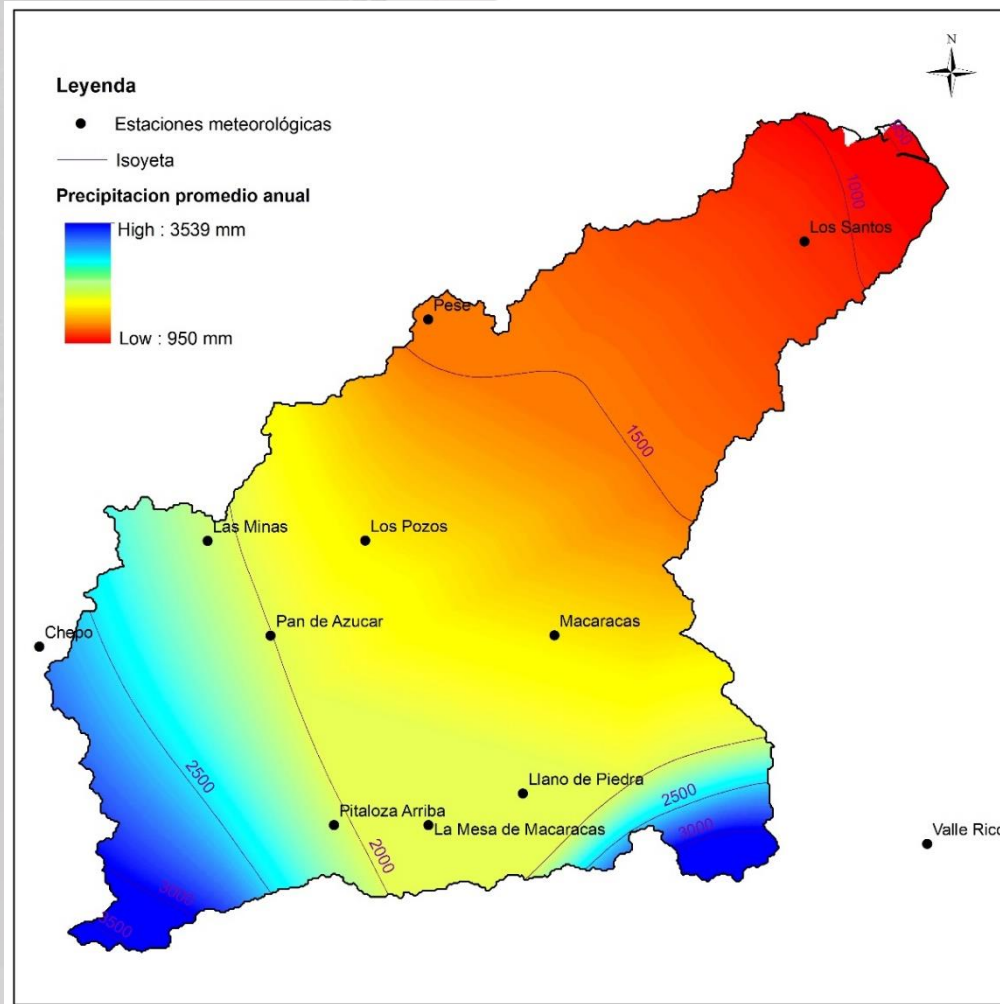


Figura 19. Mapa de estaciones meteorológicas utilizadas y promedio anual de lluvia en la cuenca del río La Villa.
 (Elaborado por CATHALAC con datos de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A - ETESA, Gerencia de Hidrometeorología y MiAMBIENTE)

Las estaciones tienen una mejor distribución en la parte media de la cuenca; sin embargo, en la parte alta y baja existe una deficiencia en estaciones que puede influir a la hora de representar la climatología en la modelación, ya que la precipitación es la principal entrada de agua en la cuenca, por ende, es necesario tener una cobertura que ayude a representar lo mejor posible la variable, en este caso la precipitación. Debido a la limitación de información de las otras variables que requiere el modelo, para la temperatura máxima y mínima se tomó en cuenta los datos de tres estaciones: Los Santos (1980-2015), Chepo (1980-2013) y Valle Rico (1980-2014).

Para humedad relativa se dispuso de registros de la estación de Los Santos con un periodo desde 1980 – 2015; la estación de Valle Rico con el periodo de 1980-1988, y la estación de Chepo que comprende el periodo 1980-2009. Para los datos de velocidad de viento y radiación solar se dispuso únicamente de registros de la estación Los Santos en los periodos comprendidos 1980 – 2015 y 1980 – 2014 respectivamente. Para estas dos variables antes mencionadas no se contó con ninguna estación que estuviera en la parte media o alta de la cuenca.

4.2.2. Cuenca del río Santa María

Se utilizó el modelo de elevación digital del proyecto SRTM con resolución de 30 m (Figura 20a).

Comarca Ngobe Bugle

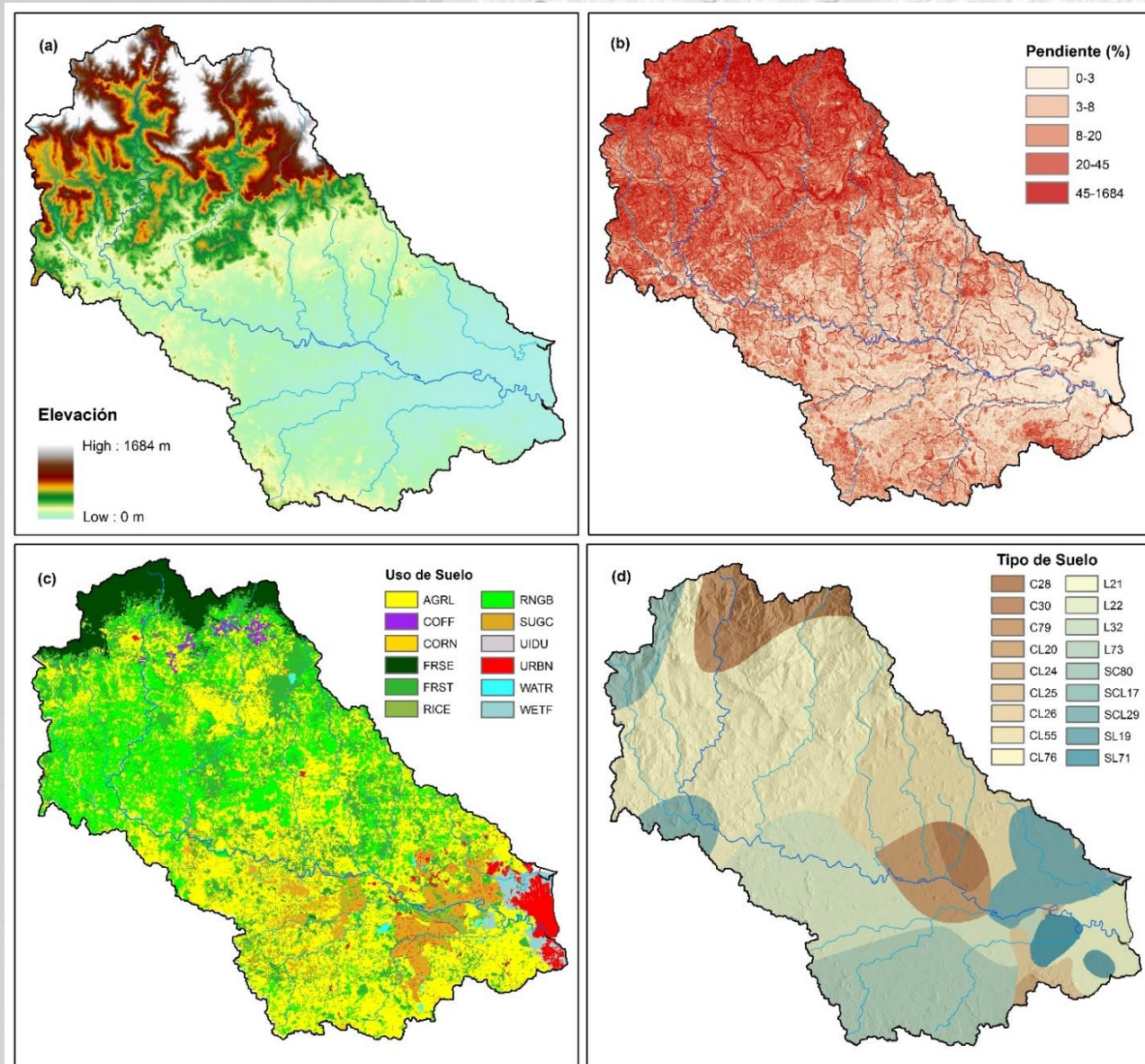


Figura 20. Insumos ingresados al modelo SWAT- Cuenca del río Santa María.
(Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE)

Con los datos de elevación del DEM se construyó la capa de pendiente (Figura 20b), que describe la inclinación del terreno en porcentaje. Esta capa se clasificó en 5 categorías tal y como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Clasificación de la pendiente superficial del terreno en %.

Pendiente (%)	Área (km ²)	% de Área
0 - 3	735.59	21.88
3 - 8	772.13	22.97
8 - 20	760.51	22.62
20 - 45	685.05	20.38
> 45	408.91	12.16
TOTAL	3362.19	100.00

Nota: 0 – 3% es pendiente plana o casi plana, 3 – 8% es ligeramente ondulado, 8 – 20% es moderadamente ondulado, 20 – 45 es ondulado, mayor que 45% es fuertemente ondulado.

Para la capa de uso de suelo (Figura 20c), se tomó como base la información de cobertura boscosa del 2010 del MiAMBIENTE. Las categorías que se determinaron para la cuenca del río Santa encontramos: agricultura que abarca el mayor porcentaje de superficie en todos los usos (42%), café, maíz, bosque maduro, bosque intervenido, arroz, rastrojo, caña de azúcar suelo desnudo, áreas pobladas, agua y humedales (Tabla 11).

Tabla 11. Superficie del uso de suelo y cobertura vegetal.

Código	AGRL	COFF	CORN	FRSE	FRST	RICE	RNGB	SUGC	UIDU	URBN	WATR	WETF	TOTAL
Área (Km ²)	1428.5	21.65	2.56	179.81	583.59	12.86	754.1	235.99	7.25	70.37	30.65	34.86	3362.19
(%)	42.49	0.64	0.08	5.35	17.36	0.38	22.43	7.02	0.22	2.09	0.91	1.04	100.00

Nota: AGRL – Agricultura, COFF – Café, CORN – Maíz, FRSE – Bosque maduro, FRST – Bosque intervenido, RICE – Arroz, RNGB – Rastrojo, SUGC – Caña de azúcar, UIDU – Suelo desnudo, URBN – Áreas pobladas, WATR – Agua, WETF – Humedales.

Para elaborar la capa de tipo de suelo se dispuso de 18 perfiles, según la información obtenida del IDIAP. Las texturas identificadas en la cuenca con base a los perfiles fueron: arcillosa, franco, arcillo-arenosa, franco-arcillosa, franco-arcillo-arenosa y franco-arenosa. Algunas características principales que se describen de los perfiles son: los porcentajes de textura, limo y arcilla, el grupo hidrológico al que pertenecen, los horizontes, la profundidad máxima del perfil, el coeficiente de USLE y la coordenada del perfil (Tabla 12).

Tabla 12. Característica de los suelos en base a perfiles de IDIAP.

Textura	% Arcilla	% Limo	% Arena	Grupo Hidrológico	Horizontes	Profundidad máxima del perfil (mm)	USLE	UTM X	UTM Y
SCL	17	48	35	C	6	1140	0.13833	490914	911630
SL	56	28	17	B	4	1270	0.1075	550317	891389
CL	36	28	37	C	4	1300	0.1275	526527	905710
L	45	42	14	C	4	1250	0.1125	553833	894341
L	45	42	14	C	4	1300	0.1125	503672	903430
CL	37	30	33	C	6	1300	0.13167	555409	882489
CL	25	46	30	C	4	1320	0.1325	543545	899029
CL	34	38	28	C	5	1300	0.138	538806	894326
C	22	36	42	D	3	920	0.15667	544647	899030
SCL	49	22	29	C	7	1300	0.12571	535374	899881
C	33	24	43	D	6	1240	0.11833	531851	906051

(Fuente: Base de datos de Instituto de Investigaciones Agropecuaria de Panamá)

Tabla 12. Características de los suelos en base a perfiles de IDIAP (Continuación).

Textura	% Arcilla	% Limo	% Arena	Grupo Hidrológico	Horizontes	Profundidad máxima del perfil (mm)	USLE	UTM X	UTM Y
L	41	39	20	C	5	1270	0.124	543086	899028
CL	29	32	39	C	5	1000	0.124	552050	926861
SL	26	54	17	C	6	2000	0.10667	544071	893532
L	34	50	18	C	4	750	0.1075	549620	856686
CL	43	17	39	C	2	720	0.125	516511	935892
C	34	27	40	D	4	1100	0.14	496178	937609
SC	47	14	39	C	4	1150	0.1575	479483	933130

(Fuente: Base de datos de Instituto de Investigaciones Agropecuaria de Panamá)

En cuanto a las estaciones meteorológicas se dispuso de 22 estaciones, donde 19 se encuentran dentro de perímetros de la cuenca y se agregaron 3 estaciones fuera de la cuenca (Cañazas, Cerro Redondo y Canto del Llano) ya que debido a la proximidad con la cuenca se encuentra en la zona de influencia de la estación. En la Tabla 13 se describe el número de la estación, nombre, tipo de estación (CM: tipo C mixta, BC: tipo B convencional, CC: tipo C convencional, AA: tipo A automática), elevación y coordenadas UTM.

Tabla 13. Estaciones meteorológicas utilizadas en la cuenca del río Santa María.

Número	Nombre	Tipo de Estación	Elevación	Longitud	Latitud
132-001	El Palmar	CM	1000	491440.5	943690.2
132-003	Los Valles	BC	580	479818.7	932208.8
132-004	Loma Llana	CC	219	509171.3	941417.9
132-005	Sitio de Desvio	CC	640	516510.6	935892.4
132-006	Laguna La Yeguada	BC	640	516388.7	934725.3
132-007	Laguna San Juan	CC	800	518344.3	937735.7
132-008	Cerro Verde	CC	800	517365.0	940069.2
132-009	El Flor	CC	550	516511.3	934049.8
132-010	Calobre	CM	120	517893.4	919002.7
132-012	Divisa	AA	12	532589.5	899817.7
132-013	Los Canelos	CC	25	533050.4	897207.8
132-014	San Francisco	BC	87	503671.0	911936.1
132-016	San Juan	CC	100	498164.7	917463.6
132-017	Casa Maquina	CC	270	516513.4	928522.1
132-018	Santa Rosa del Espino	CC	55	522034.5	895358.5
132-033	Santa Fe	BC	463	491959.6	940496.4
132-035	Ingenio Santa Rosa	BC	26	536716.7	904580.9
132-036	Cuaycito	CC	500	488992.5	934048.0
132-037	Ingenio La Victoria	BC	30	522029.0	906413.8
118-002	Cañazas	BC	200	477029.1	919066.5
120-001	Cerro Redondo	CC	170	477928.1	906353.1
120-004	Canto del Llano	CC	150	503672.3	897195.7

(Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica S.A - ETESA, Gerencia de Hidrometeorología)

Las 22 estaciones constan de registros de precipitación distribuidas uniformemente en la cuenca. En la Figura 21 podemos evidenciar el comportamiento de la precipitación en la cuenca; la precipitación anual promedio

más baja es de 950 mm y la más alta 3,539 mm. Sin embargo, en estas zonas donde las precipitaciones son extremas no se cuenta con estaciones de lluvia.

En cuanto a los datos de temperatura máxima y mínima se dispuso de las estaciones de la Laguna La Yeguada (1980-2014) ubicada en la parte alta, Divisa (1980-2015) localizada en la parte baja, San Francisco (1980-1999) en la parte media, Santa Fe (1980-2015) ubicada en la parte alta, y Cañazas (1980-20015) en la parte alta de la cuenca. En cuanto a la humedad relativa, las estaciones que cuentan con registros son: Laguna La Yeguada, Divisa, San Francisco y Santa Fe. Solo dos estaciones cuentan con registros de viento: Laguna La Yeguada y Divisa. Por último, para la radiación solar solamente Divisa cuenta con registros para el periodo de análisis.

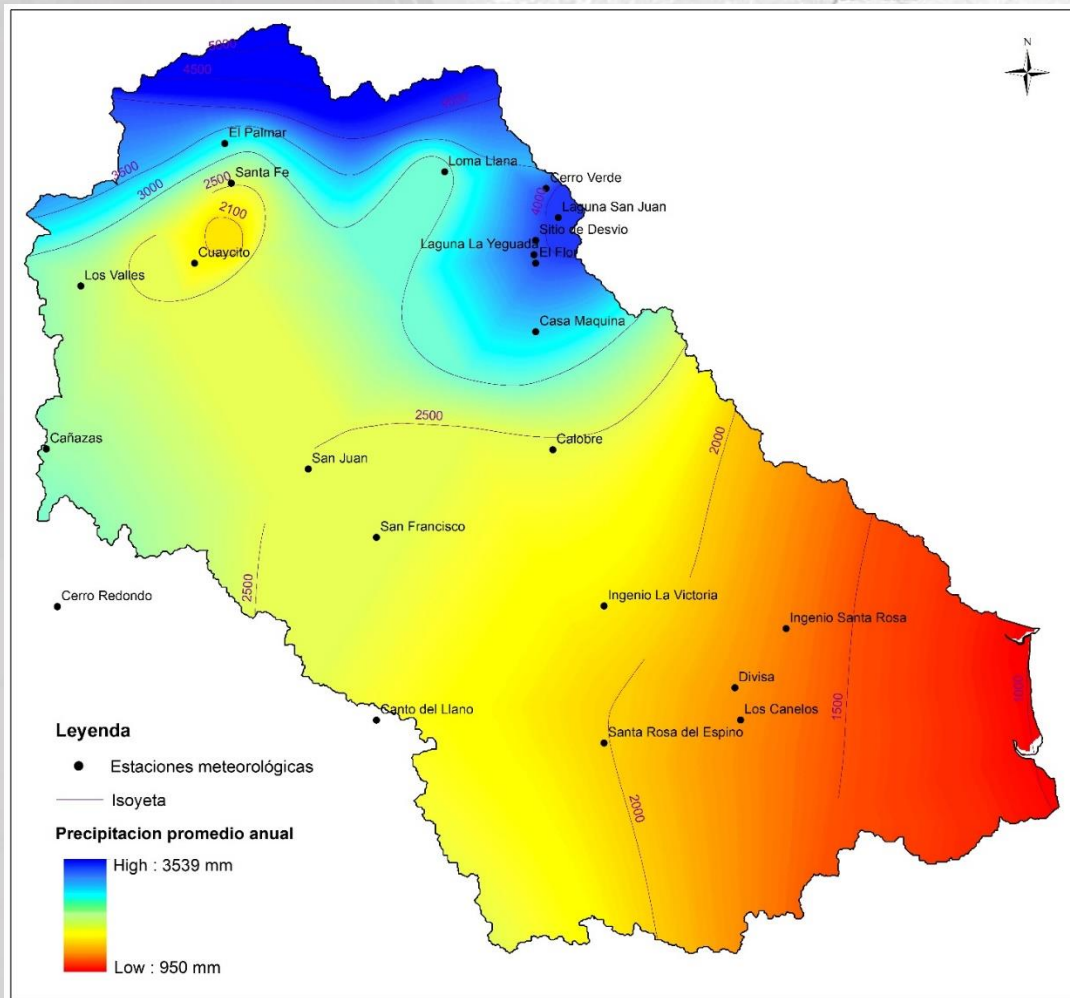


Figura 21. Mapa de estaciones meteorológicas utilizadas y promedio anual de lluvia en la cuenca del río Santa María. (Elaborado por CATHALAC con datos de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A - ETESA, Gerencia de Hidrometeorología y MiAMBIENTE)

4.2.3. Cuenca del río Grande

Se utilizó el modelo de elevación digital del proyecto SRTM con resolución de 30 (Figura 22a).

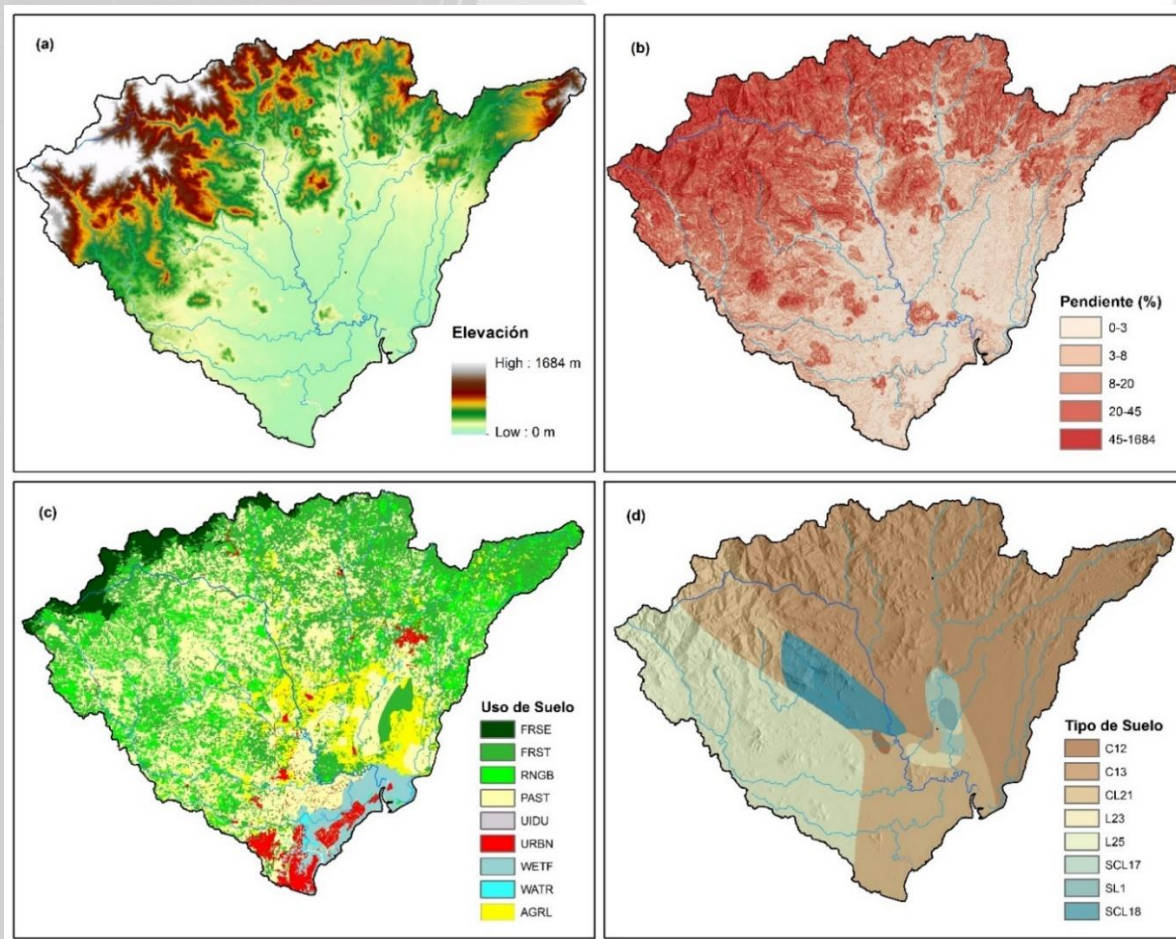


Figura 22. Insumos ingresados al modelo SWAT- Cuenca del río Grande.
(Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE)

A partir del modelo de elevación digital se construyó la capa de pendiente, donde el 32% de la superficie de la cuenca presenta terrenos planos con pendientes menores a 3%, mientras que el 28% de la superficie corresponden a terrenos ondulados con pendientes que están entre 20% a 45%. El 34% del terreno de la cuenca corresponden a terrenos que están entre las categorías de ligeramente ondulados a moderadamente ondulados. Los terrenos con pendientes mayores a 45% representan solo el 6% de la superficie total de la cuenca (

Tabla 14, Figura 22b).

Tabla 14. Clasificación de la pendiente superficial del terreno en %.

Pendiente (%)	Área (km ²)	% de Área
0 - 3	768.08	32.21
3 - 8	300.27	12.59
8 - 20	510.06	21.39
20 - 45	663.36	27.82
> 45	142.47	5.98
TOTAL	2384.24	100

Nota: 0 – 3% es pendiente plana o casi plana, 3 – 8% es ligeramente ondulado, 8 – 20% es moderadamente ondulado, 20 – 45 es ondulado, mayor que 45% es fuertemente ondulado.

Se dispuso de 8 perfiles de suelos para construir la capa de tipo de suelo que fueron suministradas por el IDIAP (Figura 22c). Las texturas identificadas fueron: franco-arenosa, arcillosa, franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa y franco. Los perfiles poseen entre 3 a 6 horizontes y el perfil con mayor profundidad es de 1150 milímetros. En la Tabla 15 se describe el porcentaje de arcilla, limo y arena de cada perfil, entre otras características.

Tabla 15. Característica de los suelos en base a perfiles de IDIAP.

Textura	% Arcilla	% Limo	% Arena	Grupo Hidrológico	Horizontes	Profundidad máxima del perfil (mm)	USLE	UTM X	UTM Y
SL	7.7	29	63.3	B	5	1000	0.14	563910	931269
C	44	26.8	29.2	C	5	1150	0.11	553089	927507
C	50.4	13.6	36	D	5	1000	0.11	565162	932499
SCL	34.4	16	49.6	C	5	1020	0.11	564222	926724
SCL	28.3	61.7	10	C	6	1080	0.14	555412	928862
CL	36	36.8	27.2	C	5	1000	0.12	558725	921188
L	25	33.5	41.5	C	4	1000	0.13	558718	926716
L	17.3	39.3	43.3	C	3	800	0.11	516511	935892

(Fuente: Base de datos de Instituto de Investigaciones Agropecuaria de Panamá)

En cuanto a las categorías de cobertura vegetal que están presentes en la cuenca (Figura 22c, Tabla 16), se incluyen desde bosques maduros pasando por bosques intervenidos, humedales (manglares) y rastrojo; los usos de suelo abarca desde los pastos (usos agropecuarios), suelos desnudos (suelos sin vegetación), áreas pobladas y usos agropecuarios (cultivos de arroz y caña de azúcar). Las estadísticas para la cuenca indican que la cobertura vegetal representa el 51% (1,220.1 Km²) y los usos de suelo 49% (1,164.1 Km²).

Tabla 16. Superficie del uso de suelo y cobertura vegetal.

Código	FRSE	FRST	WETF	RNGB	PAST	AGRL	UIDU	URBN	WATR	TOTAL
Área (Km ²)	87.7	677.7	78.9	375.9	881.5	193.2	0.3	71.4	17.6	2384.2
(%)	3.6	28.4	3.3	15.7	36.9	8.1	0.01	3	0.7	100

Nota: FRSE – Bosque Maduro, FRST – Bosque Intervenido, WETF – Humedales, RNGB – Rastrojo, PAST – Uso Agropecuario, AGRL – Agricultura, UIDU – Suelo Desnudo, URBN – Áreas Pobladas, WATR – Agua.

Se recopiló información de 18 estaciones meteorológicas, de las cuales 5 de estas se ubican fuera de la cuenca. Estas estaciones son: Toabre ubicada en la cuenca del río Coclé del Norte, las estaciones El Valle y Antón pertenecientes a la cuenca del río Antón, y la estación Santa Rita pertenece a la cuenca de los ríos

entre el Antón y el Caimito. En la Tabla 17 se describe el número, el nombre, y el tipo de estación (CC: tipo C convencional, AM: tipo A mixta, AA: tipo A automática), elevación y coordenadas UTM. De igual forma en la Figura 23 se muestra la ubicación de las estaciones y su distribución en la cuenca. Las 18 estaciones cuentan con registros de lluvia. Para los datos de temperatura máxima y mínima, viento, humedad relativa, viento y radiación solar, se contó con registros de dos estaciones: El Copé (1988-2014) y Antón (1980-2015).

Tabla 17. Estaciones meteorológicas utilizadas en la cuenca del río Grande

Número	Nombre	Tipo de Estación	Elevación	Longitud	Latitud
134-001	El Cortezo	CC	60	544041.6	923013.6
134-002	El Harino	CC	185	549512.8	952427.8
134-003	Río Grande	CC	20	556914.3	930435.9
134-004	El Cope	AM	400	546100.9	953308.4
134-005	La Pintada	CC	60	560521.2	948793.7
134-008	Sonadora	CC	168	573402.6	945165.6
134-019	Las Huacas	CC	440	527517.6	935934.9
134-020	Río Hondo	CC	22	569693.6	924926.7
134-021	Las Lajas	CC	58	569675.8	935982.7
134-022	Puerto Posada	CC	15	566060.2	924921.0
134-023	Las Sabanas	CC	700	534883.3	946995.8
134-024	Ola	CC	100	538529.7	930415.5
134-025	Llano Grande	CC	100	560513.3	954321.7
134-026	Churuquita G.	CC	200	580652.0	952586.5
105-005	Toabre	CC	354	571624.6	955223.7
136-001	El Valle	CC	580	592425.0	953053.0
136-002	Antón	AA	33	580723.4	926767.4
138-008	Santa Rita	CC	180	589383.0	939492.2

(Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica S.A - ETESA, Gerencia de Hidrometeorología)

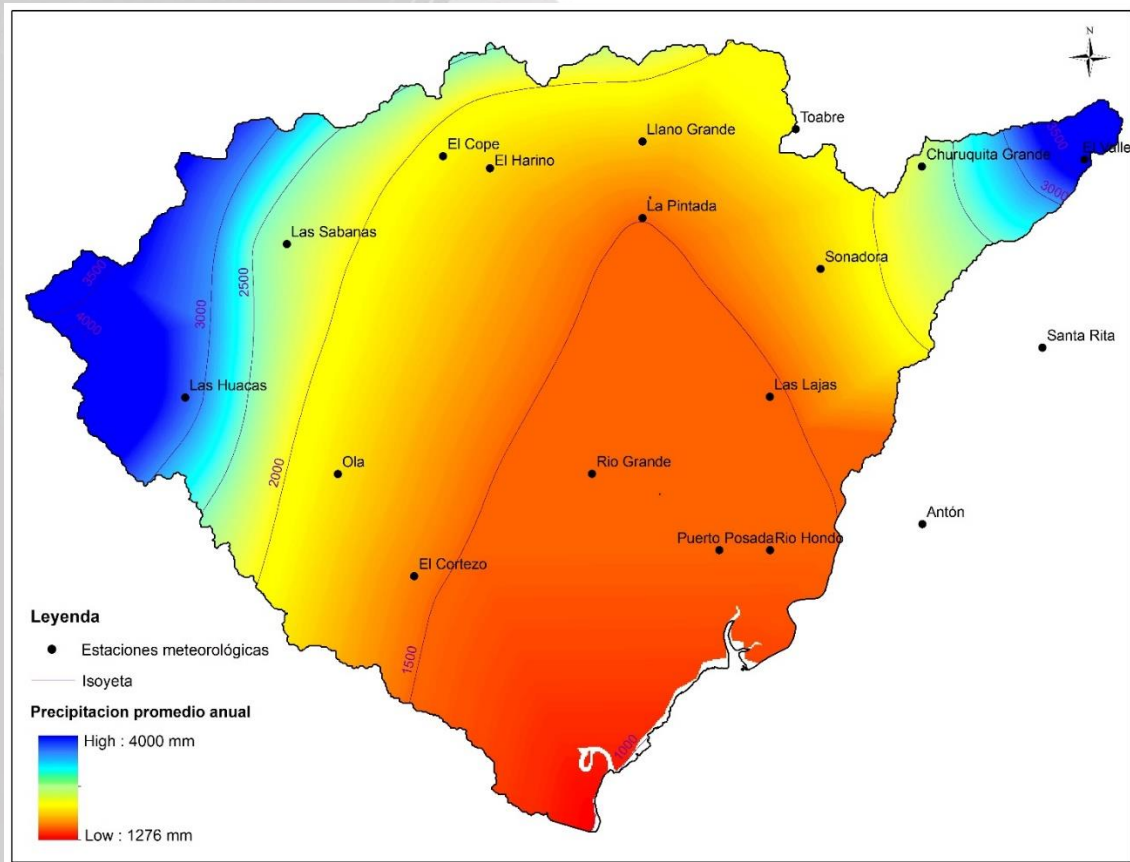


Figura 23. Mapa de estaciones meteorológicas utilizadas y promedio anual de lluvia en la cuenca del río Grande.

(Elaborado por CATHALAC con datos de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A - ETESA, Gerencia de Hidrometeorología y MiAMBIENTE)

4.3. Análisis de la demanda interna y externa

Para el análisis de la demanda de agua en el área de estudio se dispuso de registros oficiales de concesiones vigentes³ de la Dirección de Gestión de Cuencas Hidrográficas del Ministerio de Ambiente. Por parte de la Dirección del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Ministerio de Salud se obtuvo la base de datos de las Juntas Administradoras de Acueductos Rurales (JAARs) en la plataforma del SIASAR⁴; y del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales se obtuvo la base de datos de las potabilizadoras localizadas en el área de estudio. El conjunto de esta base de datos se clasificó en las siguientes categorías:

- Agrícola
- Agropecuario (cuando el agua es destinada tanto para uso agrícola como pecuario)
- Pecuario
- Industrial
- Turístico/recreativo
- Doméstico comercial
- Doméstico autoconsumo

³ Se hizo uso de las concesiones que estaban en estado vigente, aquellas en estado de trámite no se consideraron en el análisis.

⁴ <http://www.siasar.org/es/paises/panama>

- Belleza estética
- Hidroeléctrico
- Acuícola

La base de datos esta sistematizada en función de los cinco (5) meses de la temporada seca (diciembre a abril) y de los siete (7) meses de la temporada lluviosa (mayo a noviembre), es decir, el volumen de agua otorgado en ciertas concesiones es diferente en ambas temporadas; para otros casos el volumen de agua concesionado es el mismo durante todo el año.

Cabe destacar que la demanda interna es aquella que se georreferencia dentro de la cuenca en estudio y la demanda externa es aquella donde el área o el sitio de esta fuera de la cuenca pero, pero la fuente de abastecimiento es de fuentes superficiales o subterráneas de la cuenca en estudio. Para las tres cuencas en análisis no tienen registros oficiales de demanda externa.

4.3.1. Cuenca del río La Villa

Los tipos de demandas que encontramos en la cuenca son: acuícola, agrícola, doméstico, industrial y pecuario. En la Figura 24 se presenta la distribución espacial de las demandas con su clasificación y en la Figura 25 se presenta el volumen total demandado en millones de metros cúbico (Mm^3) al año. Las subcuencas río Quebrada Pesé, río Estibaná y río La Villa (bajo) ubicadas en la parte media y baja de la cuenca son las que presentan mayor demanda; en la parte alta la densidad de demandas es menor.

La demanda doméstica es de $21.66 Mm^3$ al año. El mayor volumen (86.8%) de la demanda doméstica se concentra en las potabilizadoras establecidas en la cuenca: Chitré, Rufina Alfaro, Macaracas y Llano de Piedra; las dos primeras ubicadas en la subcuenca río La Villa (bajo) y las otras dos en la subcuenca río Estibaná. El 13.2% de esta demanda está constituida por las JAARs que hacen un número total de 44.

La demanda para el uso acuícola representa un total de $26.8 Mm^3$ al año y está ubicado en la parte baja en la subcuenca río La Villa (bajo). A nivel mensual el volumen demandado es de $2.23 Mm^3$, manteniéndose constante a lo largo del año. A pesar que solo hay una sola concesión destinada para el uso acuícola, este es el de mayor demanda en la cuenca.

Los usos agrícolas esta ubicados en la subcuenca río Quebrada Pesé; y demandan un total de $3.6 Mm^3$; donde el 31% del volumen es aprovechado en la temporada seca, mientras que el 69% se utiliza en la temporada lluviosa. Igualmente el uso industrial lo encontramos mayormente en la subcuenca río Quebrada Pesé y río La Villa (bajo). Para abastecer esta demanda se utiliza un total de $7.01 Mm^3$ anualmente; durante los meses secos la demanda es de $0.8 Mm^3$ al mes, mientras que en los meses lluviosos disminuye a $0.41 Mm^3$ al mes. El uso pecuario se ubica en la subcuenca río Quebrada Pesé con $0.016 Mm^3$ aprovechados al año. El aprovechamiento mensual es de $0.001 Mm^3$ y se mantiene constante durante todos los meses del año. Este uso es el de menor demanda en toda la cuenca.

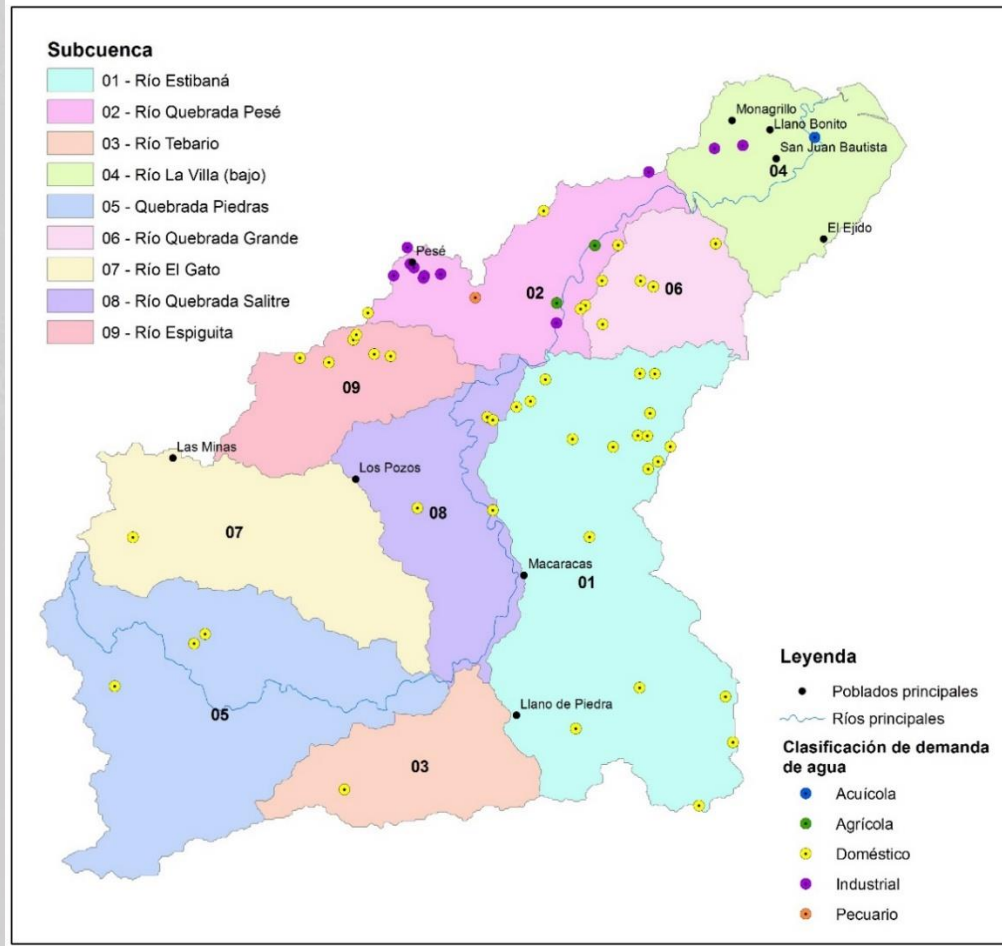


Figura 24. Clasificación de demanda de agua en la cuenca del río La Villa.
(Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE, IDAAN y SIASAR)

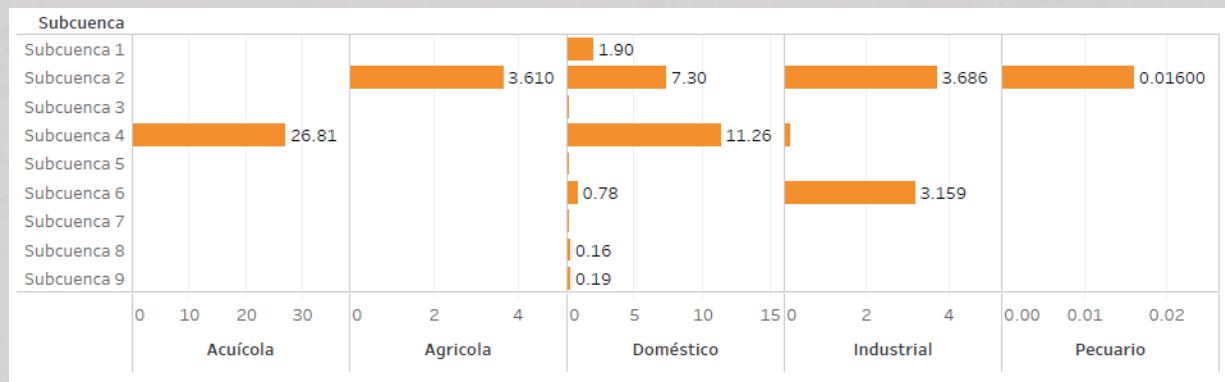
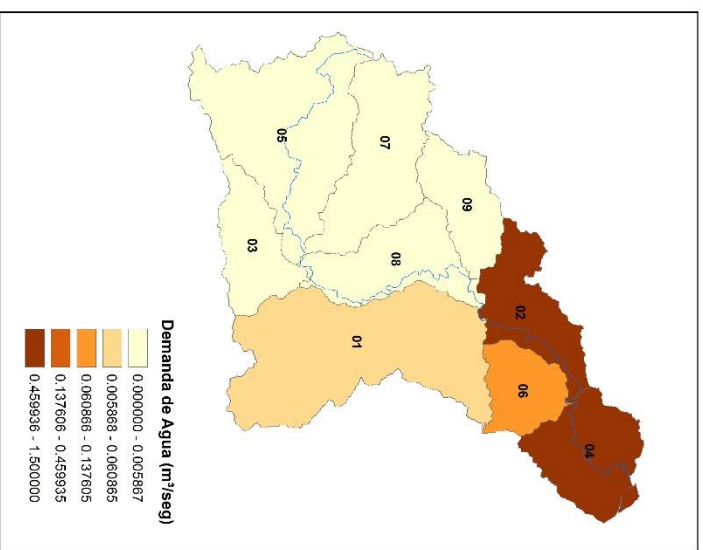


Figura 25. Demanda anual por subcuenca en millones de metros cúbicos (Mm³) en la cuenca del río La Villa
(A partir de datos de MiAMBIENTE, IDAAN y SIASAR)

En la Figura 26 se muestra el mapa donde se integran las demandas por subcuencas (promedio anual y mensual) en unidades de m³/s. Se observa a escala espacial las subcuencas con mayor o menor demanda del recurso hídrico, reflejando claramente que el número de concesiones no determinan una alta demanda, sino el volumen de agua concesionado.



PROMEDIO MENSUAL, PERIODO 1980 - 2015



Número	Subcuenca	Area (km ²)
1	Región Hidrográfica - Río Estibana	305.61
2	Región Hidrográfica - Río-Quebrada Pesé	103.55
3	Región Hidrográfica - Río Tebario	89.06
4	Región Hidrográfica - Río La Villa (bajo)	116.00
5	Región Hidrográfica - Quebrada Piedras	251.91
6	Región Hidrográfica - Río - Quebrada Grande	69.19
7	Región Hidrográfica - Río el Caño	158.85
8	Región Hidrográfica - Río - Quebrada Salitre	119.75
9	Región Hidrográfica - Río Esquiuguita	82.43
TOTAL		1296.36

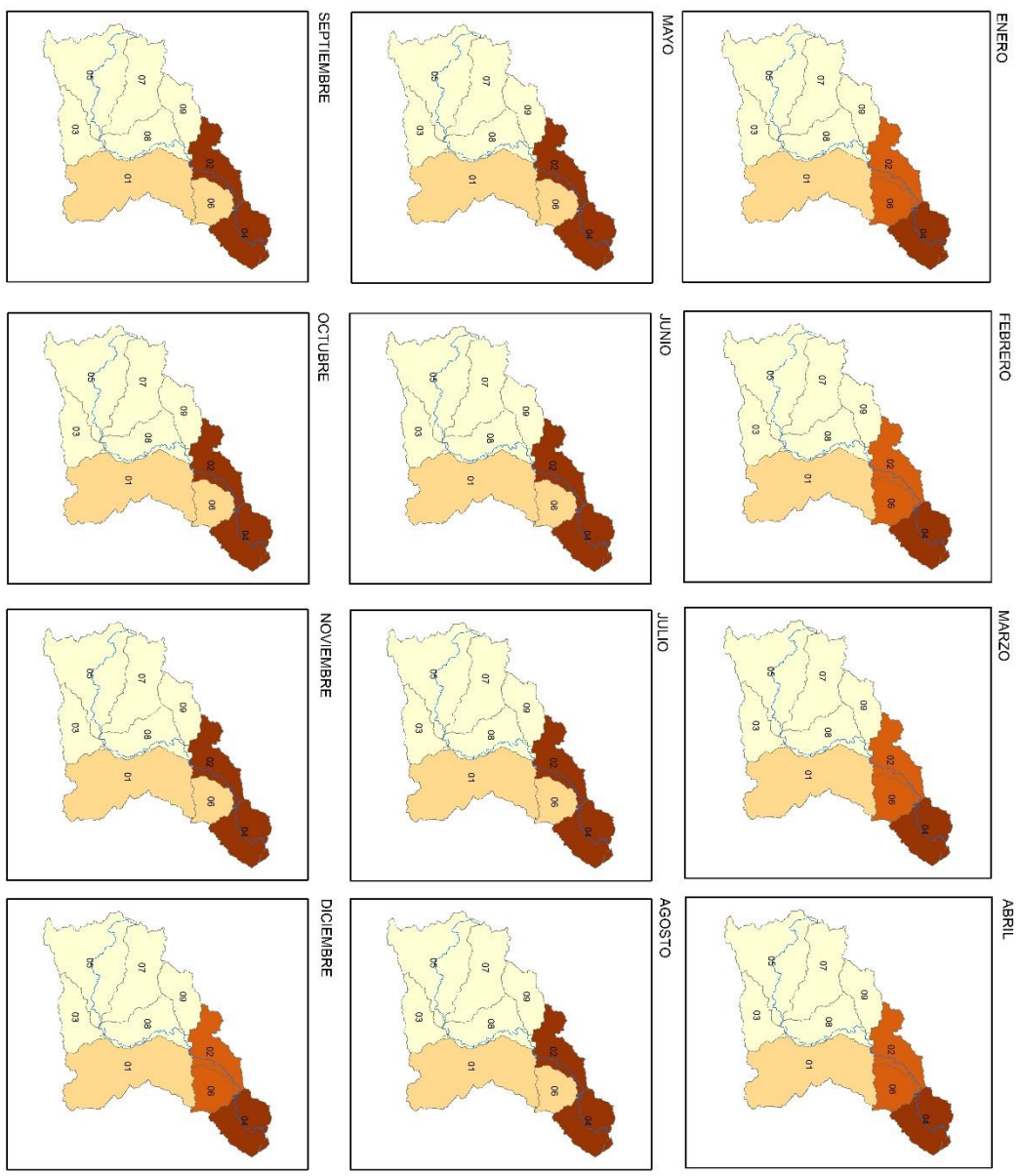


Figura 26. Demanda de agua en la cuenca del río La Villa.
 (Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MIAMBIENTE, IDAAN y SIASAR)

4.3.2. Cuenca del río Santa María

La cuenca del río Santa María consta de los siguientes tipos de demanda: agrícola, agropecuario, comercial, doméstico, hidroeléctrico, industrial y pecuario (Figura 27). En términos de volumen de agua, el mayor uso de esta cuenca se refleja en la demanda agrícola, seguidamente del hidroeléctrico, mientras que la menor demanda es la comercial.

Por su parte, la demanda doméstica concesiona un total de 17.23 Mm³ al año, donde el 82% del recurso corresponde al uso de las potabilizadoras de Santa Fe, San Francisco y Santiago. Mientras que el 18% abastece a la JAARs distribuidas en la cuenca. Según los registros del SIASAR, existen 35 JAARs en esta área.

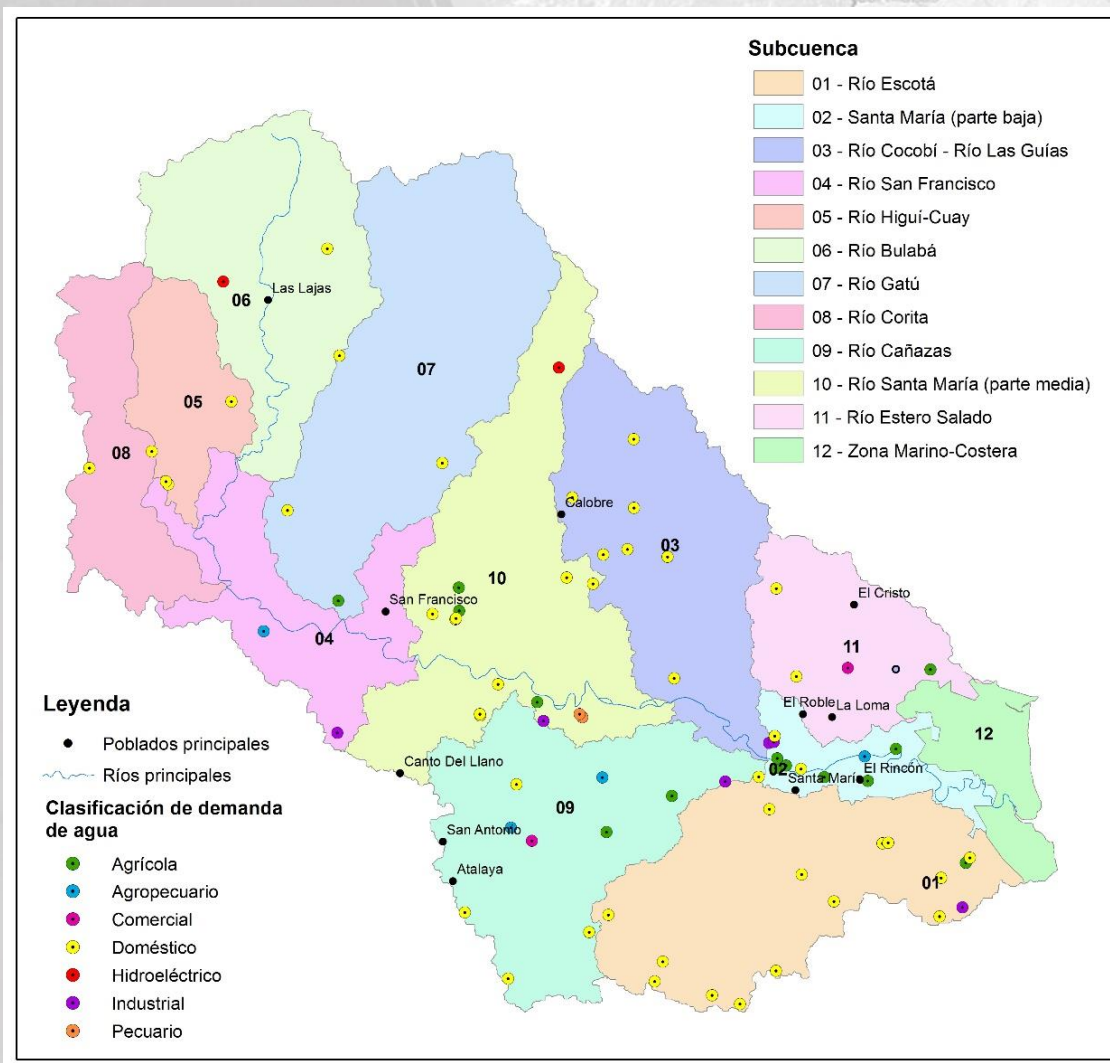


Figura 27. Clasificación de demanda de agua en la cuenca del río Santa María.
(Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE, IDAAN y SIASAR)

La demanda agrícola se concentra en la parte media y baja de la cuenca, específicamente en las subcuencas de río Escotá, río Santa María (parte baja), río Gatú, río Cañazas, río Santa María (parte media) y río Estero Salado. El volumen de agua que utiliza este uso es de 176.26 Mm³ al año. Como podemos observar en la

Figura 28, la subcuenca río Santa María (parte baja) que corresponde al N° 2, sobresale principalmente el uso agrícola, donde se ubican extensiones de cultivo de caña de azúcar y granos que utilizan un gran volumen de agua (19.2 Mm³ mensualmente).

En cuanto a la demanda hidroeléctrica (uso no consuntivo), contamos con dos centrales hidroeléctricas: La Yeguada y Los Trancos ubicadas en las subcuencas río Santa María (parte media) y río Bulabá respectivamente. El volumen concesionado para la central hidroeléctrica La Yeguada es de 54.87 Mm³ al año. Mientras que la central hidroeléctrica Los Trancos concesiona 8.20 Mm³ al año.

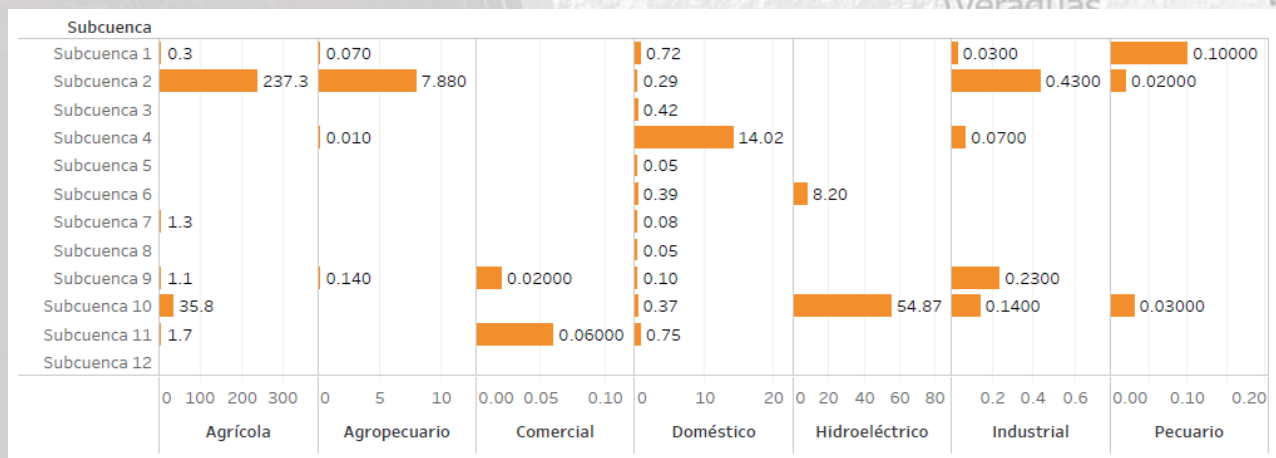


Figura 28. Demanda anual por subcuenca en millones de metros cúbicos (Mm³) en la cuenca del río Santa María. (A partir de datos de MiAMBIENTE, IDAAN y SIASAR)

Para el uso agropecuario que vincula tanto la agricultura como la actividad ganadera, la encontramos en las subcuencas río Escotá, río Santa María (parte baja), río San Francisco y río Cañazas y demanda un volumen anual de 8.1 Mm³. La demanda comercial es de 0.081 Mm³ al año, la demanda industrial es de 0.91 Mm³ al año y la actividad pecuaria demanda un volumen de 0.14 Mm³ al año.

En la Figura 29 observamos las demandas clasificadas por subcuencas en unidad de m³/s. A nivel de promedio anual las subcuencas con mayor demanda es río Santa María (parte baja), seguidamente de río Santa María (parte media) y río Bulabá. De igual forma se muestran las demandas en promedios mensuales por subcuencas y podemos observar que los caudales de agua concesionados se mantienen constante a lo largo del año a diferencia de la subcuenca río Estero Salado, ya que posee una demanda agrícola que en la temporada de verano el volumen de agua concesionado es menor.

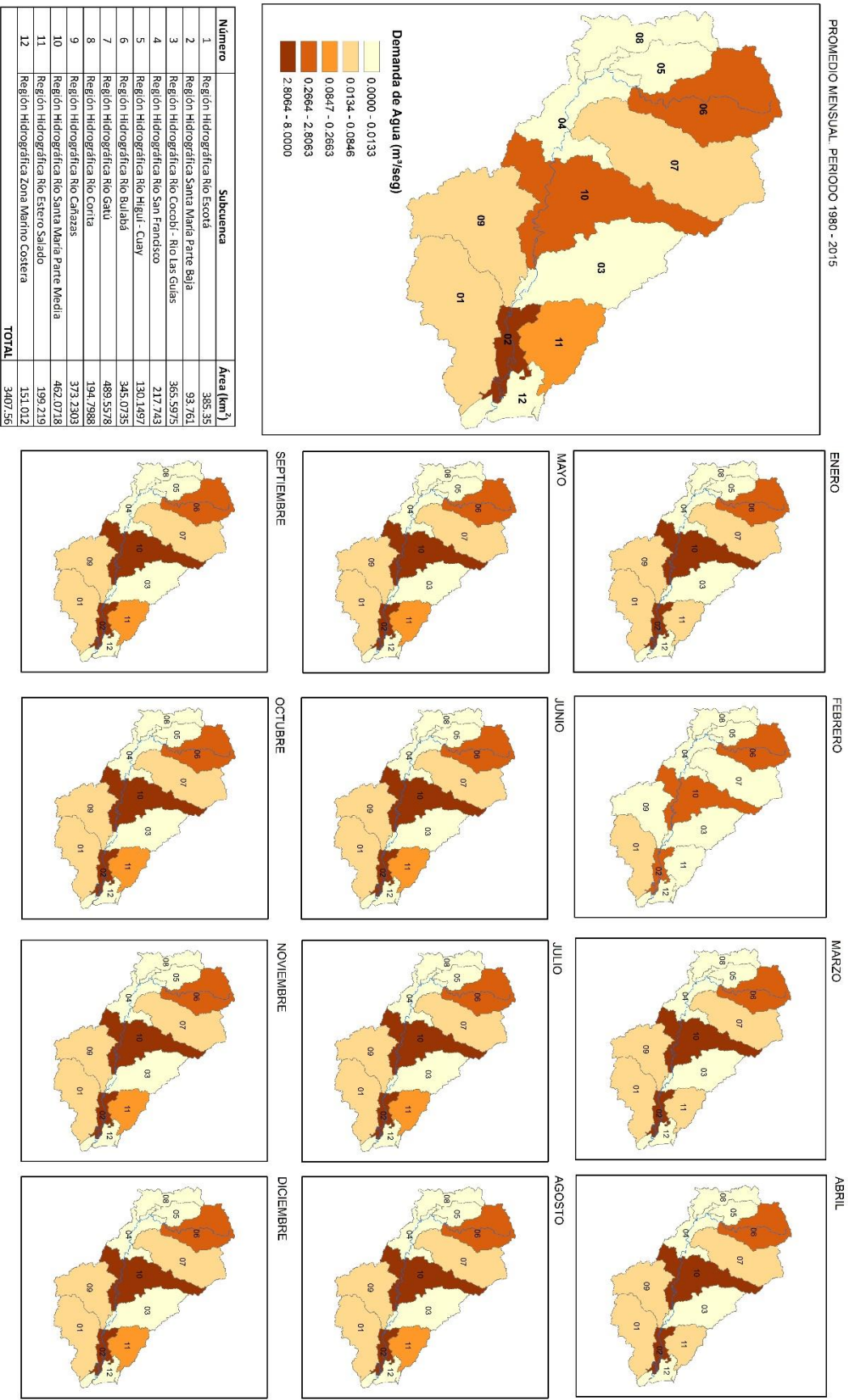


Figura 29. Demanda de agua de la cuenca del río Santa María.
 (Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MIAMBIENTE, IDAAN Y SIASAR)

4.3.3. Cuenca del río Grande

La demanda de agua en la cuenca están clasificados en 6 clases (Figura 30): doméstico, agrícola, agropecuario, pecuario, industrial, hidroeléctrico y turístico. A pesar de la poca densidad de concesiones en las subcuencas Nacimiento de río Grande y río Chico son las que presentan mayor demanda en términos de volumen y son de tipo hidroeléctrico (Figura 31).

La demanda doméstica en la cuenca es de 20.64 MM³ al año y el 74% corresponde al volumen utilizado por las potabilizadoras establecidas en la cuenca: Capellanía, Penonomé, Natá y La Pintada. Mientras que el 26% corresponde a las JAARs. Según la base de datos del SIASAR la cuenca tiene 27 JAARs, sin embargo, durante el taller de validación de resultados (Anexo 2) los técnicos de MiAMBIENTE de la regional de Coclé hicieron la observación que en la parte alta de la cuenca alrededor de las áreas protegidas (Parque Nacional El Copé y la Reserva Hídrica Cerro Guacamaya) existen más JAARs. No obstante, estas no han sido censadas dentro de una base de datos. Esto es importante ya que al tener un gran número de demanda en la parte alta de la cuenca (nacimiento de los ríos), la disponibilidad de agua disminuye vertiente abajo para el abastecimiento de las necesidades socioeconómicas así como ambientales.

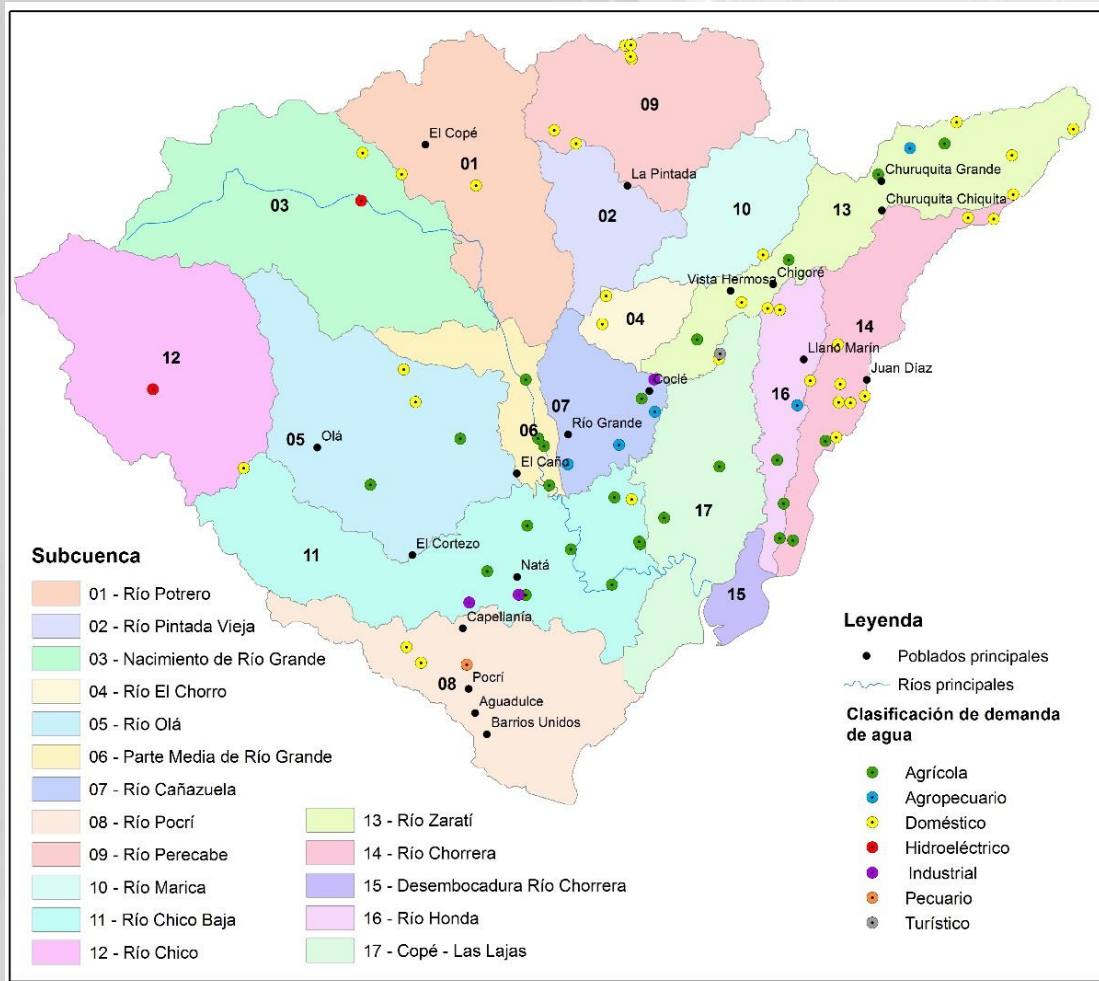


Figura 30. Clasificación de demanda de agua en la cuenca del río Grande. (Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MiAMBIENTE, IDAAN y SIASAR)

Como se mencionó anteriormente el uso hidroeléctrico es el de mayor demanda en la cuenca. La central hidroeléctrica Hidroibérica ubicada en la subcuenca nacimiento de río Grande, demanda 255 Mm³ al año. La central hidroeléctrica Hidronorth ubicada en la subcuenca río Chico, en la temporada seca, demanda 26.39 Mm³ mensualmente, y en la temporada lluviosa demanda 115.83 Mm³ al mes, haciendo un total al año de 142 Mm³.

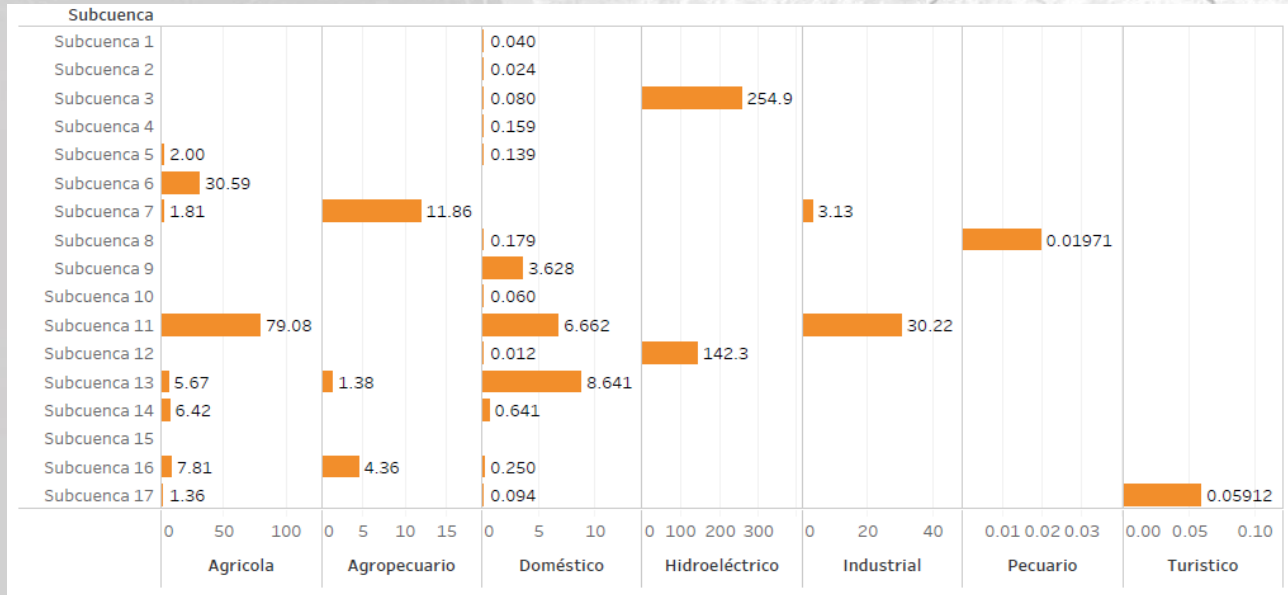
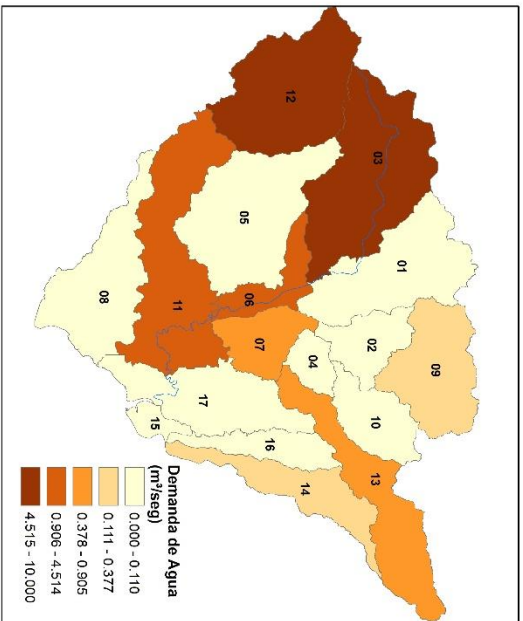


Figura 31. Demanda anual por subcuenca en millones de metros cúbicos (Mm³) en la cuenca del río Grande.
(A partir de datos de MiAMBIENTE, IDAAN y SIASAR)

La demanda agrícola cuenta con 32 concesiones en toda la cuenca, ubicadas principalmente en las subcuencas río Chico Baja, parte media de río Grande, río Zaratí y río Honda. Anualmente esta demanda es de 134.7 Mm³. Los usos agropecuarios están ubicados en las subcuencas río Honda, río Cañazuela y río Zaratí y anualmente se demanda un total de 17.6 Mm³ al año. En cuanto a los otros usos como el industrial, turístico y pecuario anualmente demandan 33.35 Mm³, 0.06 Mm³ y 0.02 Mm³ respectivamente.

En la Figura 32 se muestra el mapa de las demandas agrupadas por subcuencas. Podemos inferir claramente que las subcuencas donde están las centrales hidroeléctricas son las que mantienen una mayor demanda. También las subcuencas río Chico Baja y parte media de río Grande constan de una demanda media debido a la influencia de las actividades agrícolas en el área. A nivel mensual las demandas se mantienen constantes durante el año, a diferencia de la subcuenca río Chico que en la temporada lluviosa los caudales demandados aumentan.

PROMEDIO MENSUAL, PERIODO: 1980 - 2015



Número	Subcuenca	Área (km ²)
1	Región Hidrográfica - Río Potrero	199,281
2	Región Hidrográfica - Río Pintada Vieja	74,463
3	Región Hidrográfica - Nacimiento de Río Grande	269,158
4	Región Hidrográfica - Río El Chorro	36,197
5	Región Hidrográfica - Río Olá	235,841
6	Región Hidrográfica - Parte Media de Río Grande	59,511
7	Región Hidrográfica - Río Cahuzuela	79,276
8	Región Hidrográfica - Río Pecri	222,9
9	Región Hidrográfica - Río Percebe	151,873
10	Región Hidrográfica - Río Marica	83,788
11	Región Hidrográfica - Río Chico Baja	260,114
12	Región Hidrográfica - Río Chico	237,2
13	Región Hidrográfica - Río Zarití	166,719
14	Región Hidrográfica - Río Chorrera	115,86
15	Región Hidrográfica - Desembocadura Río Chorrera	23,8306
16	Región Hidrográfica - Río Honda	63,12
17	Región Hidrográfica - Copé - Las Lajas	144,058
TOTAL		2423,19



Figura 32. Demanda de agua de la cuenca del río Grande.
 (Mapa elaborado por CATHALAC con datos de MIAMBIENTE, IDAAN Y SIASAR)

4.4. Calibración del modelo

Para calibrar el modelo se utilizó el programa SWAT-CUP que permite el ajuste de parámetros mediante procesos semi-automatizados, combina la calibración manual con la automatizada e incorpora el análisis de sensibilidad que permite focalizar la calibración y el análisis de incertidumbre que da las estadísticas para conocer la bondad de ajuste del modelo.

El grado de incertidumbre se cuantifica con la medida P-factor, el cual corresponde al porcentaje de los datos medidos dentro de una franja, de incertidumbre de la predicción de 95% (95PPU). Este valor se obtiene a partir de un muestreo Latino Hipercúbico donde se descarta el 5% de las peores simulaciones.

Otra medida que se utiliza es el factor-R, el cual corresponde al grosor promedio de la banda de incertidumbre. El factor -P oscila entre 0-100% y el factor-R entre 0 e infinito. Cuando se tiene una factor-P de 1 y un factor-R de 0, se presenta un ajuste perfecto, el grado en el cual estos valores difieren permite juzgar la fortaleza de la calibración, por tanto se tiene que encontrar un equilibrio entre ambos.

La bondad del ajuste (Tabla 18) entre estas medidas puede ser cuantificada mediante el R² y del coeficiente de Nash-Sutcliff, un buen ajuste se alcanza cuando el NS ≥ 0.60 y el R² ≥ 0.60. (Velásquez, 2014).

Tabla 18. Evaluación de la calibración a través de NSE, PBIAS y RSR.

Clasificación	RSR ⁽¹⁾	NSE ⁽²⁾	PBIAS (%) ⁽³⁾		
			Drenaje	Sedimento	N.P
Muy bueno	0.00 ≤ RSR ≤ 0.50	0.75 < NSE ≤ 1.00	PBIAS < ±10	PBIAS < ±15	PBIAS < ±25
Bueno	0.50 < RSR ≤ 0.60	0.65 < NSE ≤ 0.75	±10 ≤ PBIAS < ±15	±15 ≤ PBIAS < ±30	±25 ≤ PBIAS < ±40
Satisfactorio	0.60 < RSR ≤ 0.70	0.50 < NSE ≤ 0.65	±15 ≤ PBIAS < ±25	±30 ≤ PBIAS < ±55	±40 ≤ PBIAS < ±70
Insatisfactorio	RSR > 0.70	NSE ≤ 0.50	PBIAS ≥ ±25	PBIAS ≥ ±55	PBIAS ≥ ±70

(1) Error cuadrático medio de observación del radio de la desviación estándar (RSR)

(2) Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)

(3) Porcentaje de Bias (PBIAS). Sesgo.

Optimización de parámetros con SWAT – CUP

El modelo Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) se empleó para el análisis de sensibilidad de los parámetros, la calibración, validación y el análisis de incertidumbre. La metodología utilizada fue la sugerida por Abbaspour (2007):

1. Calibrar el modelo con los parámetros iniciales y graficar los valores simulados y observados en cada estación de aforo para todo el periodo de registro.
2. Con los resultados del paso anterior, dividir en periodo de calibración y periodo de validación, ambos deben tener número similar de años secos y húmedos.
3. Definir los parámetros a evaluar, generalmente son los que intervienen en los procesos de evapotranspiración, escorrentía, flujo lateral, flujo subterráneo y contenido de agua en el suelo.
4. Asignar rangos de incertidumbre a cada parámetro evaluado.

5. Calibrar el modelo (> - 1 interacción y < - 500 simulaciones), evaluar la sensibilidad de los parámetros que afectan el desempeño, usar como indicador la función objetivo (RSR, NSE y PBIAS).
6. Separar parámetros sensibles por grado de incertidumbre (p-Valor y t-Stat), evaluar la sensibilidad para el resto de los parámetros.
7. Seleccionar parámetros más sensibles en función de (p-Valor y t-Stat), agrupar por grado de sensibilidad, identificar nuevos pares de datos, realizar otra interacción para calibrar el modelo.
8. Identificar los valores óptimos según la función objetivo (RSR, NSE y PBIAS).
9. Realizar otras interacciones hasta que los rangos de los parámetros seleccionados se estabilicen.
10. Insertar los valores óptimos alcanzados al modelo hidrológico y proceder con la modelación final.

Cuenca 128 – Río La Villa

Los parámetros más sensibles que afectan el desempeño del modelo corresponden a procesos del flujo lateral: tiempo de recorrido, agua subterránea, tiempo de demora para recarga del acuífero, tiempo de recesión para la recarga del acuífero y nivel del umbral freático (Tabla 19).

Tabla 19. Parámetros más sensibles de la calibración por orden de jerarquía. Cuenca del río La Villa.

Grupo de parámetros	Parámetro/Tipo modificación	Definición y unidades	Valor por defecto			Jerarquía
			Min	Valor ajustado	Max	
Evapotranspiración	ESCO	Factor de compensación para la evaporación del suelo (fracción)	0.2	1	0.37	15
Escorrentía y Tiempo de SURLAG		Coefficiente de retardo de la escorrentía superficial (días)	0.1	24	7.03	17
	OV_N	Coefficiente de Manning de la superficie terrestre	0.001	30	22.8	6
	CN2	Número de Curva inicial para la condición de humedad (%)	35	98	51.98	4
	CH_K	Conductividad hidráulica efectiva para canales principales (mm/h)	5	130	51.18	14
Flujo Lateral	LAT_TTIME	Tiempo de recorrido del flujo lateral (días)	5	180	77.58	1
Agua subterránea	ALPHA_BF	Factor alfa de recesión del flujo base (días)	0	1	0.92	3
	GW_REVAP	Coefficiente de evaporización del agua subterránea (días)	0	0.2	0.08	13
	GW_DELAY	Tiempo de demora para recargar el acuífero (días)	5	500	157.33	2
	GWQMN	Nivel del umbral freático para que ocurra flujo de retorno (mm)	0	2	0.8	8
	REVAPMN	Nivel del umbral freático para que ocurra revalorización (mm)	0	500	106.61	5
Rutina de Agua en el Cai	CH_N	Coefficiente de Manning para canales principales (n/a)	0	0.3	2.59	10
	ALPHA_BNK	Factor alfa de almacenamiento del flujo base	0	1	0.55	7
Agua en el Suelo	SOL_AWC	Capacidad de Campo (mm H2O/mm suelo)	-0.2	0.4	0.32	12
	SOL_K	Conductividad hidráulica del suelo (mm/hr)	1	1000	199.85	11
	SOL_BD	Densidad aparente del suelo (g/cm ³)	-0.5	0.6	0.02	9
	FFCB	Almacenamiento Inicial del agua	0	1	0.8	16

Para la modelación se utilizaron tres años de calentamiento entre 1980-1982, la línea base comprendió el periodo 1983-2010, y la validación se realizó entre 2011-201.

Se utilizaron tres (3) estaciones hidrométricas (Tabla 20) las cuales corresponden a los códigos 128-01-01 (Macaracas), 128-01-03 (Atalayita) y 128-02-01 (Calabacito).

Tabla 20. Estaciones utilizadas para la calibración en la cuenca del río La Villa.

Estación		Subcuenca			Caudal (m³/s)		Evaluación de la calibración			
Número	Nombre	Número	Río	Área (Km²)	Medido	Modelado	Proceso	RSR ⁽¹⁾	NSE ⁽²⁾	PBIAS <±25
128-01-01	Macaracas	18	Río Quebrada Salitre	512	17.62	19.55	Calibración	0.87	0.79	23.30%
							Validación	0.73	0.67	-6.10%
128-01-03	Atalayita	6	Río La Villa confluencia con Estibaná	1008.5	28.88	32.5	Calibración	0.89	0.83	26.30%
							Validación	0.73	0.71	-1.00%
128-02-01	Calabacito	3	Río Estibaná	214	5.71	5.8	Calibración	0.69	0.52	12.30%
							Validación	0.7	0.5	-17.10%

Estación 128-01-01 – Macaracas

Localizada en la subcuenca 8, tiene un área de drenaje de 512 Km²; registra un caudal promedio de 18.06 m³/s, el modelo estima en este tramo de la cuenca un caudal de 19.55 m³/s, el resultado de la calibración muestra un NSE de 0.79 que se considera muy bueno y de 0.67 en la validación que lo clasifica como bueno.

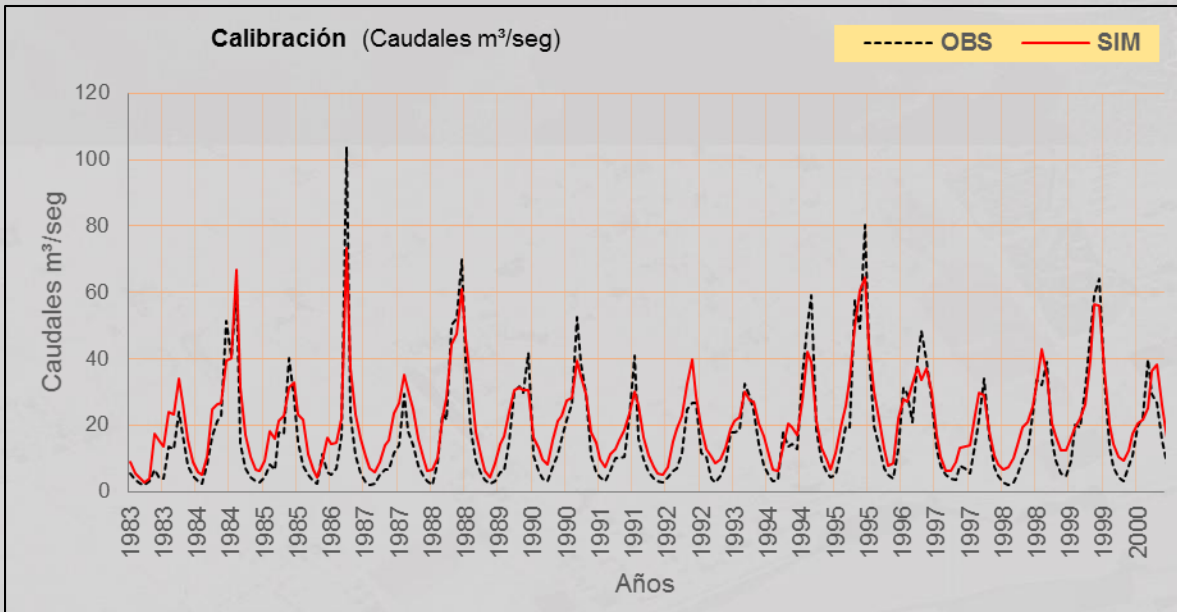


Figura 33. Caudales calibrados en la estación Macaracas 1983 – 2000.

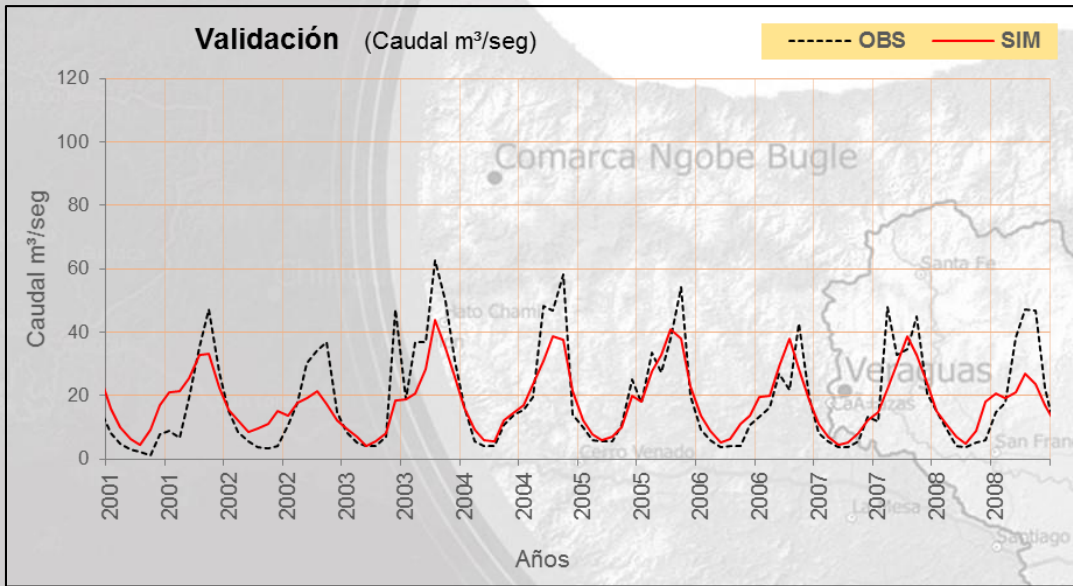


Figura 34. Caudales validados en la estación Macaracas 2001 – 2008.

Estación 128-01-03 – Atalayita

Localizada en la confluencia de río Estibaná cuenca 1 con río La Villa, tiene un área de drenaje de 1,008.5 km²; registra un caudal promedio de 28.06 m³/s, el modelo estima en este tramo de la cuenca un caudal de 32.5 m³/s, el resultado de la calibración muestra un NSE de 0.83 que se considera muy bueno y de 0.71 en la validación que lo clasifica como bueno.

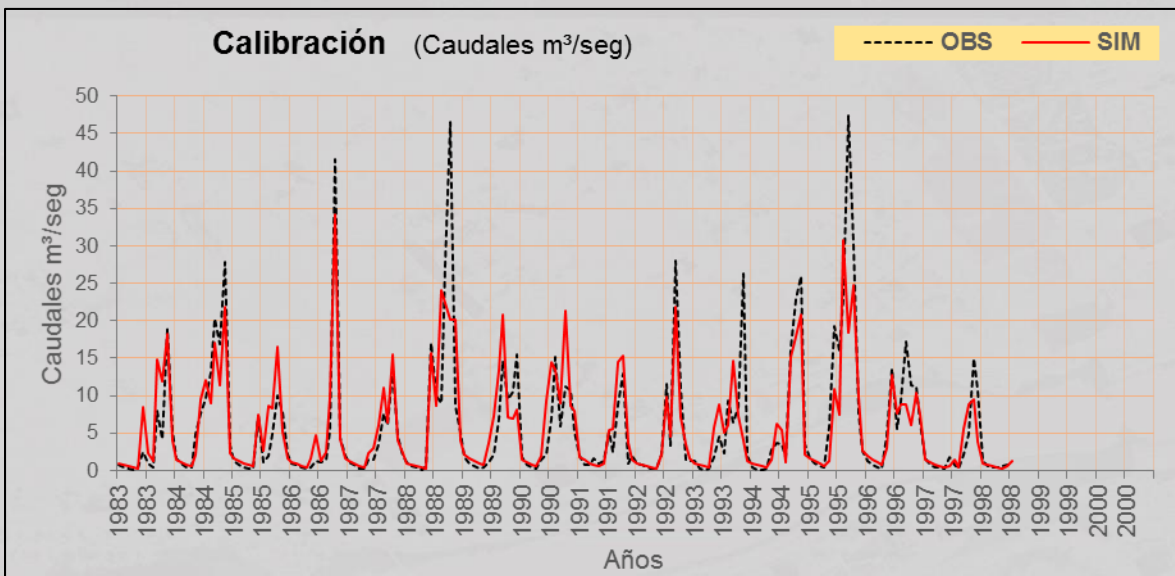


Figura 35. Caudales calibrados en la estación Atalayita 1983 – 2000.

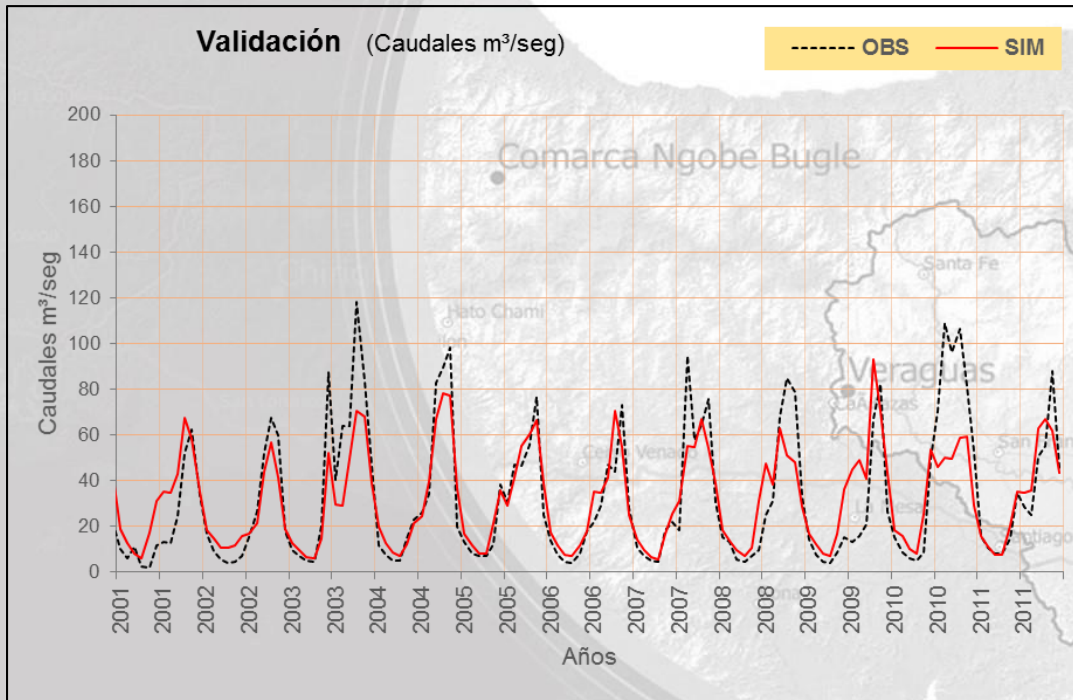


Figura 36. Caudales validados en la estación Atalayita 2001 – 2011.

Estación 128-02-01 – Calabacito

Localizada en la subcuenca 3 con río Estibaná, tiene un área de drenaje de 214 Km²; registra un caudal promedio de 6.67 m³/s, el modelo estima en este tramo de la cuenca un caudal de 5.8 m³/s, el resultado de la calibración muestra un NSE de 0.083 que se considera muy bueno y de 0.71 en la validación que lo clasifica como bueno.

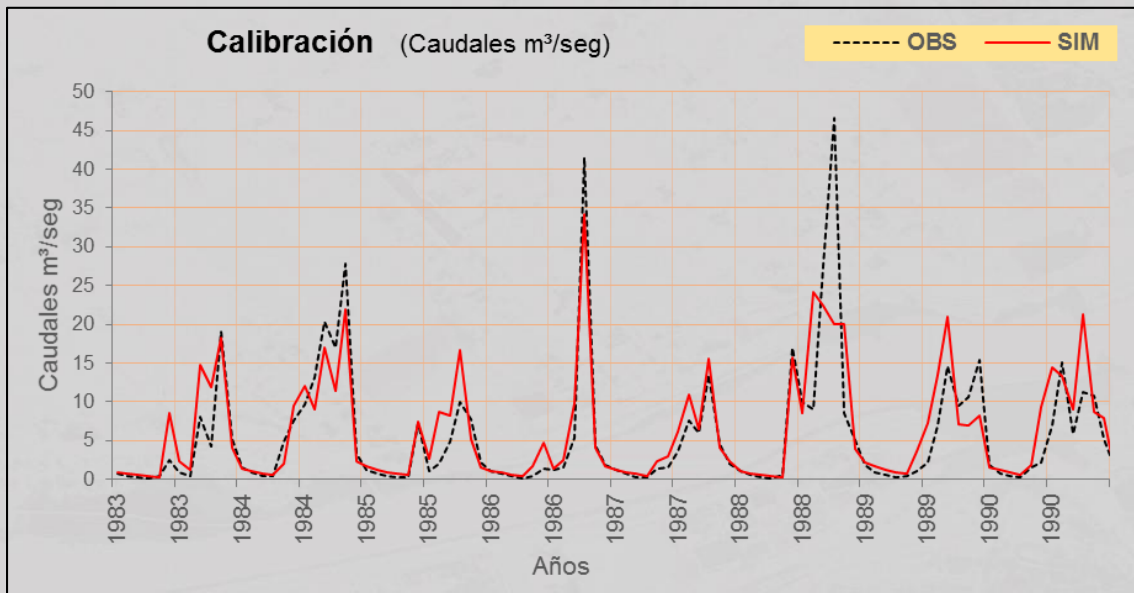


Figura 37. Caudales calibrados en la estación Calabacito 1983 – 1990.

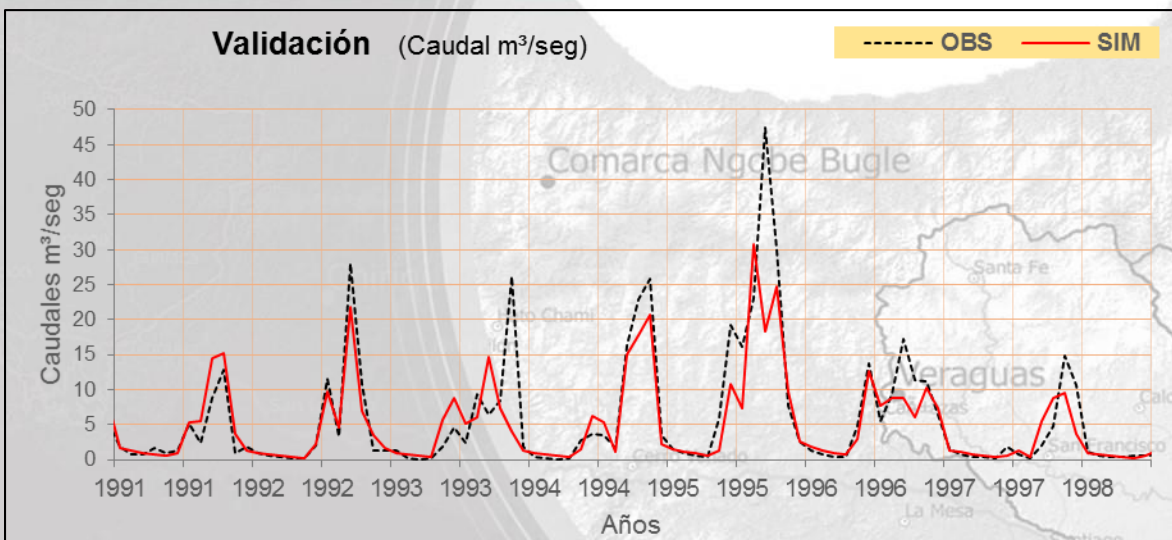


Figura 38. Caudales validados en la estación Calabacito 1991 – 1998.

Cuenca 134 – Río Grande

Los parámetros más sensibles que afectan el desempeño del modelo corresponden a procesos de almacenamiento de agua como la conductividad hidráulica y la densidad aparente del suelo; procesos de infiltración del agua subterránea entre los que están el tiempo de demora para recargar los acuíferos, revalorización del agua subterránea y procesos relacionados al escurrimiento superficial (coeficiente de Manning y número de curva para la condición de humedad del suelo).

Tabla 21. Parámetros más sensibles de la calibración por orden de jerarquía. Cuenca del río Santa María.

Grupo de parámetros	Parámetro/Tipo modificación	Definición y unidades	Valor por defecto		Valor ajustado	Jerarquía
			Min	Max		
Evapotranspiración	ESCO	Factor de compensación para la evaporación del suelo (fracción)	0.2	1	0.17	5
Escurrimiento y Tiempo de concentración	SURLAG	Coefficiente de retardo de la escurrimiento superficial (días)	0.1	24	-6.30	10
	OV_N	Coefficiente de Manning de la superficie terrestre	0.001	30	27.8	2
	CN2	Número de Curva inicial para la condición de humedad (%)	35	98	85.7	3

Grupo de parámetros	Parámetro/Tipo modificación	Definición y unidades	Valor por defecto		Valor ajustado	Jerarquía
			Min	Max		
	CH_K	Conductividad hidráulica efectiva para canales principales (mm/h)	5	130	87.7	6
Flujo Lateral	LAT_TTIME	Tiempo de recorrido del flujo lateral (días)	5	180	0.26	9
Agua subterránea	ALPHA_BF	Factor alfa de recesión del flujo base (días)	0	1	-0.38	13
	GW_REVAP	Coefficiente de revaporización del agua subterránea (días)	0	0.2	0.06	16
	GW_DELAY	Tiempo de demora para recargar el acuífero (días)	5	500	160.4	7
	GWQMN	Nivel del umbral freático para que ocurra flujo de retorno (mm)	0	2	1.21	11
	REVAPMN	Nivel del umbral freático para que ocurra revalorización (mm)	0	500	359.5	8
Rutina de Agua en el Canal	CH_N	Coefficiente de Manning para canales principales (n/a)	0	0.3	0.43	12
	ALPHA_BNK	Factor alfa de almacenamiento del flujo base	0	1	0.86	15
Agua en el Suelo	SOL_AWC	Capacidad de Campo (mm H ₂ O/mm suelo)	-0.2	0.4	0.01	14
	SOL_K	Conductividad hidráulica del suelo (mm/hr)	1	1000	157.8	1
	SOL_BD	Densidad aparente del suelo (g/cm ³)	-0.5	0.6	0.43	4
	FFCB	Almacenamiento Inicial del agua	0	1	0.8	17

Para el proceso de modelación se utilizaron tres años de calentamiento 1980-1982; la línea base comprendió el periodo entre 1983-2010, y la validación se realizó entre 2011-2015.

Se utilizaron cuatro (4) estaciones hidrométricas las cuales se encuentran distribuidas estratégicamente en las principales subcuencas (Tabla 22).

Tabla 22. Resultados de la calibración por estación.

Estación		Subcuenca			Caudal (m³/s)		Evaluación de la calibración			
Número	Nombre	Número	Río	Área (Km²)	Medido	Modelado	Proceso	RSR ⁽¹⁾	NSE ⁽²⁾	PBIAS <±25
134-01-01	Río Grande	4	Río Grande Parte Alta, Río Harino y Río Potrero	492.85	17.57	18.34	Calibración	0.64	0.59	-11.50%
							Validación	0.58	0.66	0.70%
134-02-01	El Cortezo	7	Río Chico Tramo Alto y Medio	323.32	15.8	18.44	Calibración	0.54	0.71	4.80%
							Validación	0.54	0.71	3.10%
134-03-01	Cañaveral	2	Río Coclé del Sur	338.2	9.1	8.31	Calibración	0.69	0.52	12.30%
							Validación	0.7	0.5	-17.10%
134-04-01	Murcielaguero	1	Río Zaratí Parte Alta	131.68	5.71	6.01	Calibración	0.64	0.59	1.30%
							Validación	0.69	0.52	-15.70%

Estación 134-01-01 – Río Grande

Localizada en la subcuenca 4, tiene un área de drenaje de 492.85 Km²; registra un caudal promedio de 17.8 m³/s, el modelo estima en este tramo de la cuenca un caudal de 21.4 m³/s, el resultado de la calibración muestra un NSE de 0.59 que se considera satisfactorio y de 0.66 en la validación que lo clasifica como bueno.

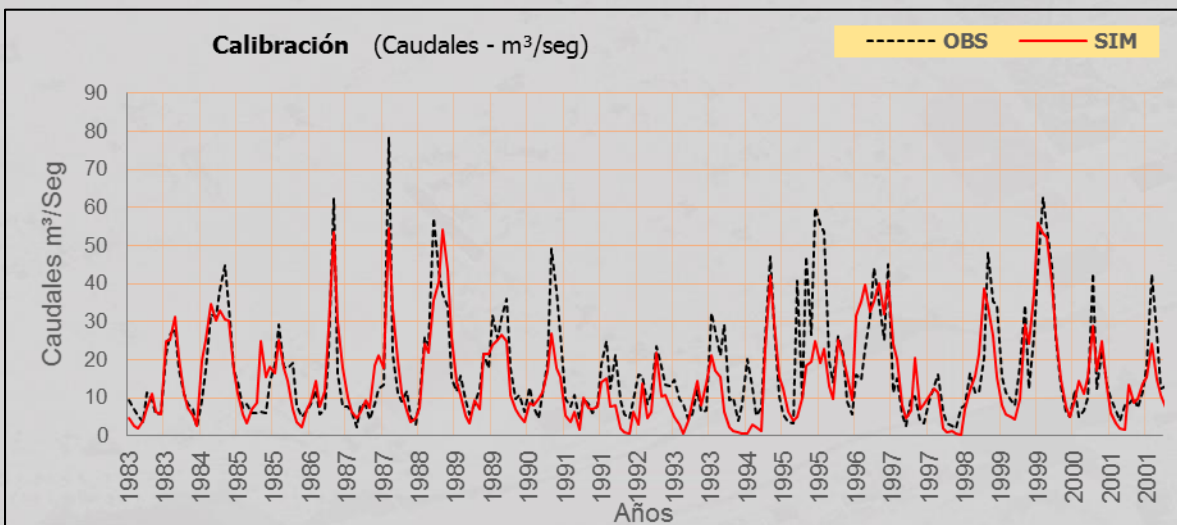


Figura 39. Caudales calibrados en la estación río Grande 1983 – 2001.

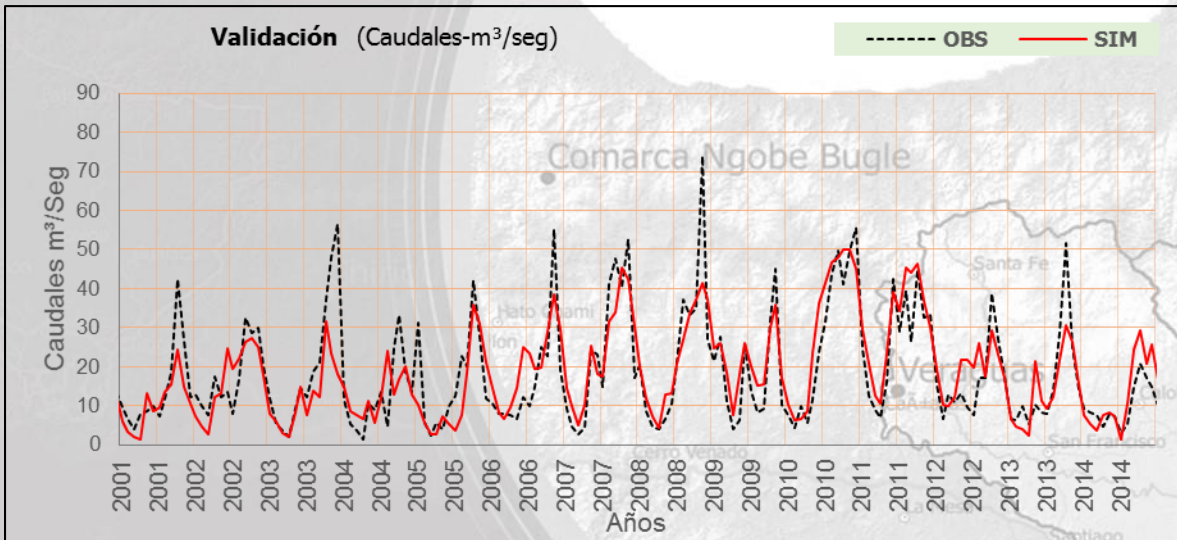


Figura 40. Caudales validados en la estación río Grande 2001 – 2014.

Estación 134-02-01 – El Cortezo

Se ubica dentro de la subcuenca 7, tiene un área de drenaje 323.32 km²; el caudal promedio medido en el año es 15.4 m³/s, el modelo registra en este tramo de la cuenca 21.1 m³/s, la eficiencia del resultado muestra un NSE de 0.71 en el proceso de calibración y validación esto lo ubica en el rango de bueno.

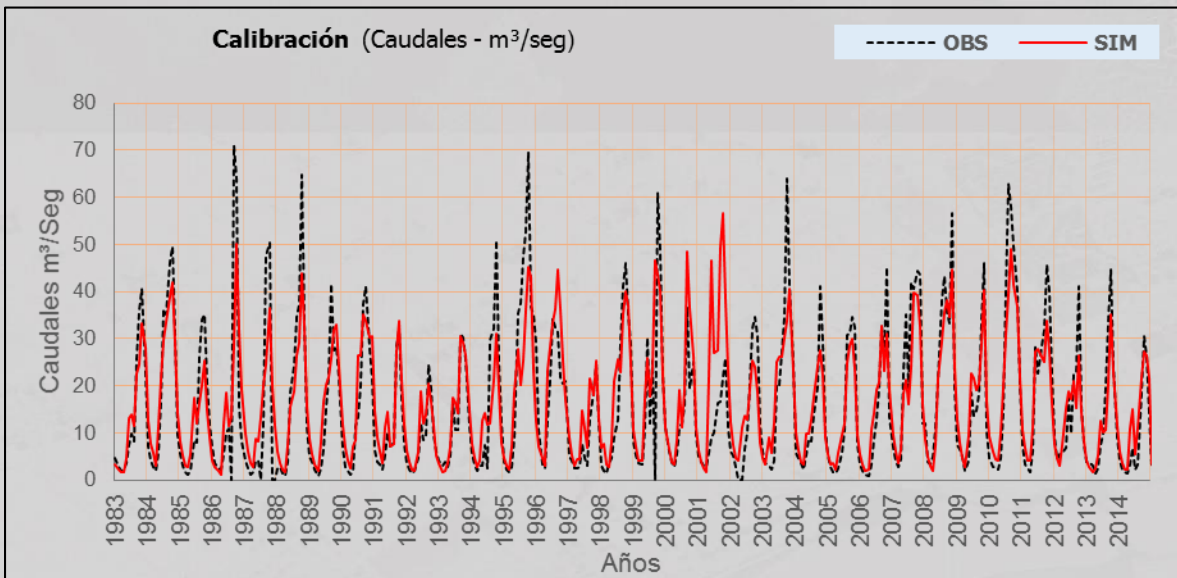


Figura 41. Caudales calibrados en la estación El Cortezo 1983 – 2014.

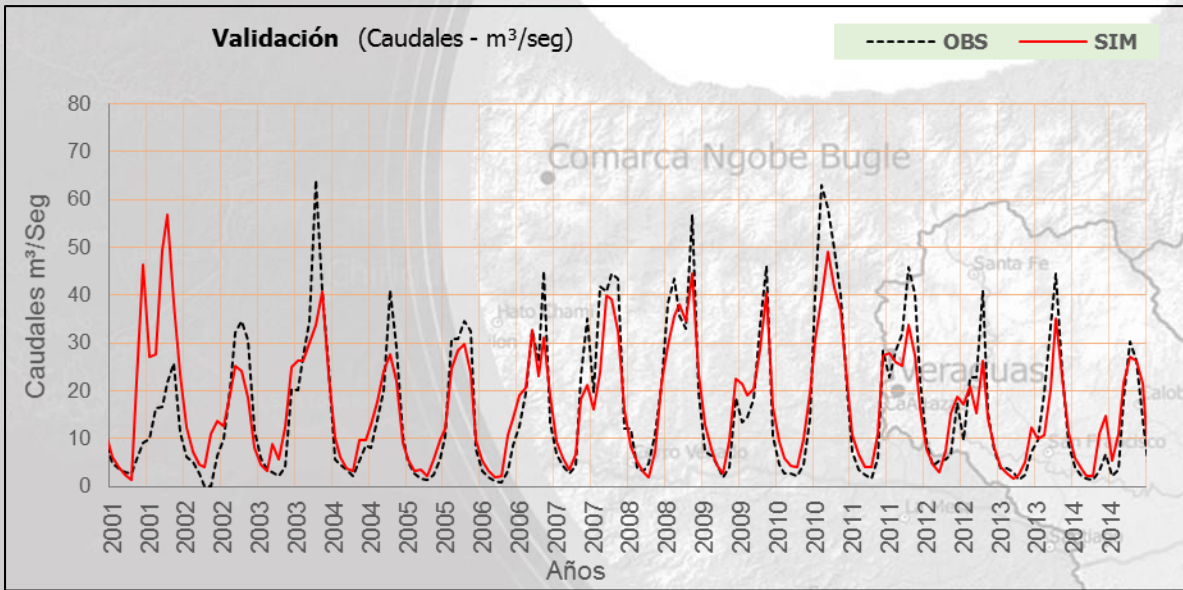


Figura 42. Caudales validados en la estación El Cortezo 2011 – 2014.

Estación 134-03-01 – Cañaveral

Localizada en la subcuenca 2 del río Coclé del Sur, su área de drenaje es de 338.2 km²; la estación registra un caudal promedio anual de 9.0 m³/s, la modelación para este tramo de la cuenca dio un caudal de 9.5 m³/s, en esta estación se obtuvo un NSE de 0.52 en el proceso de calibración y de 0.50 en el de validación, estas medidas lo ubican dentro del rango satisfactorio.

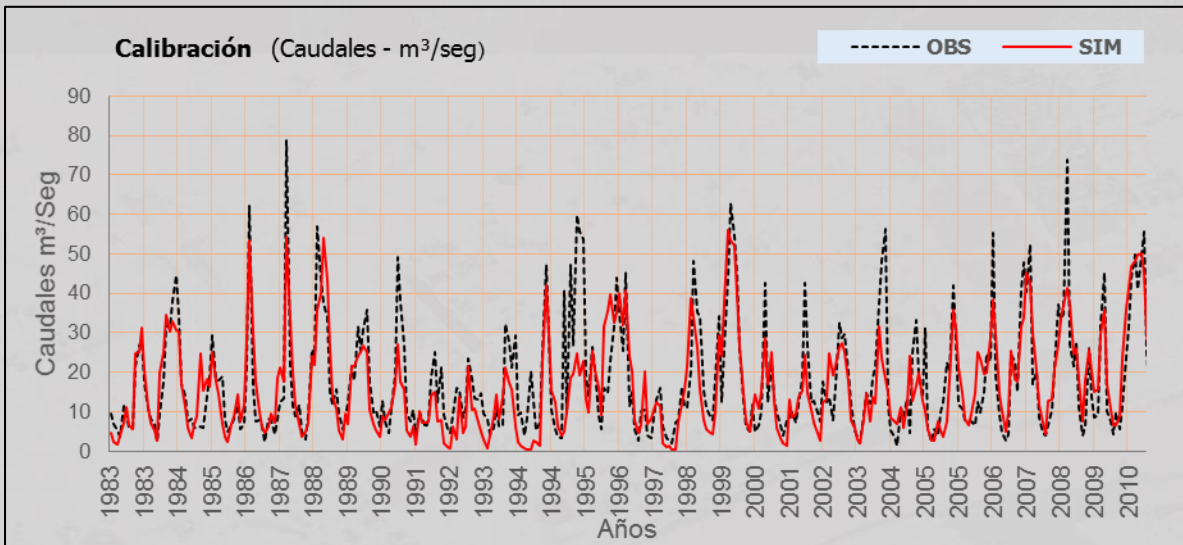


Figura 43. Caudales calibrados en la estación Cañaveral 1983 – 2010.

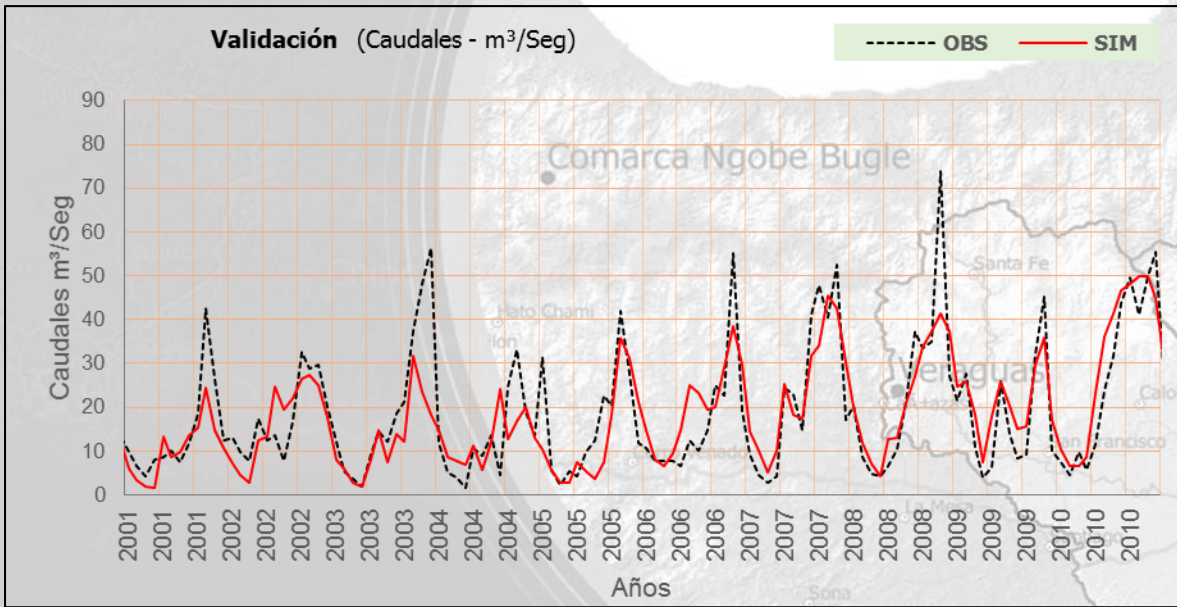


Figura 44. Caudales validados en la estación Cañaverl 2001 – 2010.

Estación 134-04-01 – Murcielaguero

Se ubica dentro de la subcuenca 1, tiene un área de drenaje de 131.68 km²; la estación registra un caudal promedio anual de 5.6 m³/s y el modelo lo estimó en 5.4 m³/s, para el proceso de calibración se obtuvo un NSE de 0.59 y en el de validación de 0.52, ambas medidas son consideradas satisfactorias.

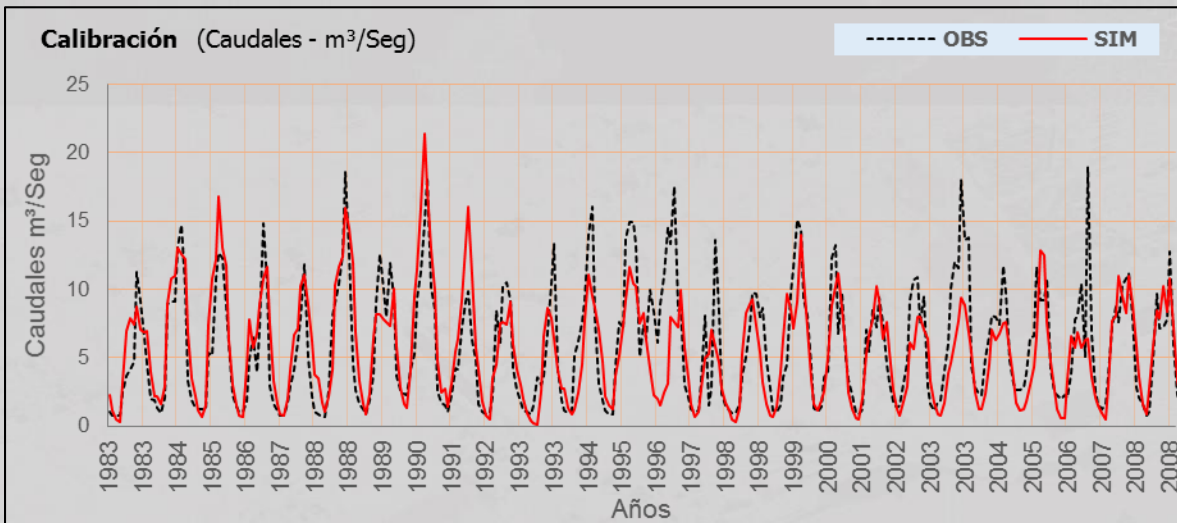


Figura 45. Caudales calibrados en la estación Murcielaguero 1983 – 2008.

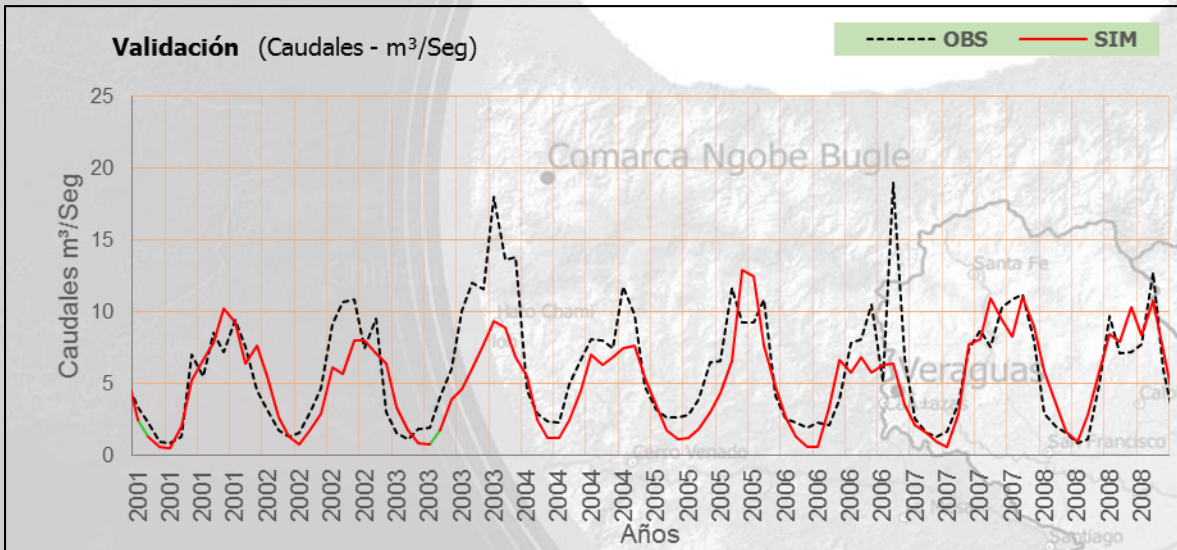


Figura 46. Caudales validados en la estación Murcielaguero 2001 – 2008.

Cuenca 132 – Río Santa María

Los parámetros más sensibles (Tabla 23) que afectan el desempeño del modelo corresponden a procesos de escorrentía y tiempos de concentración: Número de curva inicial para la condición de humedad; agua subterránea: tiempo de demora para la recarga del acuífero, nivel del umbral freático, parámetros relativos a cantidad de agua en el suelo: conductividad hidráulica y almacenamiento inicial de agua.

Tabla 23. Parámetros más sensibles de la calibración por orden de jerarquía. Cuenca del río Grande.

Grupo de parámetros	Parámetro/Tipo modificación	Definición y unidades	Valor por defecto		Valor ajustado	Jerarquía
			Min	Max		
Evapotranspiración	ESCO	Factor de compensación para la evaporación del suelo (fracción)	0.2	1	0.17	8
Escorrentía y Tiempo de concentración	SURLAG	Coefficiente de retardo de la escorrentía superficial (días)	0.1	24	-6.3	10
	OV_N	Coefficiente de Manning de la superficie terrestre	0	30	27.8	4
	CN2	Número de Curva inicial para la condición de humedad (%)	35	98	85.7	1
	CH_K	Conductividad hidráulica efectiva para canales principales (mm/h)	5	130	87.7	6
Flujo Lateral	LAT_TTIME	Tiempo de recorrido del flujo lateral (días)	5	180	0.26	9
Agua subterránea	ALPHA_BF	Factor alfa de recesión del flujo base (días)	0	1	-0.38	13
	GW_REVAP	Coefficiente de revaporización del agua subterránea (días)	0	0.2	0.06	16
	GW_DELAY	Tiempo de demora para recargar el acuífero (días)	5	500	160.4	2
	GWQMN	Nivel del umbral freático para que ocurra flujo de retorno (mm)	0	2	1.21	5
	REVAPMN	Nivel del umbral freático para que ocurra revaporización (mm)	0	500	359.5	3
Rutina de Agua en el Canal	CH_N	Coefficiente de Manning para canales principales (n/a)	0	0.3	0.43	12
	ALPHA_BNK	Factor alfa de almacenamiento del flujo base	0	1	0.86	15
Agua en el Suelo	SOL_AWC	Capacidad de Campo (mm H ₂ O/mm suelo)	-0.2	0.4	0.01	14
	SOL_K	Conductividad hidráulica del suelo (mm/hr)	1	1000	157.8	11
	SOL_BD	Densidad aparente del suelo (g/cm ³)	-0.5	0.6	0.43	7
	FFCB	Almacenamiento Inicial del agua	0	1	0.8	17

Para la modelación se utilizaron tres años de calentamiento 1980-1982, la línea base comprendió el periodo 1983-2010 y la validación se realizó entre 2011-2015.

Se utilizaron cinco (Tabla 24), estaciones hidrométricas las cuales se encuentran distribuidas en algunas subcuencas.

Tabla 24. Resultados de la calibración por estación.

Estación		Subcuenca			Caudal (m ³ /s)		Evaluación de la calibración			
Número	Nombre	Número	Río	Área (Km ²)	Medido	Modelado	Proceso	RSR ⁽¹⁾	NSE ⁽²⁾	PBIAS <±25
132-01-02	La Soledad	5	Río Bulabá	337	25.5	21.7	Calibración	0.76	0.56	-30.70%
							Validación	0.65	0.54	-28.10%
132-01-03	San Francisco	32	Río Santa María	1370	86.11	88.3	Calibración	0.44	0.42	6.60%
							Validación	0.44	0.31	-19.10%
132-02-03	Alto Jorón	27	Río Santa María	254	12.3	12.3	Calibración	0.76	0.75	4.90%
							Validación	0.87	0.86	6.10%
132-02-04	Sitio de Desvío	19	San Juan	19.2	1.4	1.4	Calibración	0.84	0.77	-13.90%
							Validación	0.66	0.47	27.90%
132-03-01	San Juan	14	Río Gatún	445	25.4	27.6	Calibración	0.81	0.72	6.80%
							Validación	0.75	0.69	3.50%

Estación 132-01-02 – La Soledad

Está localizada en la subcuenca 5, tiene un área de drenaje de 337 km², la estación registra un caudal promedio anual de 25.5 m³/s, el modelo lo estimó en 21.7 m³/s, para el proceso de calibración se obtuvo un NSE de 0.56 y en el de validación de 0.54, ambas medidas son consideradas satisfactorias. Los resultados pueden ser mejorados con mayor número de interacciones.

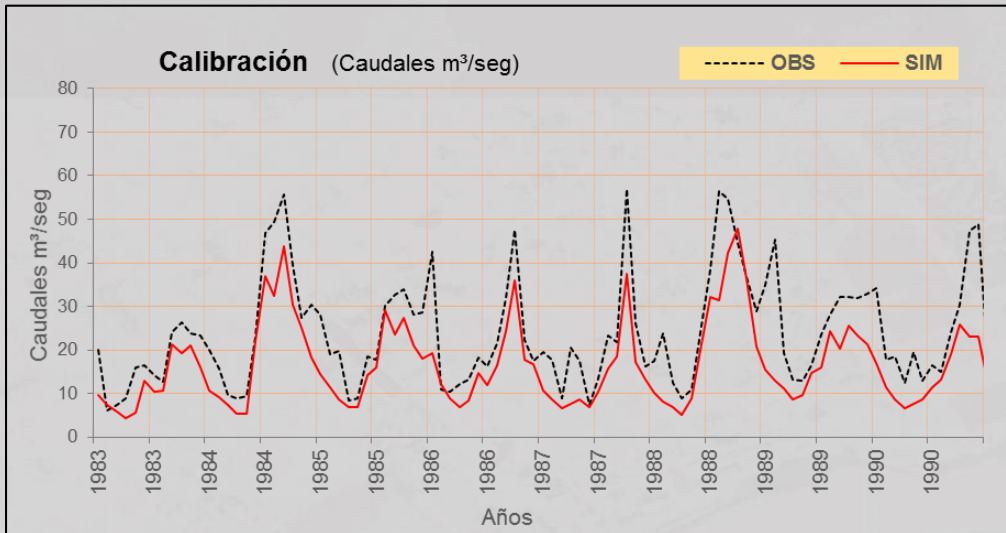


Figura 47. Caudales calibrados en la estación La Soledad 1983 – 1990.

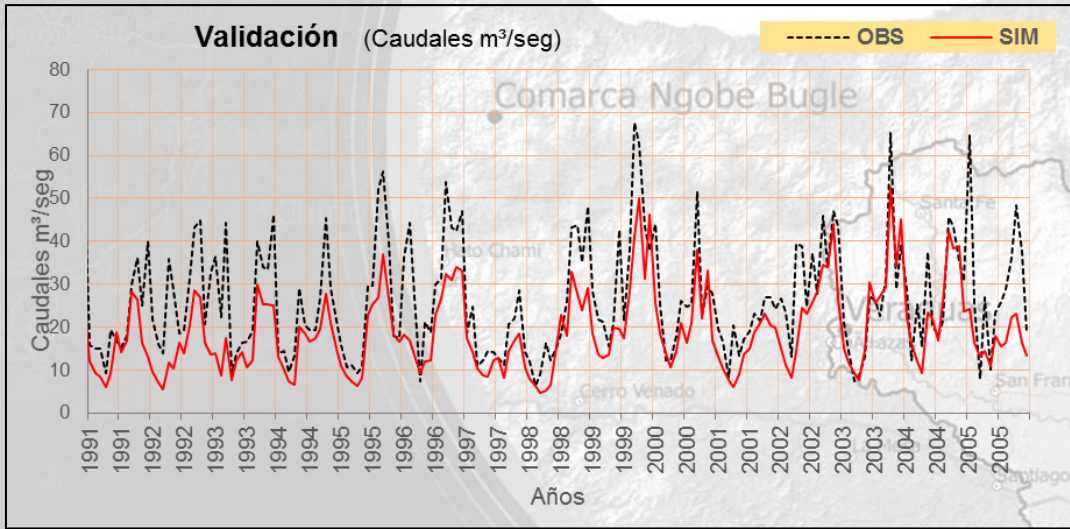


Figura 48. Caudales Validados en la estación La Soledad 1991 – 2005.

Estación 132-01-03 – San Francisco

Está localizada en la subcuenca 3, tiene un área de drenaje de 1370 km², la estación registra un caudal promedio anual de 86.1 m³/s, el modelo lo estimó en 88.3 m³/s, para el proceso de calibración se obtuvo un NSE de 0.42 y en el de validación de 0.31, ambas métricas no son consideradas satisfactorias. El comportamiento de los caudales máximos y mínimos son consistentes, esto permite que los resultados pueden ser mejorados con mayor número de interacciones.

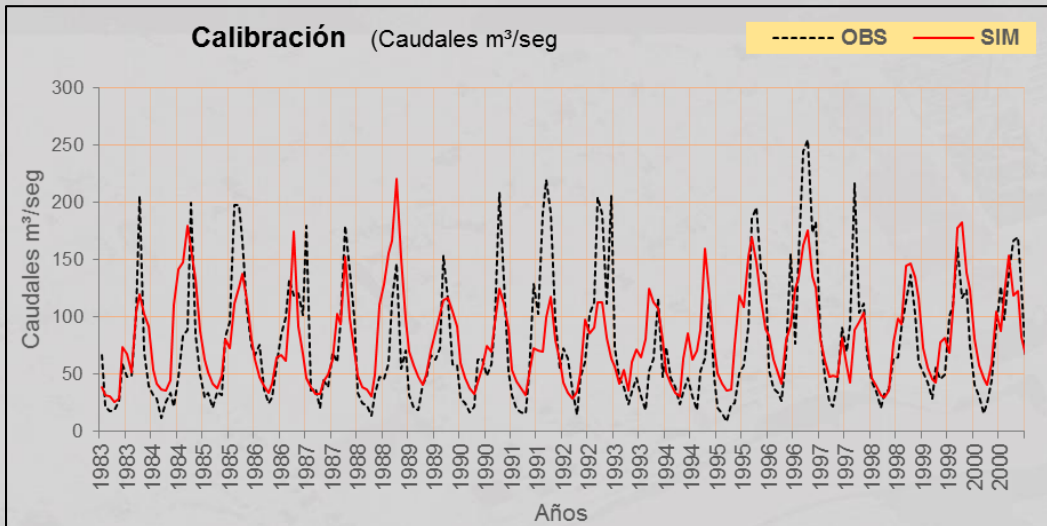


Figura 49. Caudales calibrados en la estación San Francisco 1983 – 2000.

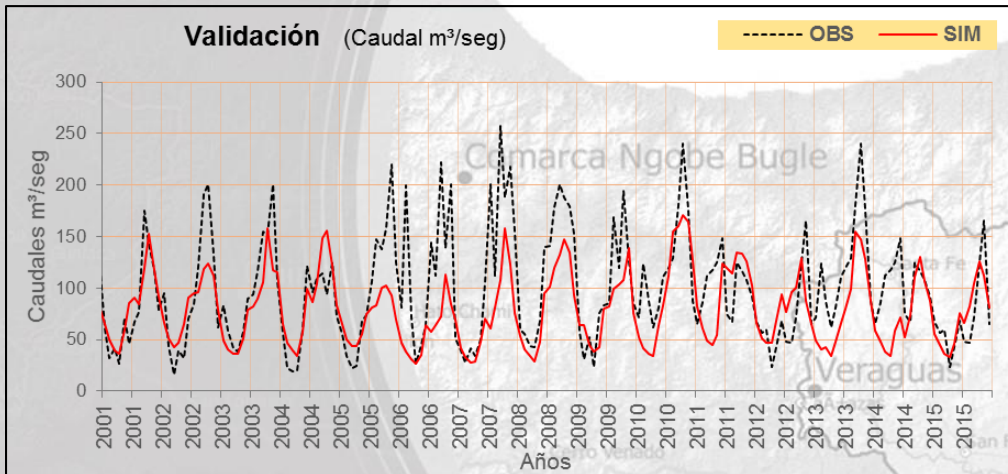


Figura 50. Caudales Validados en la estación San Francisco 2001 – 2015.

Estación 132-02-03 – Alto Jorón

Está localizada en la subcuenca 27, tiene un área de drenaje de 254 km², la estación registra un caudal promedio anual de 12.3 m³/s, el modelo lo estimó en 12.3 m³/s, para el proceso de calibración se obtuvo un NSE de 0.75 y en el de validación de 0.86, ambas métricas son consideradas muy buenas.

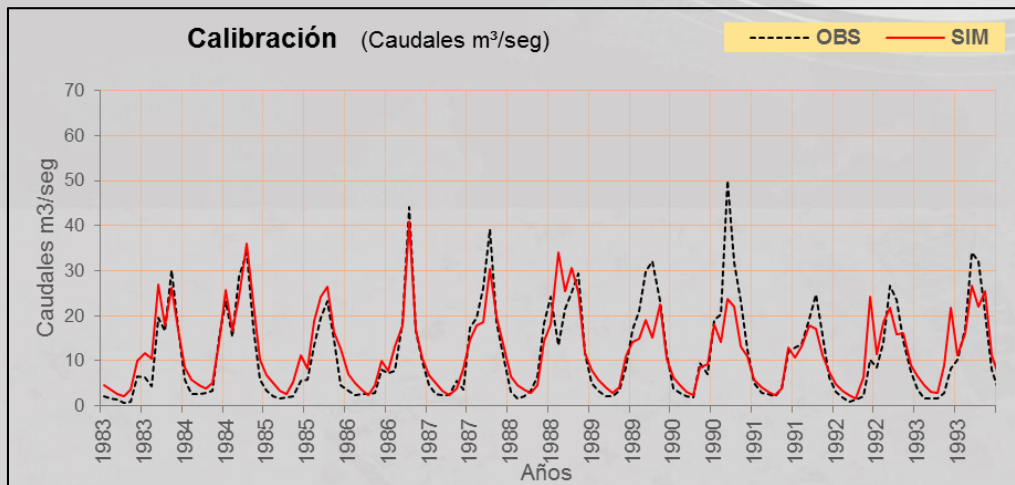


Figura 51. Caudales calibrados en la estación Alto Jorón 1983 – 1993.

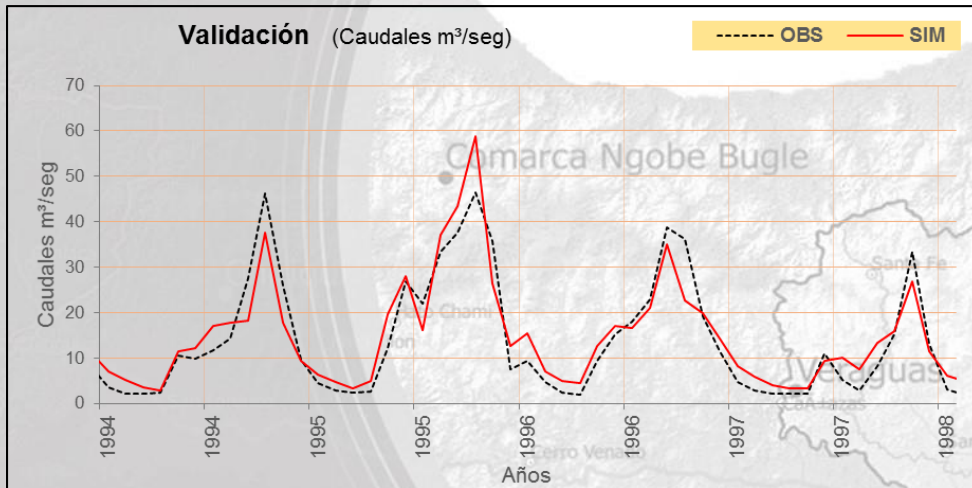


Figura 52. Caudales validados en la estación Alto Jorón 1994 – 1998.

Estación 132-02-04 – Sitio de Desvío

Está localizada en la subcuenca 19, tiene un área de drenaje de 19.2 km², la estación registra un caudal promedio anual de 1.4 m³/s, el modelo lo estimó en 1.4 m³/s, para el proceso de calibración se obtuvo un NSE de 0.77 considerado muy bueno y en el de validación de 0.46 en esta etapa de validación la métrica no es considerada satisfactoria aunque la consistencia es aceptable.

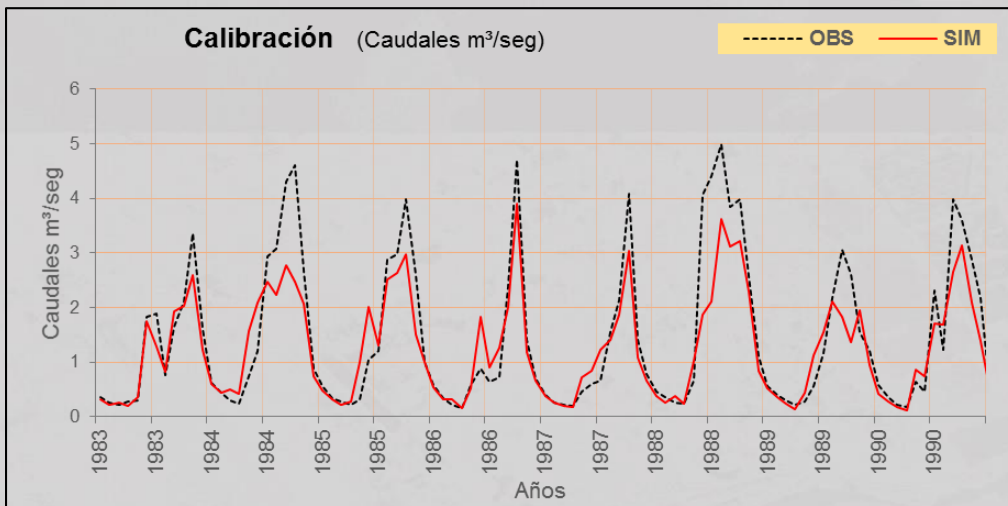


Figura 53. Caudales calibrados en la estación Sitio de Desvío 1983 – 1990.

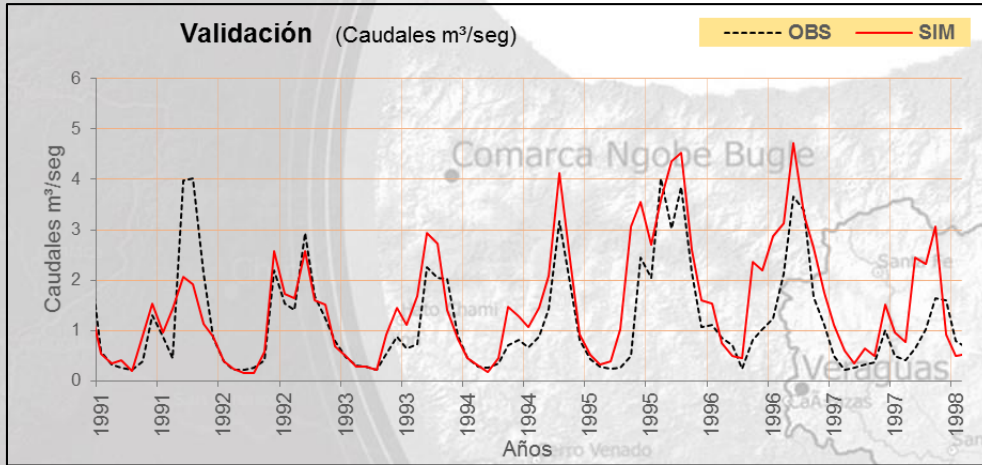


Figura 54. Caudales validados en la estación Sitio de Desvío 1991 – 1998.

Estación 132-03-01 – San Juan

Está localizada en la subcuenca 14, tiene un área de drenaje de 445 km², la estación registra un caudal promedio anual de 25.4 m³/s, el modelo lo estimó en 27.6 m³/s, para el proceso de calibración se obtuvo un NSE de 0.72 considerado muy bueno y en el de validación de 0.69 considerado bueno.

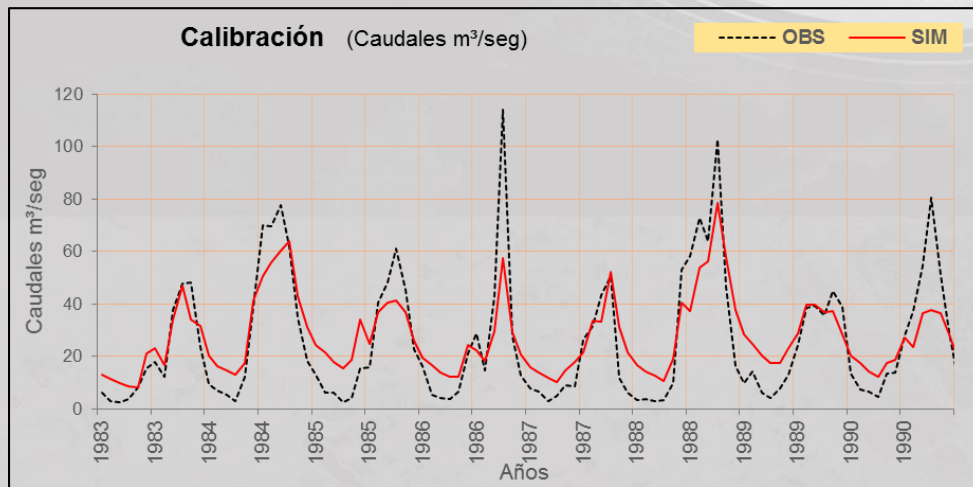


Figura 55. Caudales calibrados en la estación San Juan 1983 – 1990.

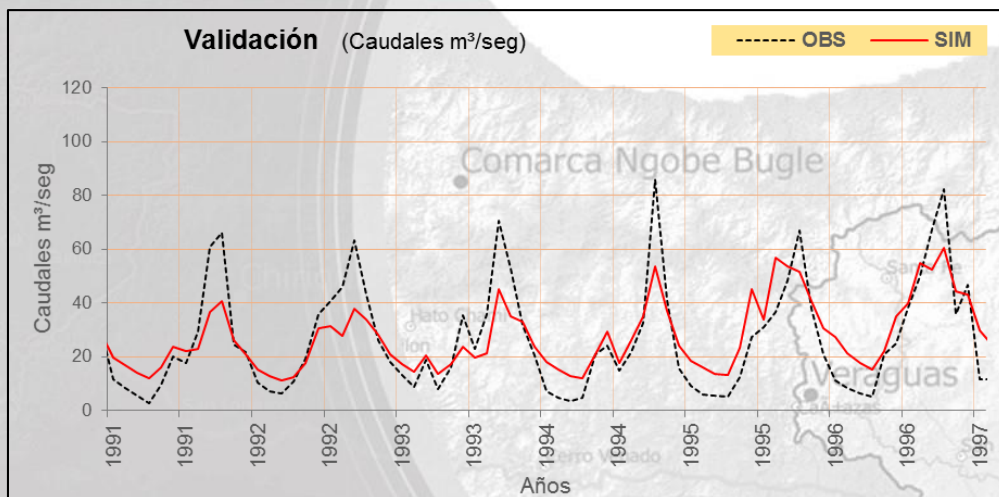


Figura 56. Caudales validados en la estación San Juan 1991 – 1997.

5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se basan principalmente de un balance hídrico para cada cuenca hidrográfica (río La Villa, río Santa María y río Grande). Para dicho balance hídrico se presentará el comportamiento de las siguientes variables en base a la modelación realizada para el periodo 1980 - 2015: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial, caudal, infiltración del suelo y flujo lateral.

Al obtener como resultado un balance hídrico, podemos conocer la oferta natural de una cuenca hidrográfica y al haber realizado un análisis discreto de la demanda por subcuencas; podemos determinar la disponibilidad de agua a nivel mensual de las cuencas hidrográficas. De igual forma se aplicará el índice de escasez de agua que se define como la relación entre la oferta de agua y la demanda en unidades de %.

Por otro lado, se determinarán áreas potenciales de recarga hídrica para cada una de las cuencas tomando en consideración la pendiente, el uso del suelo y la textura del suelo; que también fueron insumos para realizar la modelación hidrológica en SWAT.

5.1. Balance hídrico

5.1.1. Cuenca del río La Villa

En la Tabla 25 y en la Figura 57 se muestra el balance hídrico y las variables representativas del ciclo hidrológico. En cuanto a la precipitación, la subcuenca Quebrada de Piedra presenta un promedio de lluvia de 2053.94 mm, el más alto de todas las subcuencas. La evapotranspiración promedio se encuentra por el orden de 663.6 mm. Además se presenta el valor promedio de la escorrentía, infiltración y flujo lateral. De igual forma se presenta el caudal acumulado que se utiliza para determinar la disponibilidad y el caudal específico para determinar el índice de escasez.

Tabla 25. Balance hídrico en la cuenca del río La Villa (promedio anual 1980-2015).

Subcuenca		Área (Km ²)	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)	Flujo Lateral (mm)	Caudal (Acumulado) (m ³ /seg)	Caudal Específico (l/seg/Km ²)
N°	Nombre								
128 - 01	Río Estibaná	305.61	1691.66	761.2	108.39	670.9	117.6	7.92	25.91
128 - 02	Río Quebrada Pesé	103.55	1463.43	614.6	230.72	426.1	29.4	34.62	78.50
138 - 03	Río Tebarío	89.06	1720.82	688.3	57.90	251.5	702.0	2.76	31.03
128 - 04	Río La Villa (Bajo)	116.00	1050.33	430.6	115.51	191.9	6.1	36.60	18.86
128 - 05	Quebrada Piedras	251.91	2053.94	883.2	59.72	59.0	1203.1	16.06	63.73
128 - 06	Río Quebrada Grande	69.19	1051.94	420.8	111.20	171.5	34.3	0.67	9.64
128 - 07	Río El Gato	158.85	1821.08	764.9	68.52	75.8	974.0	5.55	34.91
128 - 08	Río Quebrada Salitre	119.75	1656.99	712.5	132.04	419.5	356.0	24.30	73.27
128 - 09	Río Esquiguita	82.43	1657.79	696.3	259.09	468.7	102.2	2.23	27.00

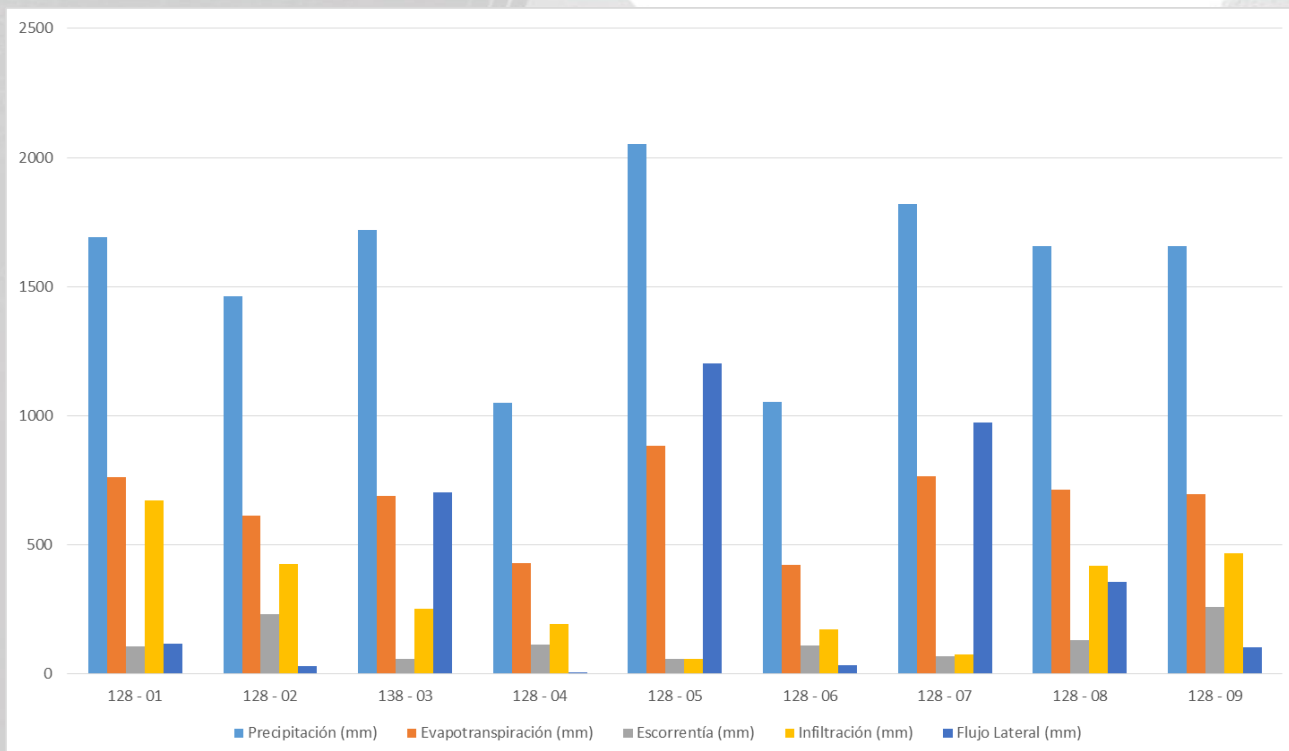


Figura 57. Variables del balance hídrico en la cuenca del río La Villa.

5.1.2. Cuenca del río Santa María

El balance hídrico de la cuenca se presenta en la Tabla 26 y Figura 58. Se cuenta con una precipitación promedio de 2,160 mm y la mayor precipitación la encontramos en la subcuenca río Corita. La evapotranspiración promedio de la cuenca 954.5 mm y la subcuenca con mayor evapotranspiración es río Estero Salado. También se presentan las variables de escorrentía, infiltración, y flujo lateral para cada subcuenca. Además se presenta el caudal acumulado que se utiliza para determinar la disponibilidad y el caudal específico para determinar el índice de escasez.

Tabla 26. Balance hídrico en la cuenca del río Santa María (promedio anual 1980-2015).

Subcuenca		Área (Km ²)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)	Flujo Lateral (mm)	Caudal (Acumulado) (m ³ /seg)	Caudal Específico (l/seg/Km ²)
N°	Nombre								
132 - 01	Río Escotá	385.35	1704.12	745.9	186.01	116.9	658.2	11.46	53.79
132 - 02	Sta María Parte Baja	93.76	1589.78	683.4	367.58	338.0	36.3	136.21	50.16
132 - 03	Río Cocobí - Río Las Gu	365.60	2586.64	1150.0	535.23	548.1	704.5	110.75	81.66
132 - 04	Río San Francisco	217.74	2532.49	1129.6	235.82	1317.0	503.9	45.74	79.95
132 - 05	Río Higuí - Cuay	130.15	2255.69	992.1	799.57	709.7	189.3	6.48	71.16
132 - 06	Río Bulabá	345.07	2305.66	1025.5	453.97	159.3	971.2	10.24	72.82
132 - 07	Río Gatú	489.56	2599.31	1153.7	357.29	1147.1	358.6	20.38	82.04
132 - 08	Río Corita	194.80	2698.94	1197.5	422.18	855.1	915.2	9.63	85.20
132 - 09	Río Cañazas	373.23	1994.03	883.3	382.64	303.2	445.6	7.97	62.96
132 - 10	Río Sta María Parte Me	462.07	2489.49	1105.3	672.60	450.2	544.8	39.91	78.58
132 - 11	Río Estero Salado	199.22	1589.80	697.4	289.78	290.4	181.8	2.46	50.16
132 - 12	Zona Marino Costera	151.01	1577.05	690.7	533.21	183.7	29.5	2.90	49.76

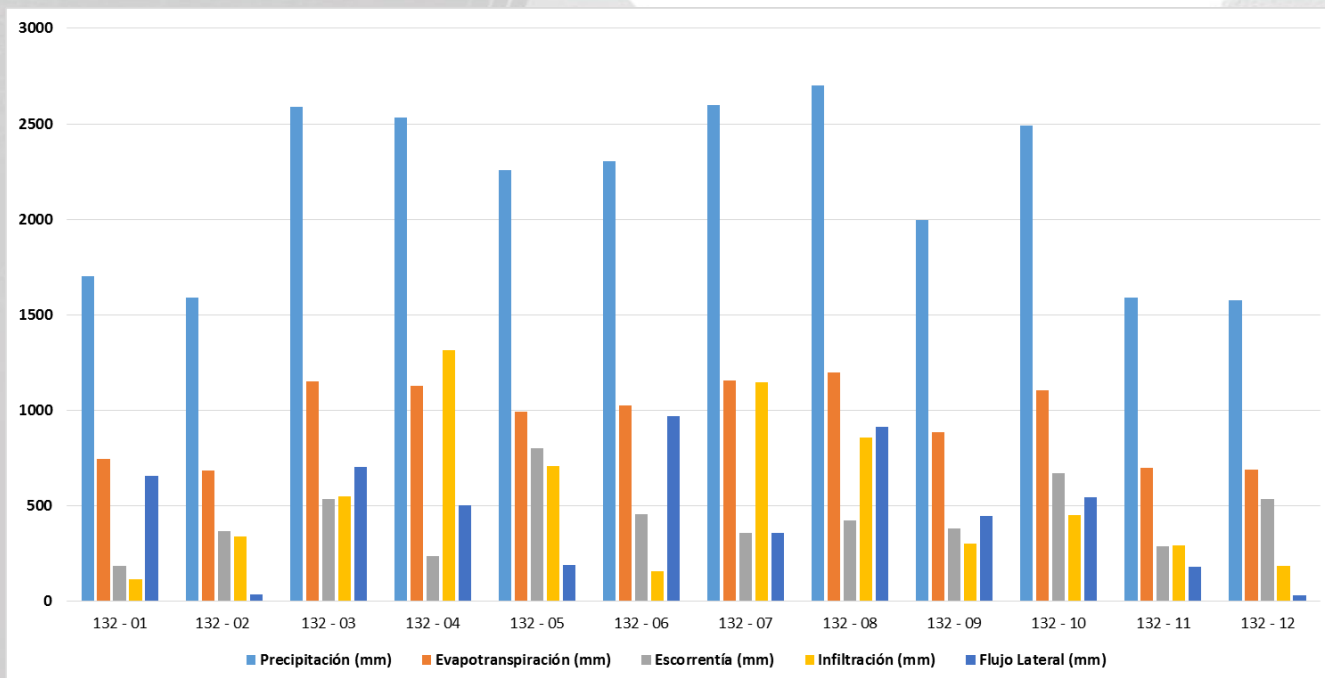


Figura 58. Variables del balance hídrico en la cuenca del río Santa María.

5.1.3. Cuenca del río Grande

El balance hídrico fue realizado para las 17 subcuencas establecidas (Tabla 27 y Figura 59). En general, la precipitación promedio es de 1,737.97 mm y la precipitación mayor es de la subcuenca río Chico, la evapotranspiración promedio es de 767.79 mm. La escorrentía promedio de la cuenca es de 211.9 mm se infiltra aproximadamente en la cuenca 361.4 mm y el flujo lateral promedio es de 266.64 mm.

Tabla 27. Balance hídrico en la cuenca del río Grande (promedio anual 1980-2015).

Subcuenca	Área (Km ²)	Precipitación (mm)	Evap (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)	Flujo Lateral (mm)	Caudal (Acumulado) (m ³ /seg)	Caudal Específico (l/seg/Km ²)
N°	Nombre							
134 - 01	Río Potrero	199.28	1773.48	788.1	210.31	514.9	231.2	6.37
134 - 02	Río Pintada Vieja	74.46	1524.63	681.1	271.16	78.1	70.7	5.23
134 - 03	Nacimiento de Río Gra	269.16	2432.37	1088.6	354.48	437.3	81.5	10.84
134 - 04	Río El Chorro	36.20	1524.60	671.1	372.70	965.1	1.9	8.30
134 - 05	Río Olá	235.84	1582.24	687.0	83.99	131.0	356.8	3.30
134 - 06	Parte Media de Río San Juan	59.51	1436.03	634.2	126.08	97.5	608.7	18.35
134 - 07	Río Cañazuela	79.28	1201.88	525.8	218.99	139.9	579.0	15.85
134 - 08	Río Pocrí	222.90	1691.17	740.0	278.13	131.9	70.2	3.47
134 - 09	Río Porecabé	151.87	1691.17	743.0	278.13	694.8	153.5	3.47
134 - 10	Río Marica	83.79	1851.15	823.0	372.10	465.7	93.0	6.21
134 - 11	Río Chico Parte Baja	260.11	1522.85	671.3	152.55	222.1	82.1	47.95
134 - 12	Río Chico	237.20	3132.08	1392.4	537.63	189.0	60.2	16.33
134 - 13	Río Zaratí	166.72	2089.77	921.4	37.25	925.4	650.3	4.68
134 - 14	Río Chorrera	115.86	1802.98	797.3	48.40	343.7	290.6	3.59
134 - 15	Desembocadura de Río Chorrera	23.83	1396.55	615.4	98.26	164.8	560.4	3.54
134 - 16	Río Honda	63.12	1429.25	628.2	19.24	112.6	361.4	0.82
134 - 17	Copé - Las Lajas	144.06	1463.33	644.5	143.00	68.8	3.3	56.42

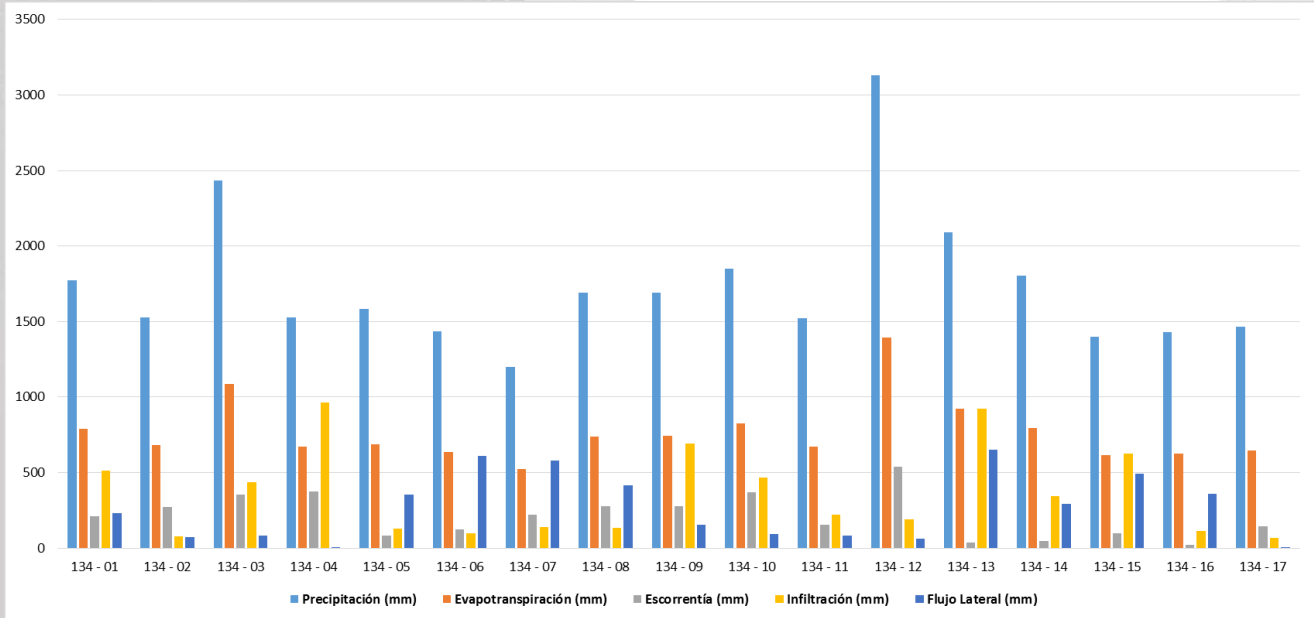


Figura 59. Variables del balance hídrico en la cuenca del río Grande.

5.2. Disponibilidad de agua

5.2.1. Cuenca del río La Villa

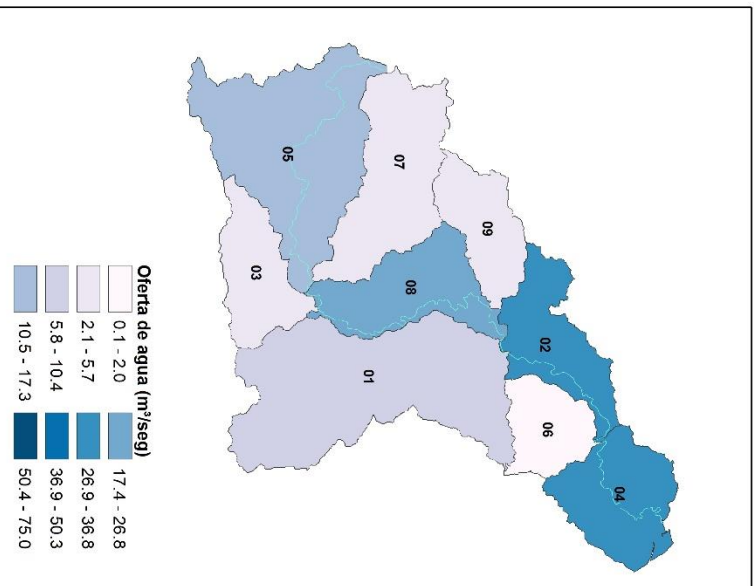
A partir de los resultados obtenidos del balance hídrico obtenemos el mapa de oferta hídrica que define el flujo acumulado sobre el cauce del río. En la Figura 60 se presenta el promedio anual (1980-2015) del flujo acumulado y el promedio mensual por subcuenca. La oferta hídrica parte desde 0.1 m³/s hasta 75 m³/s. Esta variable es un insumo para el cálculo de disponibilidad así también como la demanda hídrica descrita anteriormente. Una vez integrada estas variables podemos conocer la disponibilidad de agua en la cuenca.

En la Figura 61 se presenta el mapa de disponibilidad de agua, anual y el promedio mensual para el periodo de análisis. Se evidencia que las subcuencas que presentan baja disponibilidad están principalmente en los meses de temporada seca. La subcuenca río Quebrada Grande no cuenta con disponibilidad de agua desde enero a marzo, y en los meses de diciembre y mayo la disponibilidad es baja. En la Tabla 28 se muestra por subcuenca y a nivel mensual como está la disponibilidad de agua distribuida en la cuenca en porcentajes. En general, la cuenca cuenta con buena disponibilidad de agua a lo largo del año.

Tabla 28. Disponibilidad de agua en % de la cuenca del río La Villa.

Subcuenca	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	96.7	95.4	93.7	93.0	97.8	99.3	99.3	99.5	99.7	99.7	99.6	98.8
2	97.6	96.5	94.9	93.7	95.6	98.1	98.5	98.7	99.1	99.2	99.2	98.8
3	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4	92.1	87.7	82.0	78.2	84.0	93.1	95.2	95.9	97.0	97.5	97.5	96.1
5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
6	0.0	0.0	0.0	21.8	68.6	83.3	93.4	96.5	96.8	95.8	91.7	7.6
7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
8	100.0	99.9	99.9	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9	98.8	97.9	97.1	95.9	98.4	99.7	99.7	99.8	99.9	99.9	99.9	99.7

PROMEDIO MENSUAL PERIODO 1980 - 2015



Número	Subcuenca	Área (km ²)
1	Región Hidrográfica - Río Estibaná	305.61
2	Región Hidrográfica - Río Quebrada Pesé	103.55
3	Región Hidrográfica - Río Tebarío	89.06
4	Región Hidrográfica - Río La Villa (bajo)	116.00
5	Región Hidrográfica - Quebrada Piedras	251.91
6	Región Hidrográfica - Río - Quebrada Grande	69.19
7	Región Hidrográfica - Río el Gato	138.85
8	Región Hidrográfica - Río - Quebrada Salitre	119.75
9	Región Hidrográfica - Río Esquíguita	82.43
TOTAL		1296.36

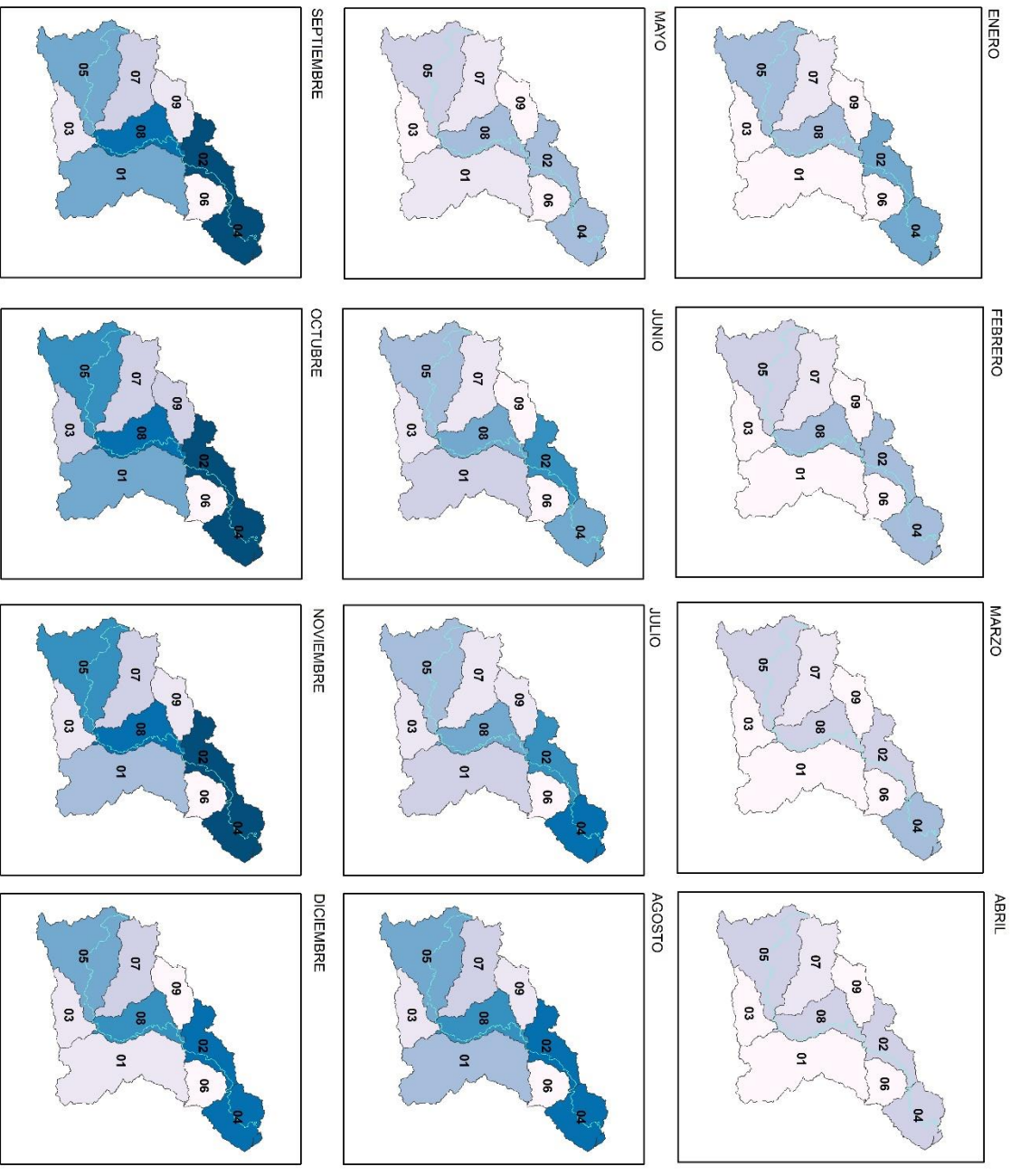
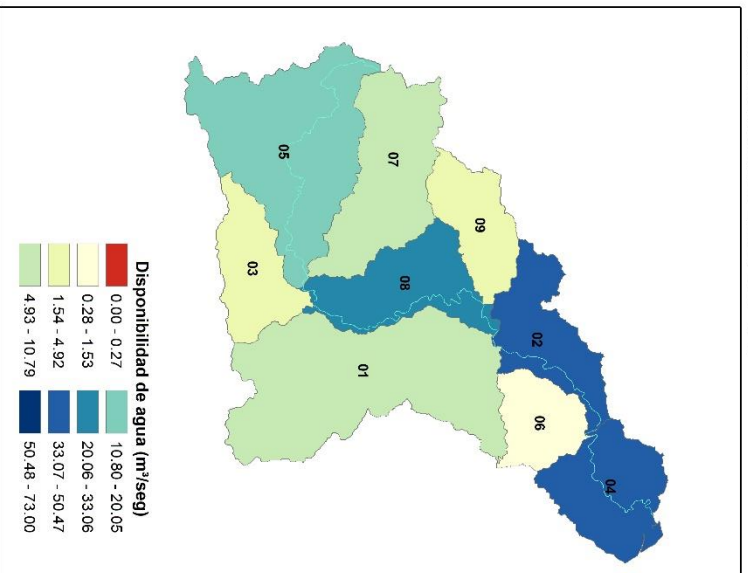


Figura 60. Oferta hídrica en la cuenca del río La Villa.

PROMEDIO MENSUAL PERIODO 1980 - 2015



Número	Subcuenca	Área (km ²)
1	Región Hidrográfica - Río Estibán	305.61
2	Región Hidrográfica - Río Quebrada Pesé	103.55
3	Región Hidrográfica - Río Tebario	89.06
4	Región Hidrográfica - Río La Villa (bajo)	116.00
5	Región Hidrográfica - Quebrada Piedras	251.91
6	Región Hidrográfica - Río - Quebrada Grande	69.19
7	Región Hidrográfica - Río el Gato	158.85
8	Región Hidrográfica - Río - Quebrada Salitre	119.75
9	Región Hidrográfica - Río Esquivita	82.43
TOTAL		1296.36

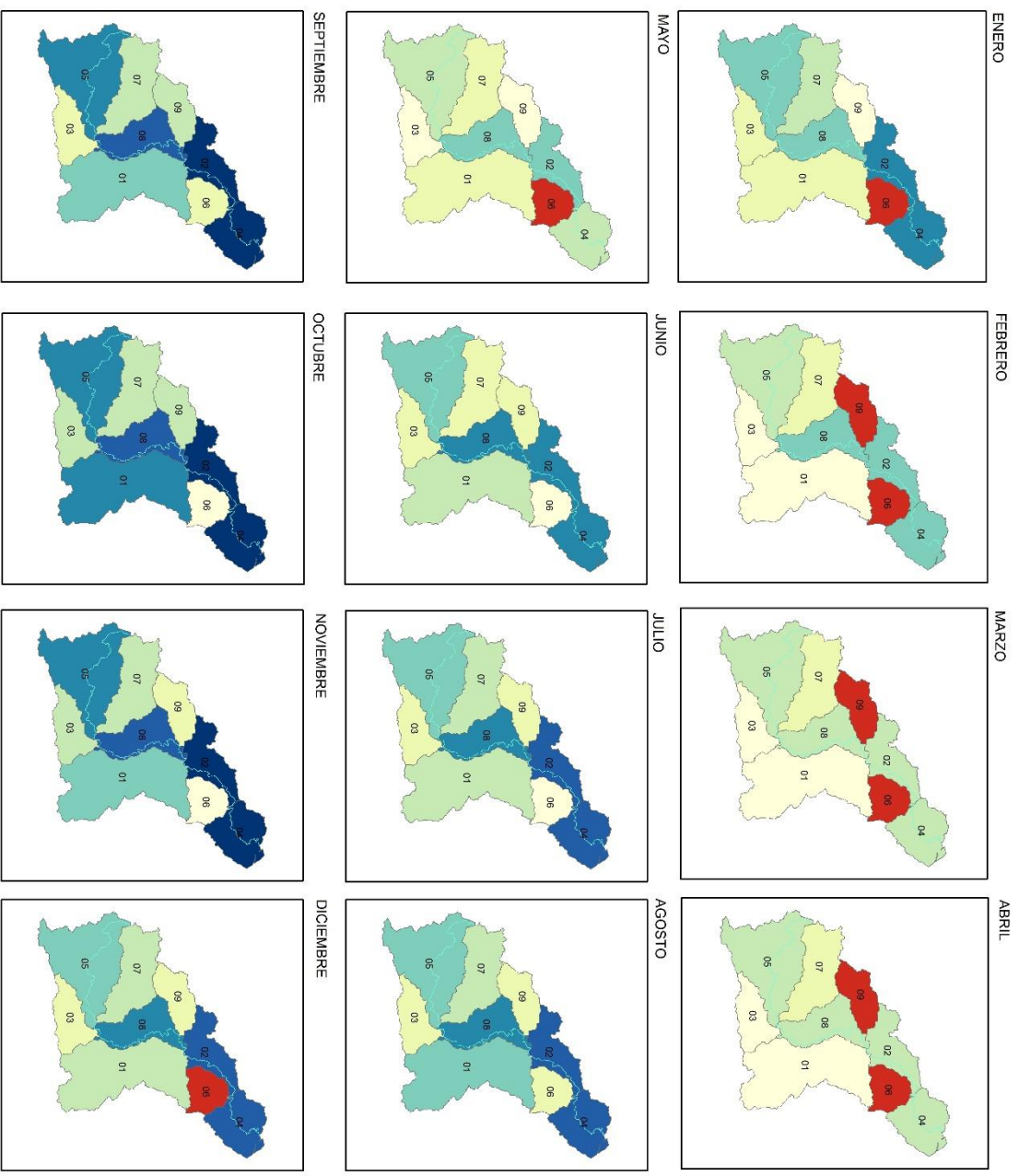


Figura 61. Disponibilidad de agua en la cuenca del río La Villa.

5.2.2. Cuenca del río Santa María

Para determinar la disponibilidad de agua se generó el mapa de oferta hídrica que se muestra en la Figura 62. Dicho mapa detalla el flujo acumulado en m^3/s a nivel anual y mensual para cada una de las subcuencas. Podemos observar que en la parte media de la cuenca los caudales se mantienen relativamente constantes para la temporada seca como lluviosa. Las subcuencas ubicadas en la parte alta y baja, muestran una disminución de caudal para la temporada seca y un aumento para la lluviosa, es decir, que el régimen en estas zonas varía mucho más que en la parte media.

Combinando las capas de oferta hídrica y demanda de agua descrita anteriormente obtenemos la disponibilidad de agua en la cuenca (Figura 63). La cuenca en general no presenta problemas de disponibilidad de agua (Tabla 29), claramente podemos observar que lo largo de los meses las subcuencas cuentan con una disponibilidad que varía entre el 80% al 100%; solo en ciertos meses de la temporada seca la disponibilidad esta alrededor del 70%. Como se mencionó anteriormente la cuenca del río Santa María es la cuenta con mayor precipitación anual, por lo tanto, los volúmenes de agua en la cuenca pueden satisfacer eficientemente la demanda.

Tabla 29. Disponibilidad de agua en % de la cuenca del río Santa María.

Subcuenca	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	99.5	99.3	99.0	98.8	99.5	99.6	99.7	99.7	99.8	99.8	99.8	99.7
2	87.4	83.6	79.5	76.3	85.5	91.8	92.3	93.3	94.7	95.6	94.4	91.8
3	95.1	93.7	92.3	91.3	94.6	96.9	96.9	97.4	97.9	98.2	97.8	96.7
4	97.7	97.0	96.3	96.0	97.5	98.4	98.4	98.6	98.9	99.1	98.8	98.5
5	99.9	99.8	99.4	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
6	96.8	95.9	94.9	94.1	95.6	97.2	97.3	97.7	98.2	98.4	98.2	97.9
7	99.7	99.7	99.6	99.6	99.7	99.8	99.8	99.8	99.9	99.9	99.8	99.8
8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9	100.0	100.0	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
10	86.2	82.1	78.1	75.4	84.9	91.3	91.5	92.9	94.3	95.1	93.9	91.0
11	96.2	94.8	92.9	90.5	96.8	94.6	95.4	96.3	97.5	98.4	96.7	98.1
12	94.9	92.8	90.7	88.6	97.8	96.0	96.2	96.9	98.0	98.7	97.2	98.1

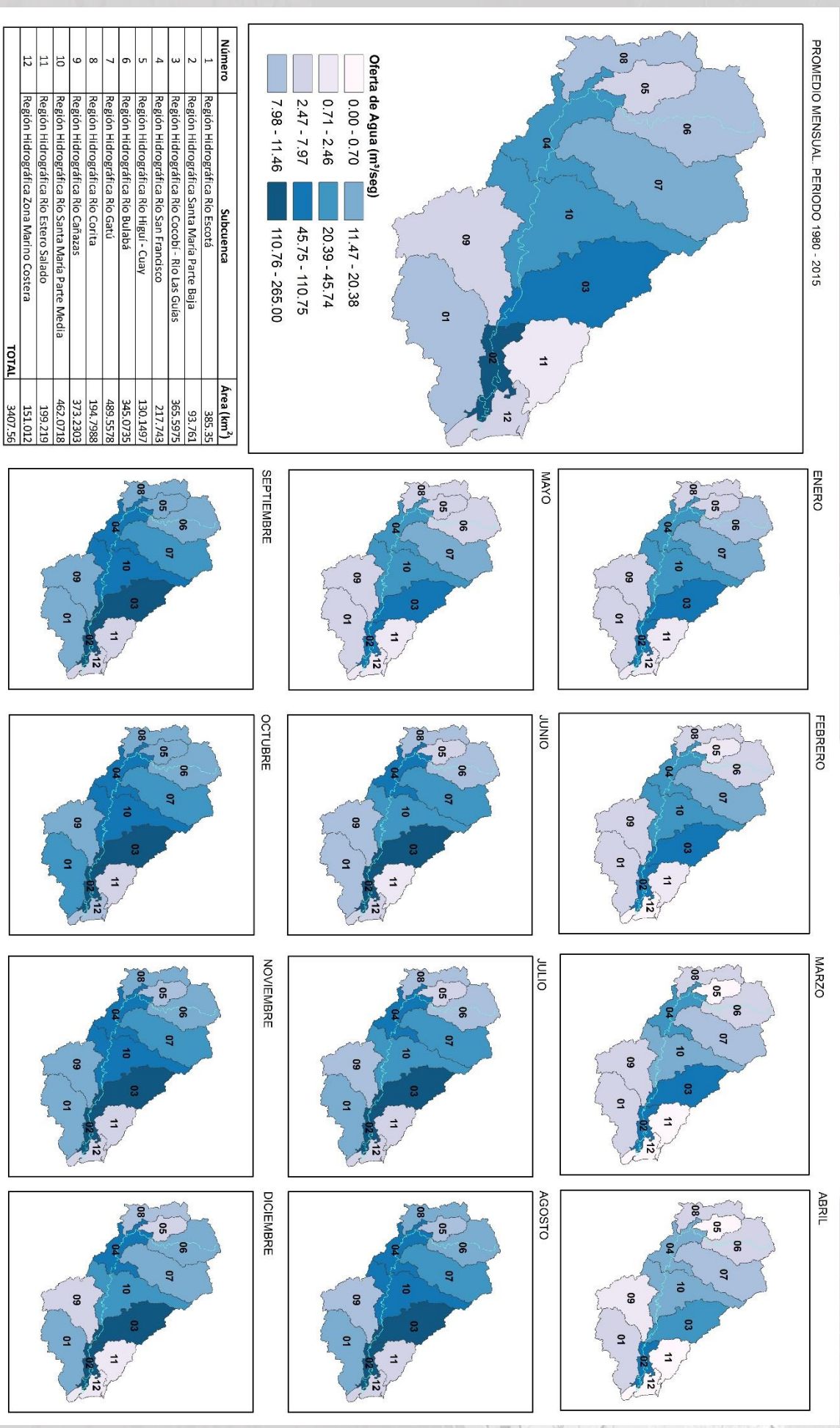
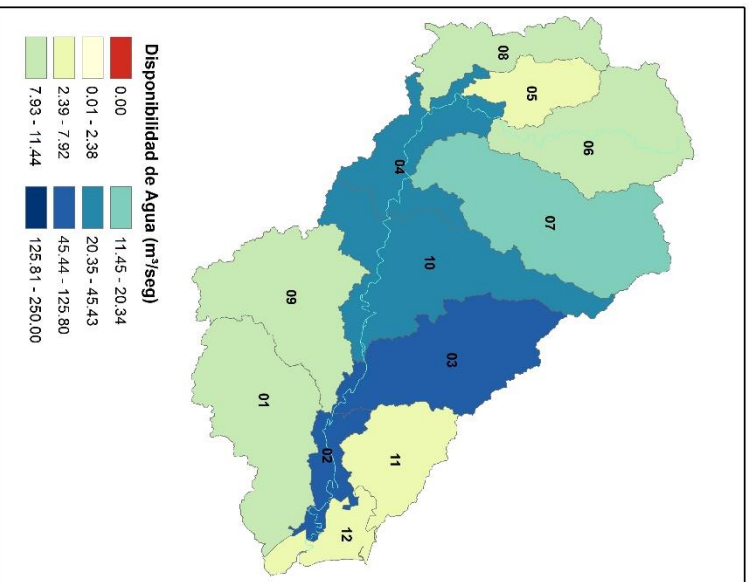


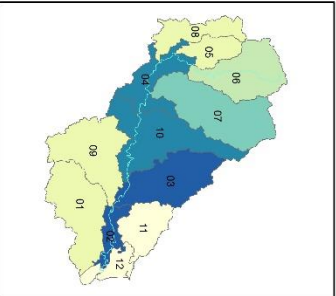
Figura 62. Oferta hídrica en la cuenca del río Santa María.

PROMEDIO MENSUAL PERIODO 1980 - 2015

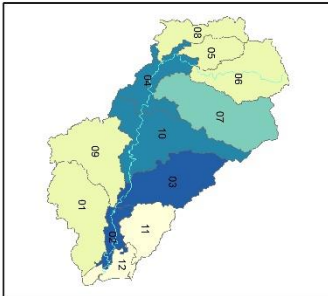


Número	Subcuenca	Área (km ²)
1	Región Hidrográfica Río Escorá	385,35
2	Región Hidrográfica Santa María Parte Baja	93,761
3	Región Hidrográfica Río Cocobí - Río Las Guías	365,5975
4	Región Hidrográfica Río San Francisco	217,743
5	Región Hidrográfica Río Higüí - Cuay	130,1497
6	Región Hidrográfica Río Bulabó	345,0735
7	Región Hidrográfica Río Gatú	489,5578
8	Región Hidrográfica Río Corta	194,7988
9	Región Hidrográfica Río Cahazas	373,2303
10	Región Hidrográfica Río Estero Salado	462,0718
11	Región Hidrográfica Río Estero Salado	199,219
12	Región Hidrográfica Zona Marño Costera	151,012
TOTAL		3407,56

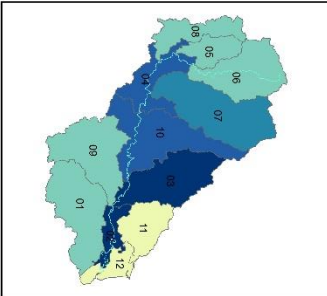
ENERO



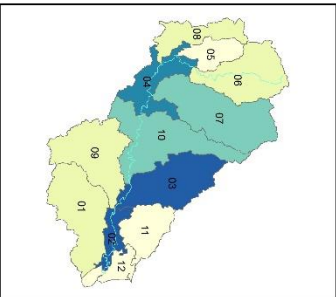
MAYO



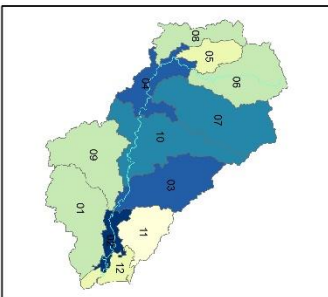
SEPTIEMBRE



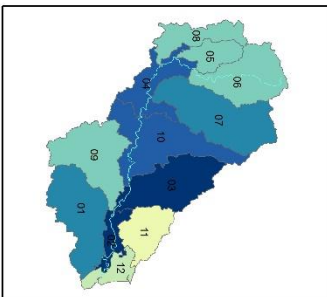
FEBRERO



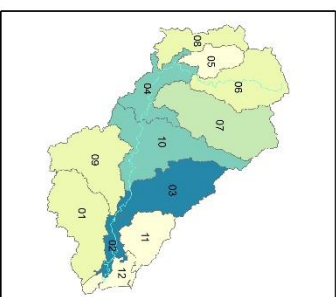
JUNIO



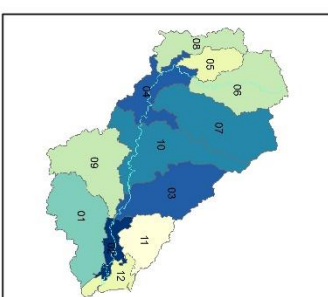
OCTUBRE



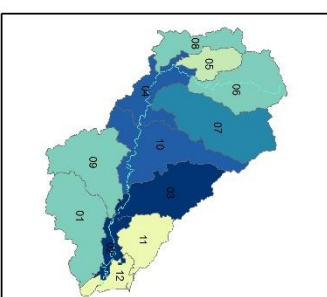
MARZO



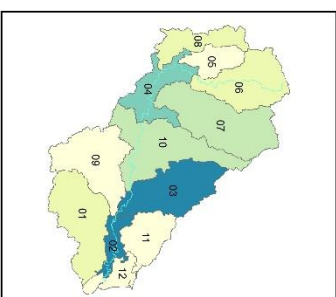
JULIO



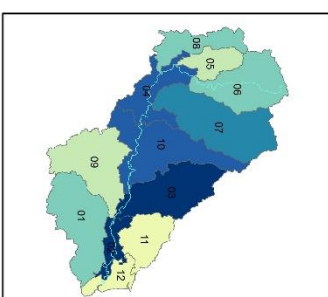
NOVIEMBRE



ABRIL



AGOSTO



DICIEMBRE

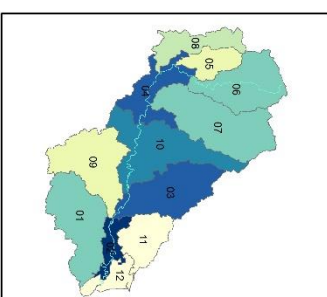


Figura 63. Disponibilidad de agua en la cuenca del río Santa María.

5.2.3. Cuenca del río Grande

En la Figura 64 se presenta la oferta de agua, donde se utilizó el flujo acumulado para cada subcuenca obtenido del balance hídrico. La oferta está en unidades de m^3/s y se detalla el promedio anual y promedios mensuales para el periodo analizado. En dicho mapa se observa cómo varía la oferta en cada mes. Las subcuencas ubicadas en la parte alta, que no están dentro del cauce principal, son las que presentan cambios de caudales más notables; en los meses del periodo seco los caudales están por el orden de 0 a $5 m^3/s$. En cambio, para los meses lluviosos se refleja un aumento que alcanza los $18 m^3/s$.

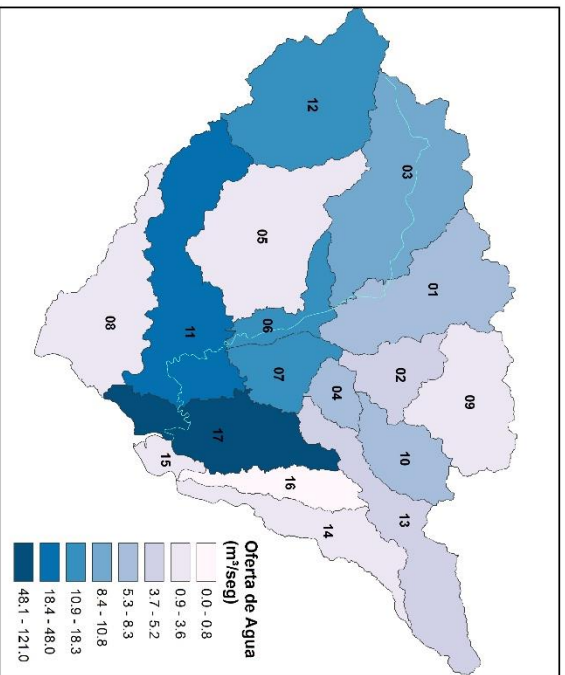
Para determinar la disponibilidad de agua se realiza una diferencia entre la demanda y la oferta en cada subcuenca. En la Figura 65 se muestra el mapa de disponibilidad, podemos observar que en los meses de febrero, marzo, abril y mayo la subcuenca nacimiento de río Grande no cuenta con disponibilidad, es decir, que la demanda supera o es igual a la oferta. De igual forma la subcuenca parte media de río Grande en los meses de marzo, abril y mayo no cuenta con disponibilidad. Este mismo resultado se obtuvo para las subcuencas río Chico Bajo (en los meses de marzo y abril) y Copé –Las Lajas (en el mes de abril).

En la Tabla 30 se presenta la disponibilidad de las subcuencas en porcentaje. En general, durante los meses del año, la oferta cubre satisfactoriamente la demanda; de manera que la disponibilidad se mantiene por encima del 70% en la mayoría de los casos; a excepción de las subcuencas mencionadas anteriormente que presentan una disponibilidad por debajo del 70% durante los meses del año.

Tabla 30. Disponibilidad de agua en % de la cuenca del río Grande.

Subcuenca	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	100.0	100.0	99.9	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	95.3	92.3	88.9	86.5	96.6	98.1	97.7	98.0	98.7	99.0	98.8	97.8
3	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	17.1	33.7	57.0	66.0	56.1	40.2
4	96.6	94.2	91.1	90.0	97.4	98.7	98.6	98.8	99.2	99.3	99.2	98.5
5	97.7	96.5	93.7	90.6	91.6	95.9	97.0	97.6	98.5	99.1	99.1	98.8
6	35.1	9.4	0.0	0.0	0.0	36.9	42.2	54.0	71.0	78.5	72.9	62.0
7	89.1	82.8	73.3	70.9	87.4	93.6	93.5	94.3	95.8	96.7	96.3	93.8
8	99.6	99.4	99.4	99.3	99.7	99.8	99.8	99.8	99.9	99.9	99.9	99.7
9	93.2	89.3	85.4	82.2	95.5	97.0	96.6	96.9	98.1	98.4	98.3	96.6
10	99.9	99.9	99.8	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
11	54.6	36.4	0.0	0.0	15.0	50.8	55.0	62.5	74.5	79.9	77.1	65.5
12	81.7	73.1	59.9	47.4	68.8	55.9	62.1	69.4	79.0	81.1	78.1	66.2
13	82.7	87.6	67.2	74.0	89.3	93.4	93.2	94.0	94.8	95.3	94.7	91.1
14	96.0	98.9	94.8	95.0	91.3	92.7	92.1	92.8	94.0	94.6	94.2	92.9
15	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
16	99.1	99.9	98.8	98.7	98.8	98.9	98.9	98.9	99.0	99.2	99.3	99.3
17	61.9	47.0	15.8	0.0	28.7	57.9	61.2	67.5	77.9	82.9	80.5	70.9

PROMEDIO MENSUAL PERIODO 1980 - 2015



Número	Subcuenca	Área (km ²)
1	Región Hidrográfica - Río Porrero	199,281
2	Región Hidrográfica - Río Pintada Vieja	74,463
3	Región Hidrográfica - Nacimiento de Río Grande	269,158
4	Región Hidrográfica - Río El Chorro	36,197
5	Región Hidrográfica - Río Olá	235,841
6	Región Hidrográfica - Parte Media de Río Grande	59,511
7	Región Hidrográfica - Río Cañazuela	79,276
8	Región Hidrográfica - Río Poerí	222,9
9	Región Hidrográfica - Río Perecabe	151,873
10	Región Hidrográfica - Río María	83,788
11	Región Hidrográfica - Río Chico Baja	260,114
12	Región Hidrográfica - Río Chico	237,2
13	Región Hidrográfica - Río Zaralí	166,719
14	Región Hidrográfica - Río Chorrea	115,86
15	Región Hidrográfica - Desembocadura Río Chorrea	23,8306
16	Región Hidrográfica - Río Honda	63,12
17	Región Hidrográfica - Copé - Las Lajas	144,058
TOTAL		2423,19

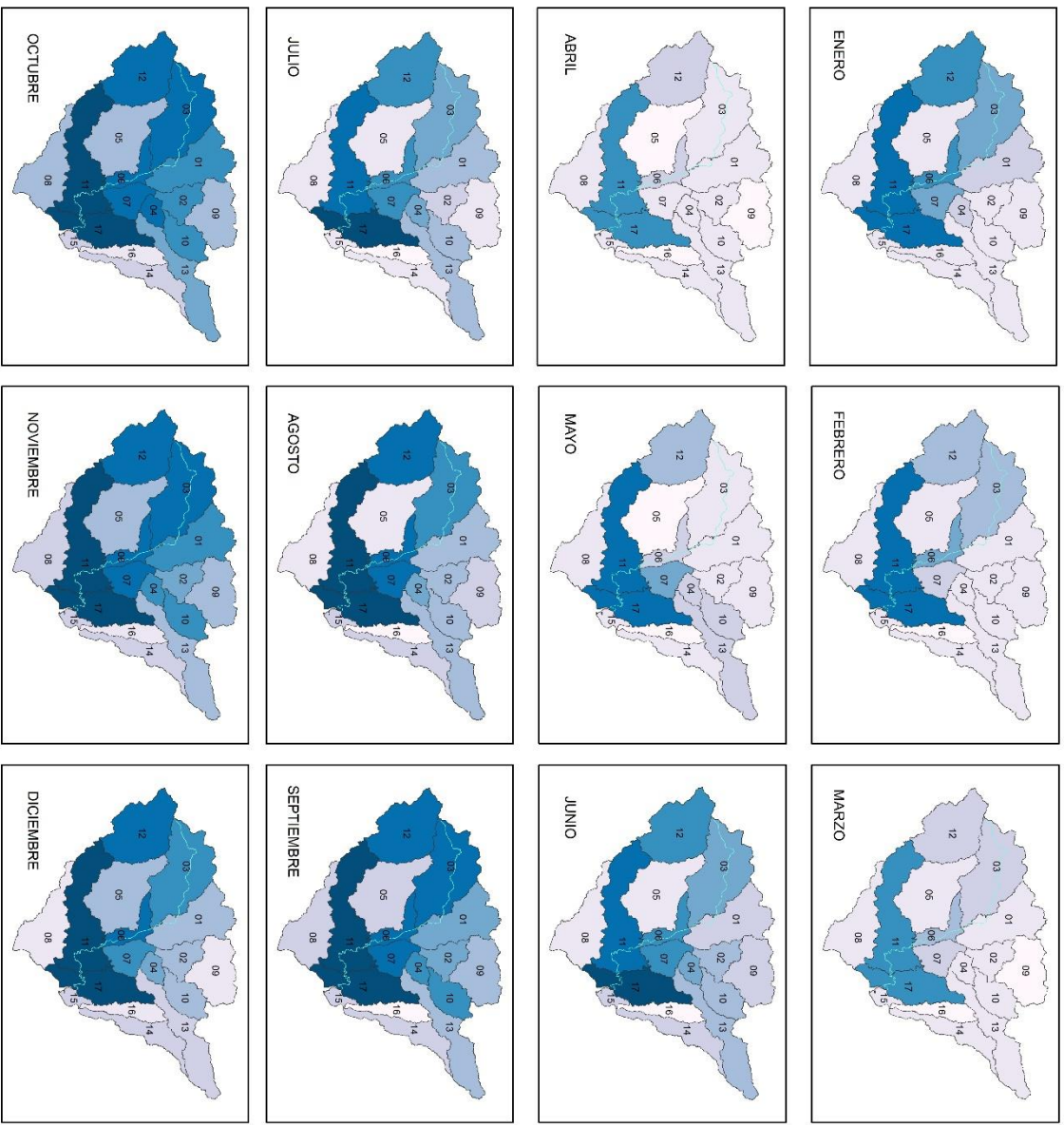
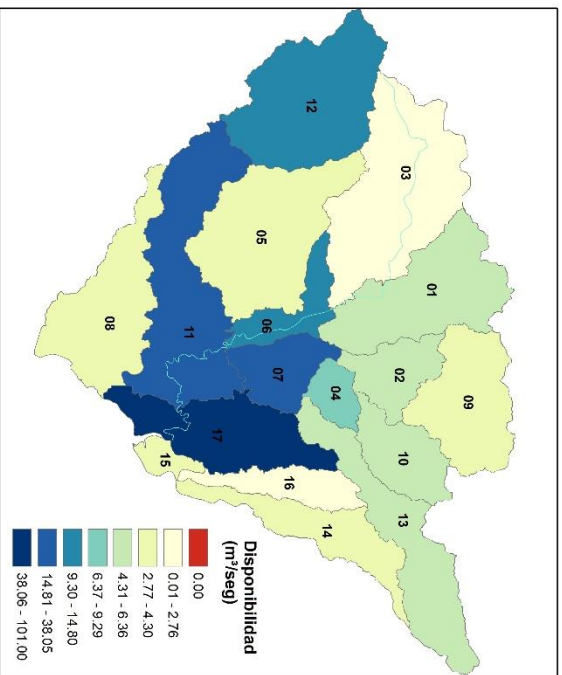


Figura 64. Oferta hídrica en la cuenca del río Grande.

PROMEDIO MENSUAL, PERIODO 1980 - 2015



Número	Subcuenca	Área (km ²)
1	Región Hidrográfica - Río Potrero	199,281
2	Región Hidrográfica - Río Pintada Vieja	74,463
3	Región Hidrográfica - Nacimiento de Río Grande	269,158
4	Región Hidrográfica - Río El Chorro	36,197
5	Región Hidrográfica - Río Olá	235,841
6	Región Hidrográfica - Parte Media de Río Grande	59,511
7	Región Hidrográfica - Río Cañazuela	79,276
8	Región Hidrográfica - Río Poquí	222,9
9	Región Hidrográfica - Río Percebe	151,873
10	Región Hidrográfica - Río Marica	83,788
11	Región Hidrográfica - Río Chico Baja	260,114
12	Región Hidrográfica - Río Chico	237,2
13	Región Hidrográfica - Río Zarati	166,719
14	Región Hidrográfica - Río Chorrera	115,86
15	Región Hidrográfica - Desembocadura Río Chorrera	23,8306
16	Región Hidrográfica - Río Honda	63,12
17	Región Hidrográfica - Copé - Las Lajas	144,058
TOTAL		2423,19

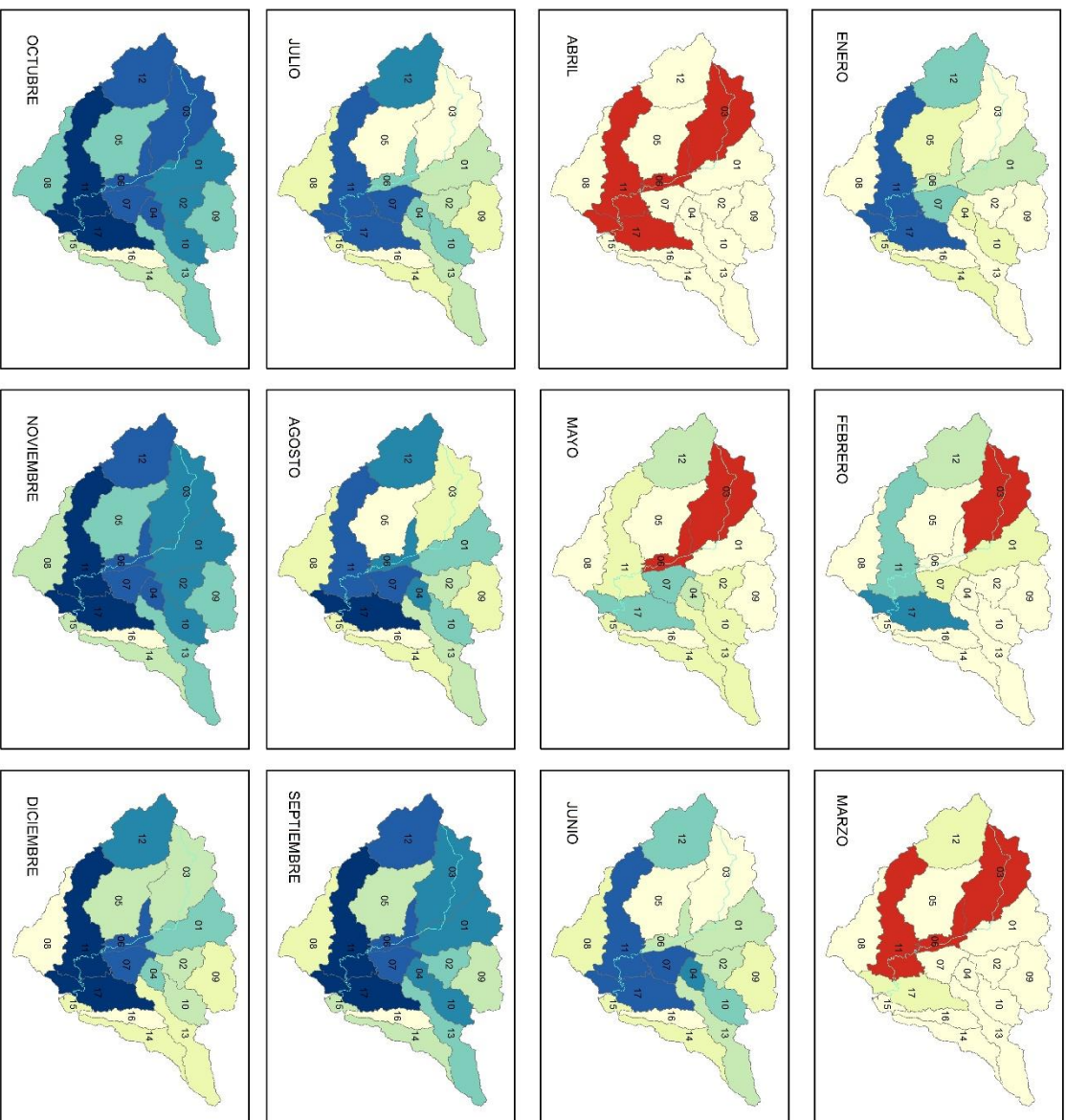


Figura 65. Disponibilidad de agua en la cuenca del río Grande.

5.3. Índice de escasez de agua

Para el cálculo de escasez del recurso hídrico se utilizó de referencia la fórmula del Programa Hidrológico Internacional de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$Ic = (Dh / Oh) \times 100$$

Donde:

Ic es el índice de escasez en porcentaje

Dh es la demanda hídrica

Oh es la oferta hídrica superficial neta

Para el presente estudio el índice de escasez fue calculado de la siguiente manera:

$$Ic = (Demanda hídrica concesionada / Producción de agua) * 100$$

Se obtiene como resultado un mapa con indicadores (semáforos) que describen por medio de porcentajes la presión que existe sobre el recurso hídrico a cada de la demanda que hay propiamente en cada subcuenca. Cabe destacar que la producción de agua se refiere al agua que genera cada subcuenca individualmente gracias a los procesos del ciclo hidrológico, no es un flujo acumulado. Las categorías que se utilizaron para definir el índice de escasez fueron: < 10% indica que el índice de escasez es bajo y que la demanda de agua no supera el 10% de los volúmenes ofrecidos por la fuente, del 10 – 20% se considera un índice de escasez moderado, del 20 – 40% el índice de escasez se clasifica como medio, y cuando es >40% el índice de escasez es alto.

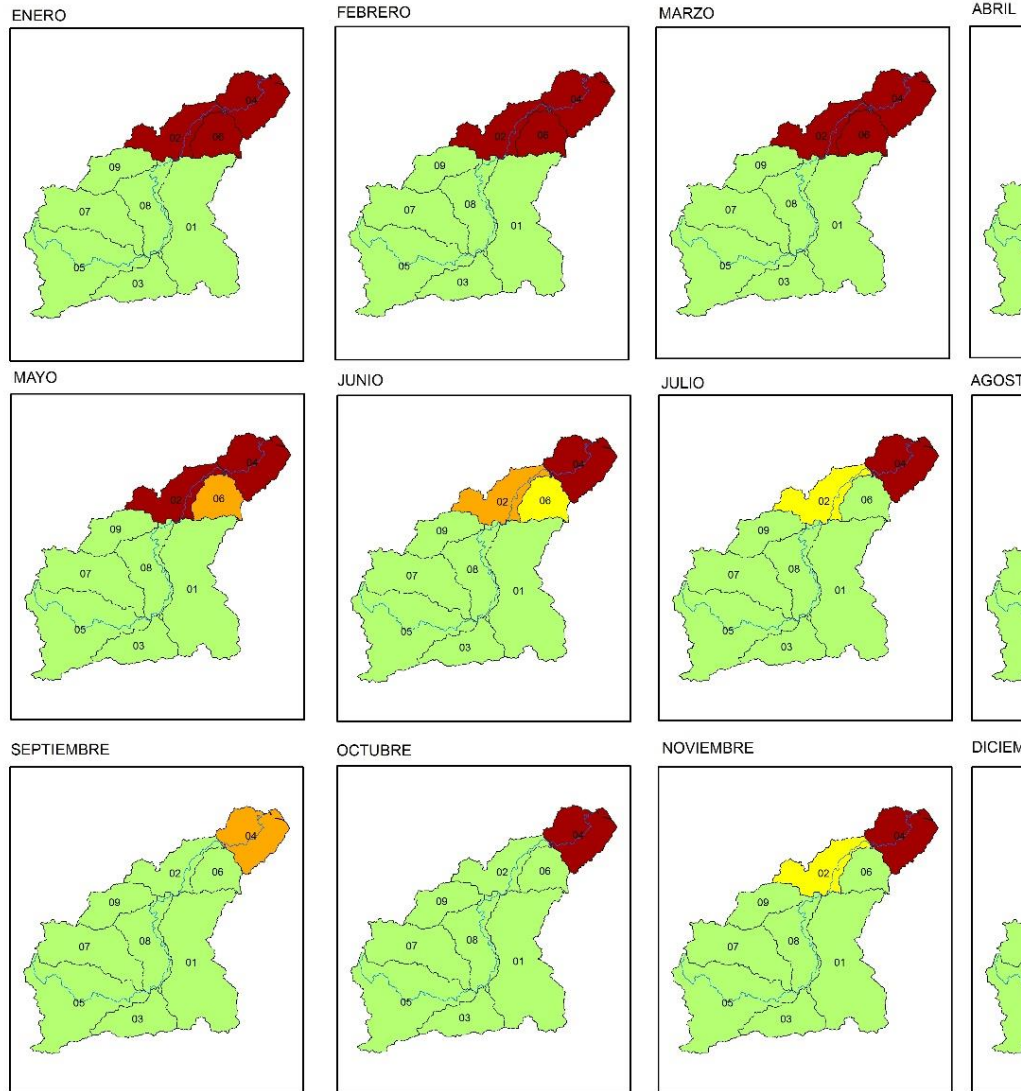
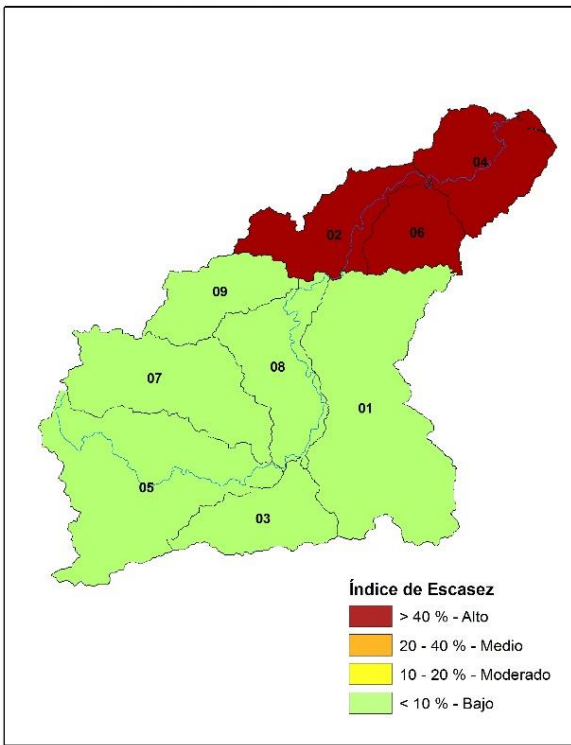
Al aplicar el índice de escasez en el área de estudio (Figura 66 a Figura 68), tomando como datos de entrada la demanda y la producción de agua de cada subcuenca; se logra evidenciar aquellas subcuencas que cuentan con presión sobre el recurso hídrico y específicamente en qué periodo del año esta presión es mayor.

Cabe destacar, que al determinar un índice de escasez alto, no significa que la subcuenca se encuentra en una condición crítica donde no se cuenta con disponibilidad de agua, sino que, brinda una alerta (color rojo) para identificar qué zonas del área de estudio se está aprovechando más de 40% del recurso hídrico.

En el caso de la cuenca del río La Villa, el índice de escasez alto se localiza en la parte baja de la cuenca, específicamente en los meses de la temporada seca. En la subcuenca del río La Villa (bajo), en los meses de noviembre a junio el índice de escasez es del 100%, en el mes de julio y octubre el índice de escasez es de 63% y 54% respectivamente. Y para los meses de agosto y septiembre el índice de escasez es medio. Otra subcuenca que presenta alertas es Río Quebrada Pesé, desde enero hasta abril el índice de escasez es del 100%, es decir, el volumen de agua que produce esta área es aprovechado completamente por la demanda ubicada en dicha subcuenca. En el mes de mayo (mes de transición hacia el invierno) el índice de escasez es del 74%, en el mes de junio el índice de escasez es de 23%. Entre los meses julio a noviembre el índice de escasez es clasificado como moderado y bajo. La subcuenca río Quebrada Grande, muestra que entre los meses de diciembre – marzo el índice de escasez es de 100%. Para el mes de abril es de 71%; y entre los meses de mayo – noviembre se encuentra dentro de las clasificaciones medio, moderado o bajo.

La cuenca del río Santa María presenta la menor cantidad de altos índices de escasez. En cuanto a los promedios anuales de la cuenca, la subcuenca Santa María parte Baja presenta un índice de escasez del 100%; ya que a nivel mensual desde el mes de noviembre hasta agosto, la demanda supera al 100% la oferta que posee dicha subcuenca. Y en los meses de septiembre y octubre el índice de escasez es de 79% y 67% respectivamente. En el mes de febrero el índice de escasez la subcuenca del río San Francisco el índice de escasez es de 99%; en el mes de enero y marzo es de 36% y 21% respectivamente; y desde los meses de abril hasta diciembre el índice de escasez es considerado bajo. En cuanto a la subcuenca del río Santa María parte media, en los meses de febrero y marzo el índice de escasez es del 100%; en el mes de enero es 95%, el mes de abril disminuye a un 21% y para el resto de los meses es menor del 10%.

PROMEDIO MENSUAL. PERIODO 1980 - 2015



Número	Subcuenca	Área (km ²)
1	Región Hidrográfica - Río Estibaná	305.61
2	Región Hidrográfica - Río-Quebrada Pesé	103.55
3	Región Hidrográfica - Río Tebario	89.06
4	Región Hidrográfica - Río La Villa (bajo)	116.00
5	Región Hidrográfica - Quebrada Piedras	251.91
6	Región Hidrográfica - Río - Quebrada Grande	69.19
7	Región Hidrográfica - Río el Gato	158.85
8	Región Hidrográfica - Río - Quebrada Salitre	119.75
9	Región Hidrográfica - Río Esquiguita	82.43
TOTAL		1296.36

Según promedios anuales de índice de escasez en la cuenca del río Grande, existen subcuencas con índices de escasez críticos, que llegan hasta el 100%. En la subcuenca nacimiento del río Grande desde el mes de

diciembre hasta agosto el índice de escasez es alto y específicamente en los meses de febrero, marzo, abril y mayo llega al 100%. En la subcuenca parte media del río Grande desde el mes de enero hasta el mes de agosto el índice de escasez es de 100%. En la subcuenca río Chico bajo, a partir del mes de diciembre hasta septiembre se cuenta con un índice de escasez alto y en los meses de marzo, abril y mayo llega al 100%.

En general, el conocer el índice de escasez en una cuenca hidrográfica, ayuda a visualizar el impacto que causa la demanda existente en el recurso hídrico; y en varias subcuencas la presión alcanza el 100%, es decir, que la subcuenca no es capaz de satisfacer la demanda por sí sola, sino que depende de entrada de agua de otros afluentes para que sea satisfecha.



Figura 66. Índice de escasez en la cuenca del río La Villa.

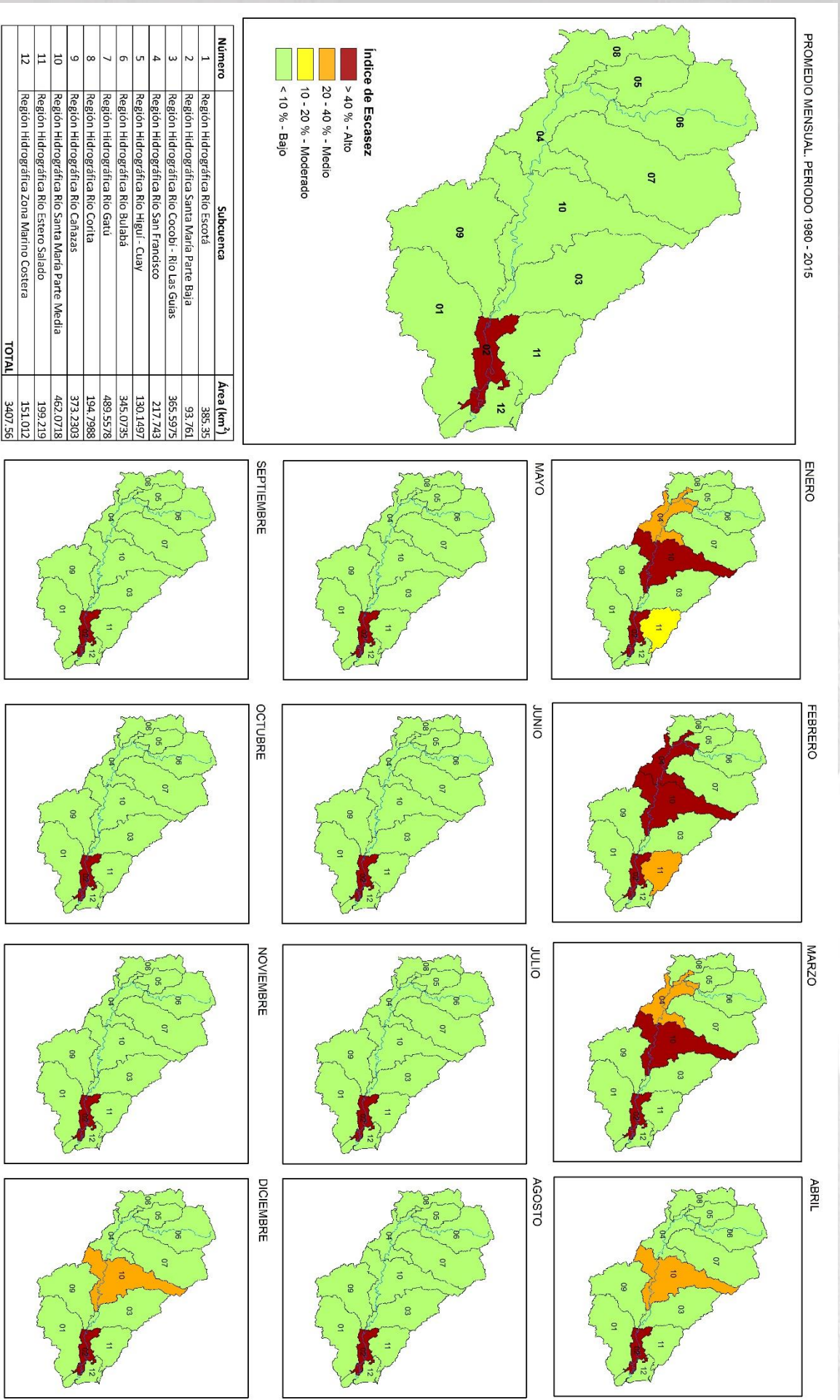
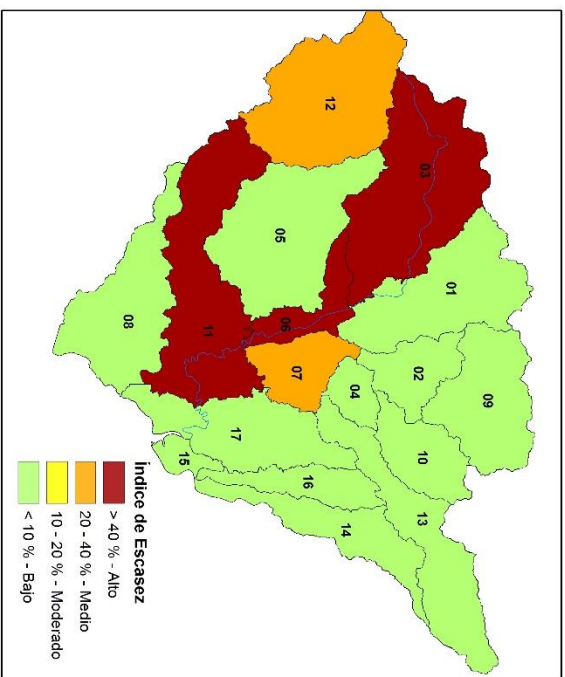


Figura 67. Índice de escasez en la cuenca del río Santa María.

PROMEDIO MENSUAL. PERIODO 1980 - 2015



Número	Subcuenca	Área (km ²)
1	Región Hidrográfica - Río Potrero	199,281
2	Región Hidrográfica - Río Pintada Vieja	74,463
3	Región Hidrográfica - Nacimiento de Río Grande	269,158
4	Región Hidrográfica - Río El Chorro	36,197
5	Región Hidrográfica - Río Olá	235,841
6	Región Hidrográfica - Parte Media de Río Grande	59,511
7	Región Hidrográfica - Río Cañazuela	79,276
8	Región Hidrográfica - Río Poci	222,9
9	Región Hidrográfica - Río Percebe	151,873
10	Región Hidrográfica - Río Marica	83,788
11	Región Hidrográfica - Río Chico Baja	260,114
12	Región Hidrográfica - Río Chico	237,2
13	Región Hidrográfica - Río Zarai	166,719
14	Región Hidrográfica - Río Chorrera	115,56
15	Región Hidrográfica - Desembocadura Río Chorrera	23,8306
16	Región Hidrográfica - Río Honda	63,12
17	Región Hidrográfica - Copé - Las Lajas	144,058
TOTAL		2423,19

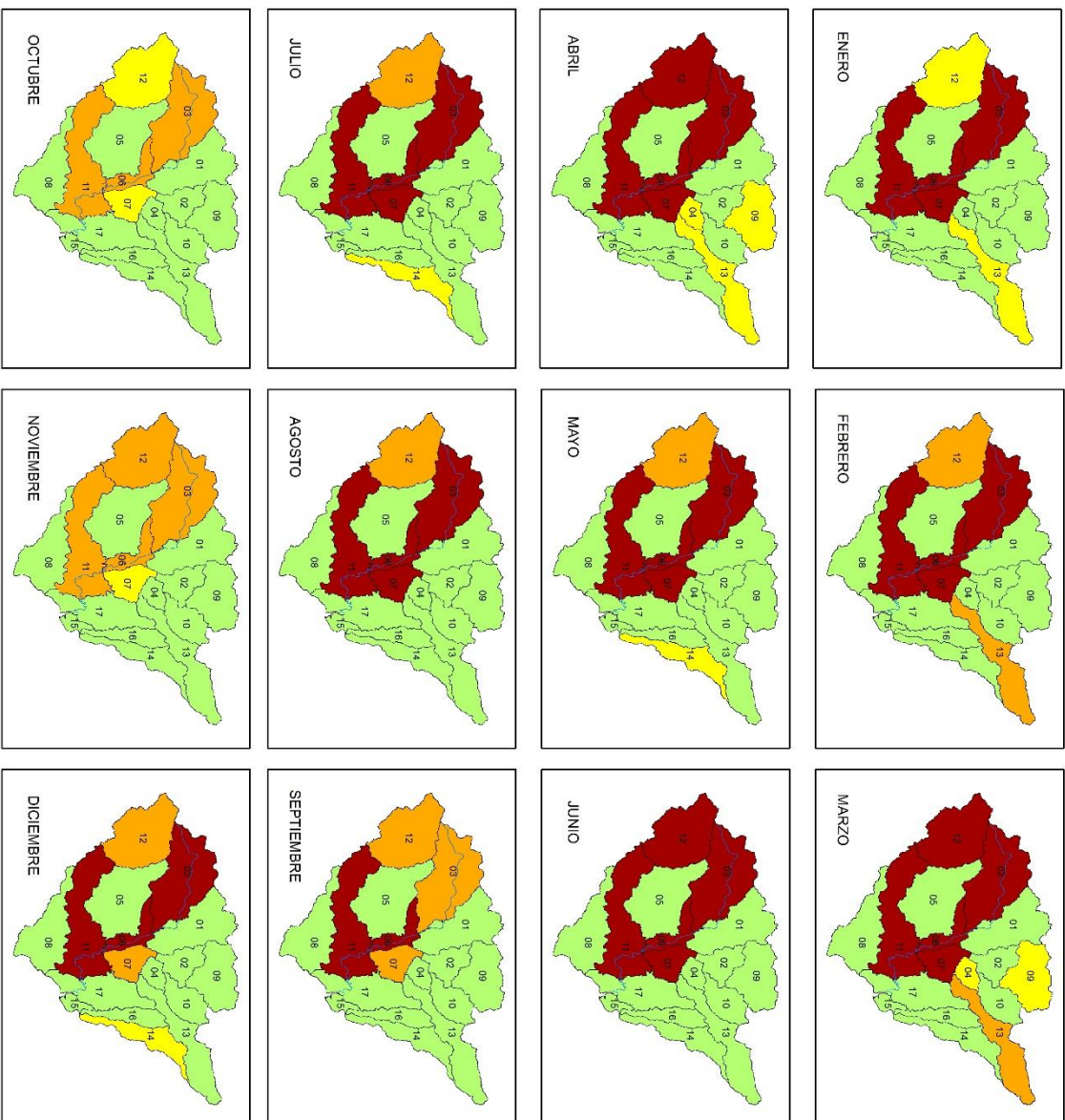


Figura 68. Índice de escasez en la cuenca del río Grande.

5.4. Potenciales áreas de recarga hídrica

Para la definición potencial de las áreas de recarga hídrica en las cuencas hidrográficas de: río La Villa (128), río Santa María (132) y río Grande (134), se tomó como base una propuesta establecida por el Centro Forestal de Cataluña basada en la “Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica Serie técnica. Boletín técnico no. 38” desarrollada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Esta metodología ha sido utilizada con un éxito relevante en diferentes regiones de la América Central como Nicaragua (subcuenca del río Jucuapa) y en su momento se iba a utilizar en la subcuenca de Zaratí, cuenca de río Grande.

Para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica se tomó en consideración lo siguiente:

1. Delimitación de subcuencas hidrográficas o áreas de aporte. Para las cuencas hidrográficas del río La Villa y río Grande se tomaron en consideración las subcuencas hidrográficas oficialmente delimitadas por el MiAmbiente. Para la cuenca del río Santa María se tomó en consideración las áreas de aportes delimitadas por la aplicación SWAT para la modelación hidrológica.
2. Cálculo de pendiente en porcentaje tomando en consideración intervalos que permitan la descripción de la característica del terreno y por lo tanto ponderar la potencialidad de recarga hídrica sobre la base de una valoración que va de 1 a 5 (Tabla 31). La pendiente se calculó sobre modelo de elevación digital de 30 m / NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Tabla 31. Posibilidad de recarga según el tipo de pendiente.

Microrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de Recarga	Ponderación
Plano a casi plano con o sin rugosidad	0 - 6	Muy alta	5
Moderadamente ondulado a cóncavo	6 - 15	Alta	4
Ondulado / cóncavo	15 - 45	Moderada	3
Escarpado	45 - 65	Baja	2
Fuertemente escarpado	> 65	Muy baja	1

3. Cálculo de ponderación de posibilidad de recarga hídrica tomando en consideración únicamente la variable pendiente.
4. Se considera la textura de suelo para identificar características que permitan su valoración (de 1 a 5). La capa de textura de suelo tomada fue generada por el IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá). En la Tabla 32 se muestra la ponderación que se aplica según la textura de suelo.

Tabla 32. Posibilidad de recarga según la textura del suelo.

Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelos franco arenosos a arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración.	Muy alta	5
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración	Alta	4
Suelo franco limoso, con partículas de tamaño medio a finas con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración	Moderada	3
Suelos franco – arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración	Baja	2
Suelos arcillosos, muy pesado con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración.	Muy baja	1

5. Cálculo de ponderación de recarga hídrica tomando en consideración únicamente la variable textura del suelo.

Evaluación de mapa de uso de suelo para ponderar según las características del uso (

6. Tabla 33). Se utilizó el Mapa de Cobertura Boscosa y Uso de Suelo de Panamá 2010 elaborado por el Ministerio de Ambiente.

Tabla 33. Posibilidad de recarga según el uso de suelo.

Uso del Suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos e hierbas	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua	Regular	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

7. Cálculo de ponderación de recarga hídrica tomando en consideración únicamente el uso de suelo.
8. Cálculo de recarga hídrica final ponderando el valor porcentual de cada parámetro: Pendiente = 39%, textura de suelo= 35% y uso de suelo = 26%. Se realiza la siguiente operación matemática:

$$0.39 \text{ (pendiente)} + 0.35 \text{ (textura de suelo)} + 0.26 \text{ (uso de suelo)}.$$

9. Se obtiene la valoración final de potencialidad de recarga hídrica (Tabla 34).

Tabla 34. Potencialidad de recarga hídrica.

Potencialidad de recarga
Muy alta
Alta
Moderada
Baja
Muy baja

5.4.1. Áreas potenciales de recarga hídrica en la cuenca del río La Villa

A nivel de pendiente los terrenos más accidentados o con mayor inclinación se encuentran localizados predominantemente hacia el suroeste de la cuenca y en menor proporción hacia el sureste. Esta condición provoca un rápido escurrimiento superficial cuando se presenta el período de lluvia con poca capacidad de retención y absorción del suelo debido a la inclinación del terreno.

Las áreas de pendiente baja o casi nula inclinación del terreno se encuentran predominadas hacia el Norte de la cuenca donde están poblados como La Villa de Los Santos y Chitré principalmente. Existen otras áreas con condiciones similares caracterizando una planicie de inundación que se va extendiendo desde el sureste de la cuenca muy próximo al drenaje principal acentuándose paralelamente en la parte media y sobre todo en la parte baja o norte de la cuenca. Esta condición del terreno facilita que potencialmente se pueda tener por más tiempo el agua retenida en la superficie de la tierra. De hecho, las condiciones ideales para una buena recarga hídrica es que el área de aporte o cuenca hidrográfica nazca en una pendiente casi plana.

Sobre la base de lo evaluado desde el punto de la pendiente, las áreas de mayor potencialidad de recarga hídrica están ubicadas hacia el norte y noroeste de la cuenca y las de menor recarga potencial por pendiente estarían localizadas hacia el suroeste de la cuenca (Anexo 3, Figura 72).

Desde el punto de vista del uso del suelo la cuenca es predominada por el uso agropecuario. Sin embargo existen pequeñas masas de bosque hacia el suroeste, cobertura de manglar hacia el norte y algunas actividades de reforestación dispersa que facilitan a nivel de su cobertura la mayor potencialidad de recarga hídrica. Hacia la parte central este y oeste, y sureste y suroeste de la cuenca con las ponderaciones de recarga hídrica por uso son regulares. En caso contrario la parte media, sur y norte de la cuenca presenta bajas capacidades potenciales de recarga hídrica por uso de suelo (Anexo 3, Figura 73)

En lo referente a la textura del suelo según sus características el norte de la cuenca presenta alta posibilidades de recarga hídrica debido a la existencia de suelos francos en sitios como Chitré, Pesé y La Villa de Los Santos. Hacia el sur de la cuenca la ponderación de recarga hídrica por suelo es baja debido a la existencia de suelos franco – arcilloso (Anexo 3, Figura 74).

Sobre la base de las combinaciones de los parámetros de pendiente, uso de suelo y textura de suelo las áreas de recarga hídrica potencialmente alta se encuentran localizadas hacia el Norte de la cuenca en Pesé, Chitré y La Villa de Los Santos. En las partes media como Las Minas y Macaracas la potencialidad de la recarga hídrica es moderada y hacia la parte central sur y suroeste la probabilidad de recarga hídrica es muy baja. Los pozos del IDAAN están localizados mayormente en áreas potenciales de recarga hídrica que van de moderadas a altas y los acueductos rurales del MINSA se encuentran mayormente en áreas potenciales de recarga hídrica moderada (Figura 69).

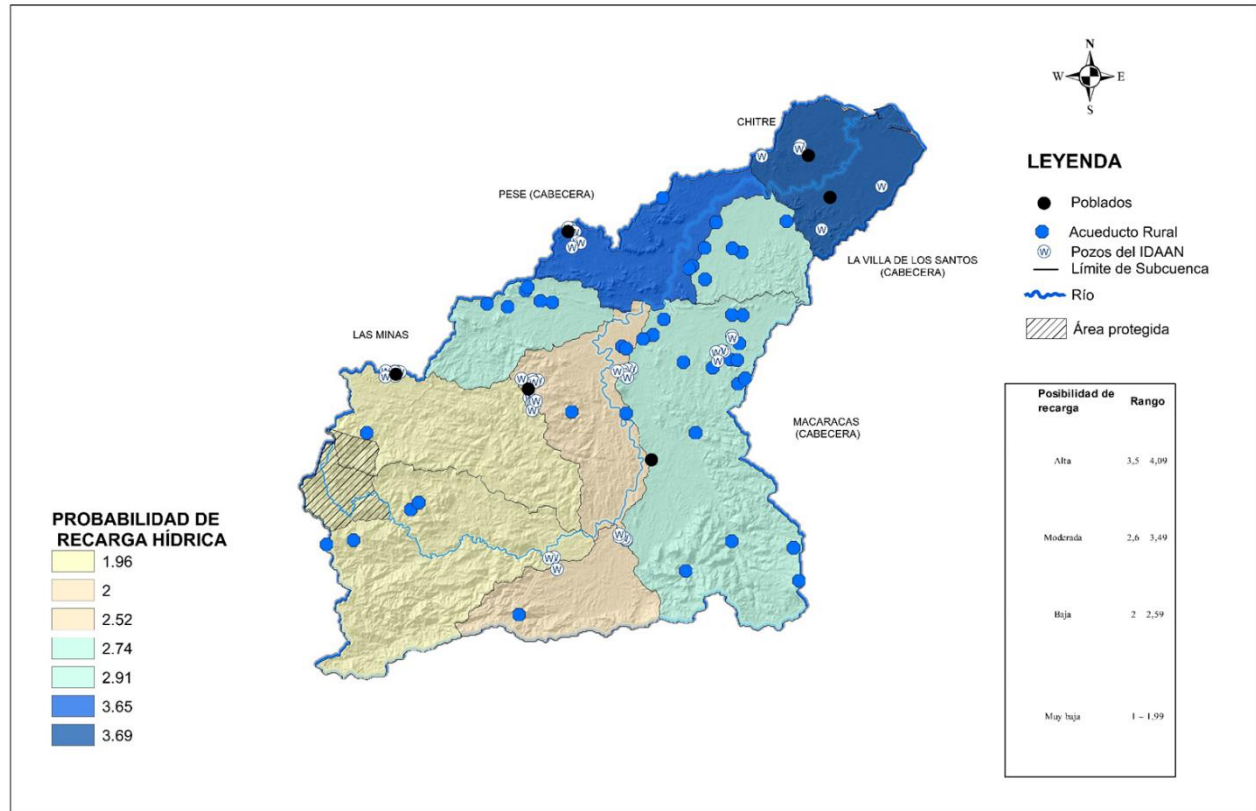


Figura 69. Áreas Potenciales de disponibilidad de recarga hídrica cuenca del río La Villa.

5.4.2. Áreas potenciales de recarga hídrica en la cuenca del río Santa María

A nivel de la pendiente las áreas con terrenos mayormente escarpados se encuentran localizados hacia el norte de la cuenca con posibilidades de recarga hídrica muy baja. De igual forma existe un predominio de pendientes onduladas que caracterizan las posibilidades de recarga hídrica de manera moderada en la parte alta y media de la cuenca y en algunos sectores de la parte baja sobre todo hacia el suroeste. En ese sentido, a nivel de pendiente las áreas de mayor potencialidad de recarga hídrica se encuentran localizadas hacia el sur de la cuenca sobre todo hacia el sureste. Las potencialidades de recarga hídrica moderada predominan en la parte media y las potencialidades baja y muy baja se presentan hacia el norte (Anexo 3, Figura 75).

Desde el punto de vista de uso de suelo las áreas con buena masa vegetal se encuentran localizadas hacia el norte de la cuenca en la cordillera central donde están los bosques maduros. También están los rastrojos disperso hacia la parte alta y media de la cuenca y las actividades agrícolas hacia el sur. A nivel de ponderación por la caracterización del uso de suelo se determina que las áreas de recarga hídrica alta se

encuentran localizadas hacia el norte en la parte alta de la cuenca donde también presenta a algunos sectores con área de recarga hídrica moderada. La mayor parte de la cuenca presenta potencialidad de recarga hídrica baja sobre todo en la parte media y baja (Anexo 3, Figura 76).

En cuanto a la textura del suelo se identifica en la parte alta de la cuenca un área potencial de recarga hídrica alta. Esta condición también se presenta en la parte media este de la cuenca gracias a la existencia de suelos franco arenosos. Hacia el noroeste y parte central oeste la potencialidad de recarga hídrica es alta y hacia el sureste se torna moderada tomando en consideración únicamente el parámetro de textura de suelo. El resto de la cuenca presenta una capacidad de recarga baja (Anexo 3, Figura 77).

Al combinarse los tres parámetros (pendiente, uso del suelo y textura del suelo) la cuenca del río Santamaría presenta en la mayor parte de su territorio una potencialidad de recarga hídrica moderada predominando en la parte media y baja. El área potencial de recarga hídrica alta se presenta de forma segmentada en una porción de la parte alta de la cuenca y mayormente en sectores localizados en la parte media de la cuenca. El área potencial de recarga hídrica baja se presenta con mayor predominio hacia el noroeste (Figura 70).

Los pozos establecidos por el IDAAN se encuentran mayormente sobre las áreas potenciales de recarga hídrica moderada. Los acueductos rurales establecidos por el MINSA también se encuentran mayormente sobre las áreas potenciales de recarga hídrica moderada.

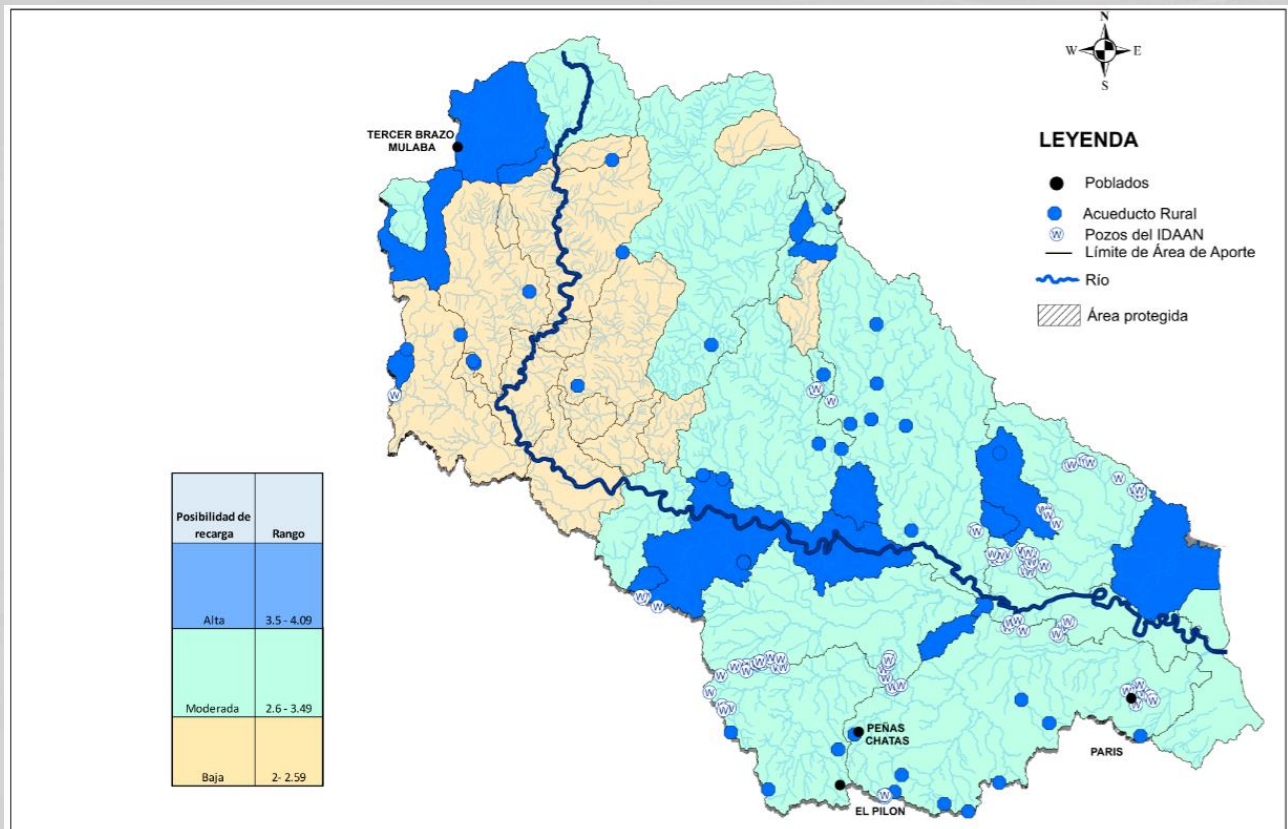


Figura 70. Áreas Potenciales de disponibilidad de recarga hídrica cuenca del río Santa María.

5.4.3. Áreas potenciales de recarga hídrica en la cuenca del río Grande

A nivel de pendiente existe un predominio de terrenos ondulados hacia el norte de la cuenca y hacia el sur el predominio lo presentan terrenos con características casi plana a moderadamente ondulados. Esta característica bien marcada de la presente cuenca permite que al menos por la característica de su pendiente el tiempo de concentración superficial del agua sea mayormente alto en su parte media y baja. En ese sentido se interpreta que el área de mayor potencial de recarga hídrica por pendiente es la parte sur y media de la cuenca y el área que presente baja potencialidad de recarga es la parte norte de la cuenca (Anexo 3, Figura 78).

A nivel de uso de suelo el bosque maduro se presenta hacia el noroeste en la cordillera central y existe hacia el sur próximo a la desembocadura la presencia de manglar. También se presenta predominio de bosque secundario hacia el noreste. Las categorías señaladas contribuyen potencialmente en la caracterización de áreas altas de recarga hídrica por uso de suelo. La mayor parte de la cuenca es predominada por rastrojo y uso agrícola. En base a las características descritas el área potencial de recarga hídrica alta se encuentra focalizada mayormente hacia el noreste de la cuenca y el área potencial de recarga hídrica moderada se encuentra predominada hacia el noroeste de la cuenca. Hacia el sur el área potencial de recarga hídrica por uso es baja (Anexo 3, Figura 79).

En cuanto a textura del suelo, se ha identificado un área potencial alto de recarga hídrica hacia el noroeste de la cuenca por el sector de Calobre por la existencia de suelos francos y en la parte central oeste y sur se ha identificado como área potencial de recarga hídrica moderado por la existencia de suelos franco limosos. La mayor parte del este de la cuenca cuya textura es arcillosa se ha ponderado como área de muy bajo potencial de recarga hídrica por textura del suelo (Anexo 3, Figura 80).

Al combinar los parámetros de pendiente, uso de suelo y textura de suelo para la cuenca de río Grande se tiene como resultado que la parte este de la cuenca presenta en su mayor parte una baja potencialidad de recarga hídrica exceptuando al territorio que pertenece al distrito de Antón que fue valorado como de alto potencial de recarga hídrica. Hacia la parte oeste de la cuenca el área potencial de recarga hídrica es alta sobre todo en los terrenos de los distritos de Calobre, Olá, Natá y Aguadulce (Figura 71).

Los pozos establecidos por el IDAAN se encuentran en la mayoría de los casos sobre áreas de alta potencialidad de recarga hídrica al igual que los acueductos rurales establecidos por el MINSA.

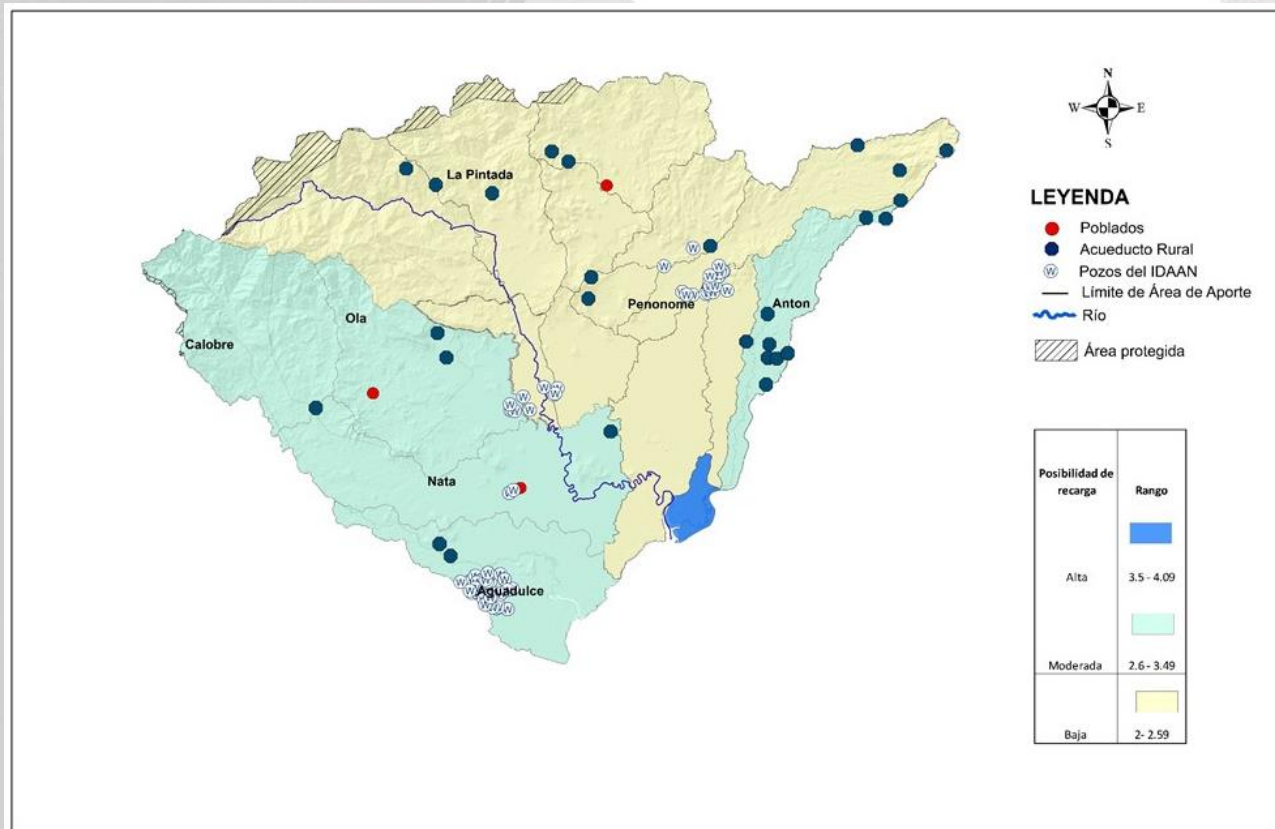


Figura 71. Áreas Potenciales de disponibilidad de recarga hídrica cuenca del río Grande.

6. CONCLUSIONES

Uno de los beneficios de trabajar con la herramienta SWAT, es que se puede realizar análisis discretos en cuencas hidrográficas, es decir, que se puede obtener resultados como es el balance hídrico para cada subcuenca o área de aporte establecida en una cuenca. Partiendo sobre esto, en el presente estudio se logró obtener un balance hídrico para cada subcuenca a una escala temporal mensual.

En la cuenca del río La Villa existe mayor volumen de demanda hídrica hacia el norte y noreste de la cuenca (0.45 a 1.5 m³/s como promedio mensual) en las subcuencas de río Quebrada Pesé y río La Villa bajo. El mayor uso de agua es el pecuario, seguido por el doméstico (potabilizadora). En la cuenca del río Santa María, el área donde se presenta mayor demanda es hacia la parte central sureste con rangos entre 2.8 a 8 m³/s como promedio mensual en la subcuenca de Santa María parte baja. Esta demanda se encuentra mayormente orientada hacia el aprovechamiento agrícola y en segunda instancia hacia el aprovechamiento hidroeléctrico. En la cuenca del río Grande se presenta mayormente hacia el noroeste con rangos promedios de demanda entre 4.5 a 10 m³/s como promedio mensual en las subcuencas de nacimiento de río Grande y río Chico. El aprovechamiento mayor demandante es el hidroeléctrico seguido por el agropecuario.

Al integrar la demanda y la oferta, se logró determinar la disponibilidad de agua en base a la demanda y la oferta en las cuencas. Para el análisis de la demanda se dispuso de información del Ministerio de Ambiente, IDAAN y la base de datos en línea del SIASAR. Sin embargo, como testimonio de los técnicos de las regionales del Ministerio de Ambiente, existen una gran cantidad de usos que no están registrados formalmente lo que dificulta tener un resultado semejante a la realidad. La oferta de agua se obtuvo a partir del balance hídrico y para ellos se tomó en cuenta insumos como: modelo de elevación digital, uso de suelo, textura de suelo y variables climáticas. También se realizaron las calibraciones respectivas en base a las estaciones hidrométricas ajustando parámetros sensibles en cada modelo para obtener resultados que representen la realidad.

Cabe destacar que para realizar modelaciones hidrológicas, los datos de entrada son imprescindibles y mucho más su confiabilidad. Es por ello la necesidad de la integración de las bases de datos a nivel de país y el acceso a ellas.

En lo referente a índice de escasez, norte de la cuenca del río La Villa donde se localizan las subcuencas de río Quebrada Pesé, río La Villa (bajo) y río Quebrada Grande, muestra un índice de escasez alto debido a que su recurso hídrico es aprovechado en más del 40% (según parámetros del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO). Esta situación también se presenta en la subcuenca del río Santa María parte baja (cuenca del río Santa María) y en las subcuencas del nacimiento del río Grande, parte media del río Grande y río Chico bajo de la cuenca del río Chico.

Entre las tres cuencas hidrográficas de los ríos La Villa (128), Santa María (132) y Grande (134), la cuenca del río Santa María (132) es la que presenta mayores espacios territoriales dispersos tanto en su parte alta, media y baja en diferentes sectores de áreas de mayor probabilidad de recarga hídrica. Mientras que la cuenca de río Grande (134) es la que menor espacio territorial de áreas de mayor probabilidad de recarga hídrica

presenta (ubicado en una pequeña porción de la desembocadura del río). En el caso del río La Villa (128) el área potencial de mayor recarga hídrica se encuentra localizado hacia el norte y noreste de la cuenca en su parte baja.

En lo referente a probabilidad de recarga hídrica moderada, la cuenca del río Santa María (132) es la que territorialmente presenta mayor espacio de probabilidad moderada de recarga hídrica sobre todo en la parte media y baja de la cuenca. Esta cuenca de igual forma es la que territorialmente presenta menos espacio de probabilidad de recarga hídrica baja.

La cuenca de río Grande (134) es una cuenca caracterizada por el predominio de baja probabilidad de recarga hídrica en su parte central y noreste y de probabilidad moderada de recarga hídrica hacia el oeste. Mientras que la cuenca del río La Villa (128) presenta un predominio de áreas baja de recarga hídrica hacia la parte central sur y suroeste de la cuenca (parte alta) y predominio de probabilidad moderada de recarga hídrica hacia la parte central y sureste (parte alta).

En términos generales la cuenca del río Santa María (132) es la que mejores condiciones de recarga hídrica presenta y la cuenca de río Grande es la que presenta menores condiciones propicias de recarga hídrica en comparación con las cuencas anteriores. Las infraestructuras de pozos del IDAAN se encuentran localizadas en la mayoría de los casos sobre terrenos categorizados de moderadas potencialidades de recarga hídrica en las tres cuencas mencionadas. Esta situación es similar con las infraestructuras de acueductos rurales.

7. BIBLIOGRAFÍA

ANAM. Autoridad Nacional del Ambiente. (2008) *Atlas de las tierras secas y degradadas de Panamá*. Panamá.

_____. (2010). *Atlas Ambiental de la República de Panamá*. Primera versión. Panamá

Añó, C., Sánchez, J. (2003). *Orientaciones de Uso Agrario. Una metodología para la planificación de usos del suelo en la Comunidad Valenciana*. Madrid, España. 129 pp.

CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical (2005). *SWAT Conceptos Básicos y Guía Rápida para el Usuario*. Colombia.

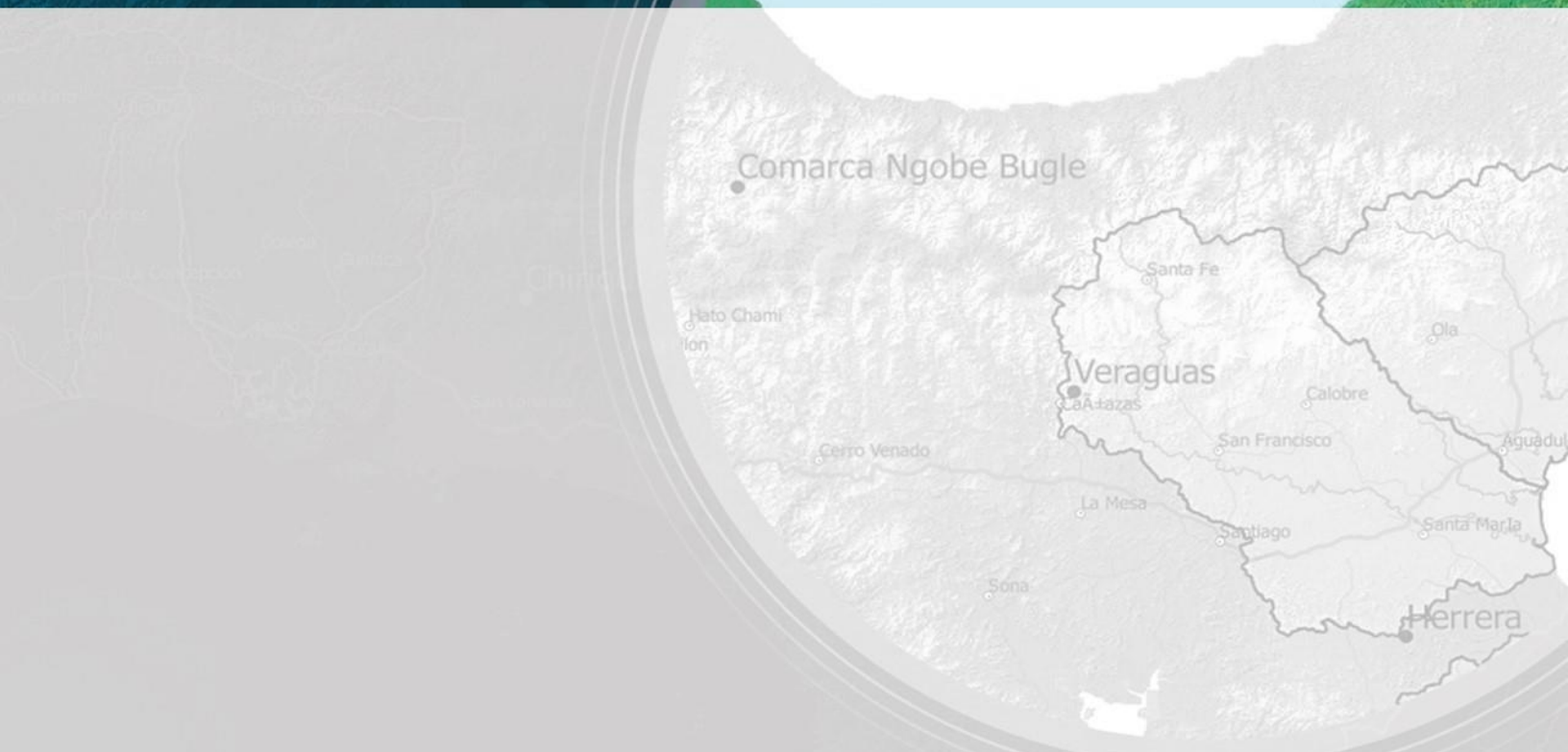
CTFC - Centro Tecnológico Forestal de Cataluña / CATIE – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica – Serie técnica*. Boletín técnico No. 38.

FAO – Oficina Regional para América Latina y el Caribe. *Erosión de Suelos en América Latina* (www.fao.org).

Knisel, Walter G., editor. *CREAMS: Field-Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*. U.S. Department of Agriculture, Conservation Research Report No. 26, 640 pp., ill us.

William et al. (1984). *EPIC4: Calculadora del Impacto de la Erosión-Productividad*.

William and Hand. (1972). *HYMO Flood Routing*



8. ANEXOS



Anexo 1 .Taller de validación de datos de entrada (lista de asistencia, memoria y fotos)

**CENTRO DEL AGUA DEL TRÓPICO HÚMEDO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
CATHALAC**

Proyecto: Para determinar caudal ambiental en las cuencas hidrográficas en los ríos Chiriquí Viejo (102) y Chiriquí (108) y evaluación de la disponibilidad hídrica (oferta y), demanda hidrológica) de las cuencas hidrográficas de los ríos La Villa (128), Santa María (132) y Grande (134).

Taller de validación de datos de entrada para la modelación hidrológica en las cuencas de los ríos La Villa, Santa María y Grande.

Fecha: 18 y 20 de octubre de 2017

Lugar: CEDESAM

A continuación los aspectos relevantes que se considerarán para el presente estudio:

- Para la cuenca del río La Villa se analizará la consistencia de la estación hidrométrica Macaracas, ya que ha sufrido vandalismo.
- Para las estaciones hidrométricas se realizarán análisis de doble masa para evaluar la consistencia de los datos en los periodos 1966 – 1999 y 2000-2014. *haciendo las correcciones, de ser necesario.*
- Los datos de entrada de textura de suelo se evaluarán con información disponible de CATAPAN. Esta información será solicitada a MiAmbiente.
- Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizará Penman Monteith
- El MiAmbiente realizará una evaluación y actualización de los datos de demanda de las concesiones con status en trámite y vigente.
- El MiAmbiente central y regional de Coclé trabajarán en conjunto para recopilar información de concesiones de agua (potabilizadoras, pozos, otros usos) para las cuencas en estudio.
- La información de demandas actualizada entregada hasta el jueves 26 de octubre por parte del MiAmbiente será incluida en el estudio presente.
- Para agregar estaciones meteorológicas se tomará como criterio el mapa de zonas de vida (Fuente: MiAmbiente, 2012 – Altas Ambiental) y el mapa de regiones climáticas (Fuente: MiAmbiente, 2016 – Plan de Seguridad Hídrica 2015- 2050 Agua para todos).
- En cuanto a la cuenca del río Grande se excluirán las estaciones Chiguirí Arriba (influencia hacia el Caribe), Tambo, Palmaraz y Bateales, y se agregará El Valle, Antón (tipo A), Santa Rita.
- En la cuenca del río Grande se dividirá el área de aporte 4


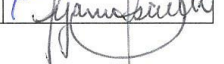



- Evaluar los caudales de salida de la cuenca del río Grande de las estaciones Saratí (su caudal promedio está alrededor de $6 \text{ m}^3/\text{s}$), Río Grande (su promedio histórico está alrededor de $17 \text{ m}^3/\text{s}$) y el Cortezo.
- En aquellas estaciones donde existen datos de temperatura y faltan datos de lluvia, MiAmbiente gestionará la información de lluvia directamente con ETESA. Se suministrará por parte de CATHALAC el código de la estación. También se contactará a los siguientes funcionarios Emérita Romero, Gladys Villarreal y Cesar Castillo para identificar información hidrometeorológica que será útil en el presente estudio.
- Se requiere identificar aquellos poblados fuera de la cuenca que son usuarios del recurso hídrico del río La Villa. Esta información se consultará con MiAmbiente.
- Para el cálculo de disponibilidad y escasez se utilizará flujo acumulado y la producción de agua.
- Para la disponibilidad de agua en las cuencas estudiadas se analizarán aquellas que cuenten con baja disponibilidad mensual.
- Para la cuenca del río La Villa las subcuencas localizadas en la parte media y baja son las que presentan mayor conflicto en disponibilidad de agua.
- Incluir en la cuenca del río La Villa los usos recreativos y turísticos (informaciones que proporcionará MiAmbiente).

* El Miambiente solicitará datos a MIDA, MINSA e IDAAN de pozos, JAAR y potabilizadores respectivamente



Participantes

NOMBRE	CÉDULA	ORGANIZACIÓN	FIRMA
Amadio Cruz		MiAmbiente Chiriquí	
Eduardo Gómez		MiAmbiente	
Víctor Gómez		MiAmbiente	
Florencio Ayarza		MiAmbiente	
Marcos González		MiAmbiente	
Donis P. Bernal		MiAmbiente	
Roberto Gratacós		MiAmbiente	
Nadda Fernández P.		MiAmbiente (Procuencas)	
Verónica Valdés		MiAmbiente	
Noé Aguilar		Univ. Panamá	
Okir Ortega		MiAmbiente Coclé	
Madelayn Muñóz		MiAmbiente Herrera	
Karina Rivera		MiAmbiente Herrera	
Carlos Hernández		CATHALAC	
Octavio Smith		CATHALAC	
José Guardia		CATHALAC	
José Antonio Chen		MiAmbiente Coclé	
Lyanne Salazar		CATHALAC	





TALLER DE VALIDACIÓN DE DATOS DE ENTRADA DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA LAS CUENCAS DE LOS RÍOS LA VILLA, SANTA MARÍA Y GRANDE.



Jueves 19. de octubre de 2017

LISTA DE ASISTENCIA

	NOMBRE	CÉDULA	ORGANIZACIÓN	FIRMA
1	Amalio Wuy	2-10-1085	MiAmbiente Chiriquí	[Firma]
2	Eduardo Gomez	4-284-287	Mi ambiente	[Firma]
3	Victor Gomez	4-754-1390	Mi ambiente	[Firma]
4	Roberto Prata	9-207-808	Mi Ambiente	[Firma]
5	Marcos Godzalez	9-124-1831	MIAMBIENTE	[Firma]
6	DONIS PZerna	17-96-280	Mi Ambiente	[Firma]
7	NADIA FERNANDEZ P.	6-66-869	MIAMBIENTE (provincia)	[Firma]
8	Florencio Ayarza	8-760-2188	miambiente	[Firma]
9	Yvonne Wides G	7-708-1795	Mi Ambiente	[Firma]
10	Noe Aguilar V.	2-89-463	Unio. de Person	[Firma]
11	Okim Ortega F.	8-740-158	Mi Ambiente-Coch	[Firma]
12	Madelyn Wong	6-712-41	Mi Ambiente-Herera	[Firma]
13	Karina Rivera	6-704-176	Mi Ambiente-Herera	[Firma]
14	Cecilia Hoer	8-382-989	CATHALAC	[Firma]
15	OCTAVIO SANCHEZ	3-113-200	CATHALAC	[Firma]
16	Jose' Mica. G.	2-150-705	CATHALAC	[Firma]
17	Jose' Antonio Ch	2-87-561	Mi Ambiente-Coch	[Firma]

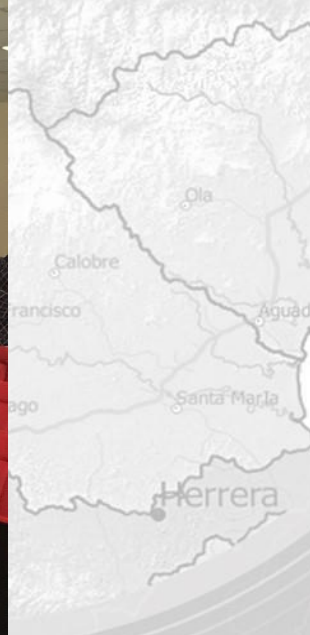




Fotografía tomada el 19 de octubre 2017 en el Taller de validación de datos de entrada. Lugar CEDESAN.

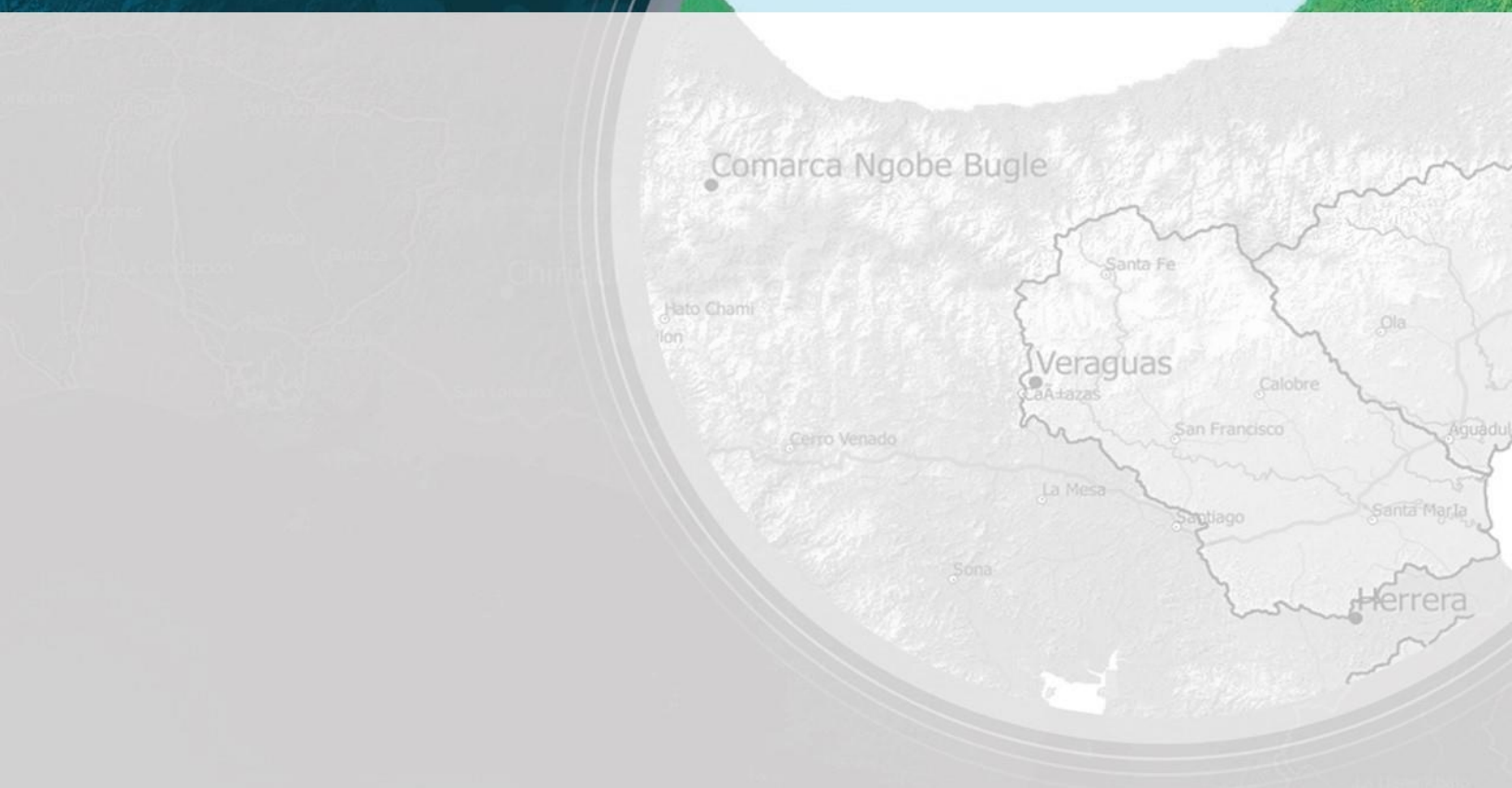


Fotografía tomada el 20 de octubre 2017 en el Taller de validación de datos de entrada. Lugar CEDESAN.





Fotografía tomada el 20 de octubre 2017 en el Taller de validación de datos de entrada. Lugar CEDESAN.



Anexo 2 .Taller de validación de resultados (lista de asistencia, memoria y fotos)



PROYECTO:
DETERMINAR EL CAUDAL AMBIENTAL EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS CHIRIQUÍ VIEJO (102) Y CHIRIQUÍ (108) Y EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA (OFERTA Y DEMANDA HIDROLÓGICA) DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS LA VILLA (128), SANTA MARÍA (132) Y GRANDE (134).



TALLER: VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE LA MODELACION EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS LA VILLA, SANTA MARÍA, GRANDE.

MEMORIA

Fecha: 6 y 7 de diciembre de 2017

Lugar: CEDESAM

Cuenca del río La Villa

1. Se requiere confirmar la demanda hídrica de las potabilizadoras: Roberto Reina, Macaracas, Rufina Alfaro y Llano de Piedra y su respectiva unidad de medida. En los meses secos es cuando se consume mayor cantidad de agua potable.
2. Incluir áreas protegidas (Reserva Natural de Santa Ana, El Peñon, El Comun)
3. Incluir punto más alto "Cerro Cacarañao"
4. Se corregirá la ubicación de la concesión NESTLE (Industrial). Esta ubicada en el corregimiento de la Villa, poblado de Santa Ana.
5. En la cuenca de río La Villa los mayores usos de agua corresponden a las potabilizadoras
6. Corregir el nombre de la subcuenca "Esquiguita por Espiguita"
7. En el proceso de calibración la cuenca de "Estibaná" tiene los valores muy altos en cuanto a precipitación.

Cuenca del río Santa María

1. Se gestionará por parte de MiAmbiente las potabilizadoras que tiene la cuenca, coordenadas y producción. Se mencionó que hay potabilizadoras en Santa Fe y Quebrada Muela.
2. Incluir las potabilizadores están ubicadas en el mapa del primer taller (Quebrada Mata, Toma de Agua de Santa María)
3. El MiAmbiente tendrá la labor de corroborar las coordenadas de aquellas concesiones vigentes que están fuera de la cuenca.

Cuenca del río Grande

1. Ampliar las JAAR se estima más de 400 (Gestión de MIAMBIENTE)
2. La concesión "La Habana" ubicarla en la Boca de Río Chico



3. En cuanto a la cuenca del río Grande, donde se ubican las áreas protegidas (en el Parque Nacional El Cope y Cerro Guacamaya) existe una gran cantidad de acueductos rurales. MiAmbiente gestionará esta información para que sea agregado al estudio.
4. Se verificarán por parte de MiAmbiente las coordenadas de aquellas concesiones de agua ubicadas fuera de la cuenca del río Grande. Luego serán agregadas al análisis del estudio.
5. La concesión de Los Grises está en el corregimiento de Coclé en río Coclé del Sur
6. En el Cerro Guacamaya existen aproximadamente 40 tomas de agua
7. La ubicación de la potabilizadora Nata debe estar alineada con Río Chico (Mover).
8. Reevaluar el área de manglar en la desembocadura al oeste dentro de la recarga hídrica por uso.

Observaciones Generales

1. Incluir en la calibración las limitaciones de cada una de las modelaciones de las cuencas hidrográficas respecto a los datos climáticos, la escala espacial y temporal de los registros hidrométricos y su confiabilidad. Además agregar el porcentaje de error en la calibración de las estaciones hidrométricas.
2. En cuanto a la metodología utilizada para relleno de datos es preciso incluir los índices estadísticos que indiquen la confiabilidad del proceso de relleno.
3. Para la calibración de los modelos hidrológicos el índice "NS" debe llegar a un mínimo de 0.65 y evaluar la consistencia con los registros históricos.
4. Los lugares poblados con más de 1500 generalmente disponen de acueductos rurales (JAAR).
5. MIAMBIENTE debe hacer las gestiones para disponer de los volúmenes correctos que usan las potabilizadoras (Aparentemente está muy bajos los que se están utilizando).
6. MIAMBIENTE hará las gestiones para mejorar el cubrimiento de las JAAR existen más de las que actualmente está en la base del SIASAR.
7. En el informe detallar que los nombres asignados a las cuencas no representan la micro cuenca del río, hay que indicar que están compuestas por otros tributarios, esto influye en el caudal.
8. Se hizo énfasis que las modelaciones hidrológicas se alimentan de datos, registros e información; por ende la calidad y el acceso a dicha información es imprescindible.
9. Se realizará el esfuerzo por parte del MiAmbiente para obtener registros de lluvia de la base de datos de administra el IDIAP, que ayudaría a fortalecer la información hidrometeorológica de entrada.





TALLER DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS
EVALUACIÓN DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA (OFERTA Y DEMANDA) DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS LA VILLA (128) SANTA MARÍA (132) Y GRANDE (134).



Miércoles 6 de diciembre 2017

LISTA DE ASISTENCIA

	NOMBRE	CÉDULA	ORGANIZACIÓN	FIRMA
1	Victor Gómez	4-754-1390	Mi Ambiente	<i>[Signature]</i>
2	José Antonio Chap	2-87-561	Mi Amb-Code	<i>[Signature]</i>
3	Roscelal Rosillo	2-87-876	Mi Ambiente Heredia	<i>[Signature]</i>
4	Adilio Saavedra M.	6-704-1028	Mi Ambiente Heredia	<i>[Signature]</i>
5	Vivian Lo Ureán	7-79-607	Mi Ambiente CS	<i>[Signature]</i>
6	Fátima Guerra	4-772-772	Mi Ambiente	<i>[Signature]</i>
7	Margareta González	7-707-1227	Mi Ambiente	<i>[Signature]</i>
8	Marcos González	9-124-1851	MIAMBIENTE	<i>[Signature]</i>
9	Roberto Cortáez	9-207-808	Mi A. Varoques	<i>[Signature]</i>
10	Lyanne Salazar	8-848-770	CATHALAC	<i>[Signature]</i>
11	José María Guerra	2-150-705	CATHALAC	<i>[Signature]</i>
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				





TALLER DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS
EVALUACIÓN DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA (OFERTA Y DEMANDA) DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS LA VILLA (128) SANTA MARÍA (132) Y GRANDE (134).



Jueves 7 de diciembre 2017

LISTA DE ASISTENCIA

	NOMBRE	CÉDULA	ORGANIZACIÓN	FIRMA
1	Victor Gomez	4-754-1390	Mi Ambiente	<i>[Signature]</i>
2	Falima Guerra	4-772-772	Mi Ambiente	<i>[Signature]</i>
3	Okir Ortega F.	8-740-158	Mi Ambiente	<i>[Signature]</i>
4	José Antonio Chaves	2-87-561	Mi Ambiente	<i>[Signature]</i>
5	Lyanne Salazar	8-848-770	Cathalac	<i>[Signature]</i>
6	José María Guevara	2-150-705	CATHALAC	<i>[Signature]</i>
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

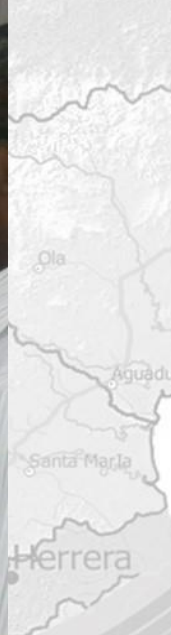


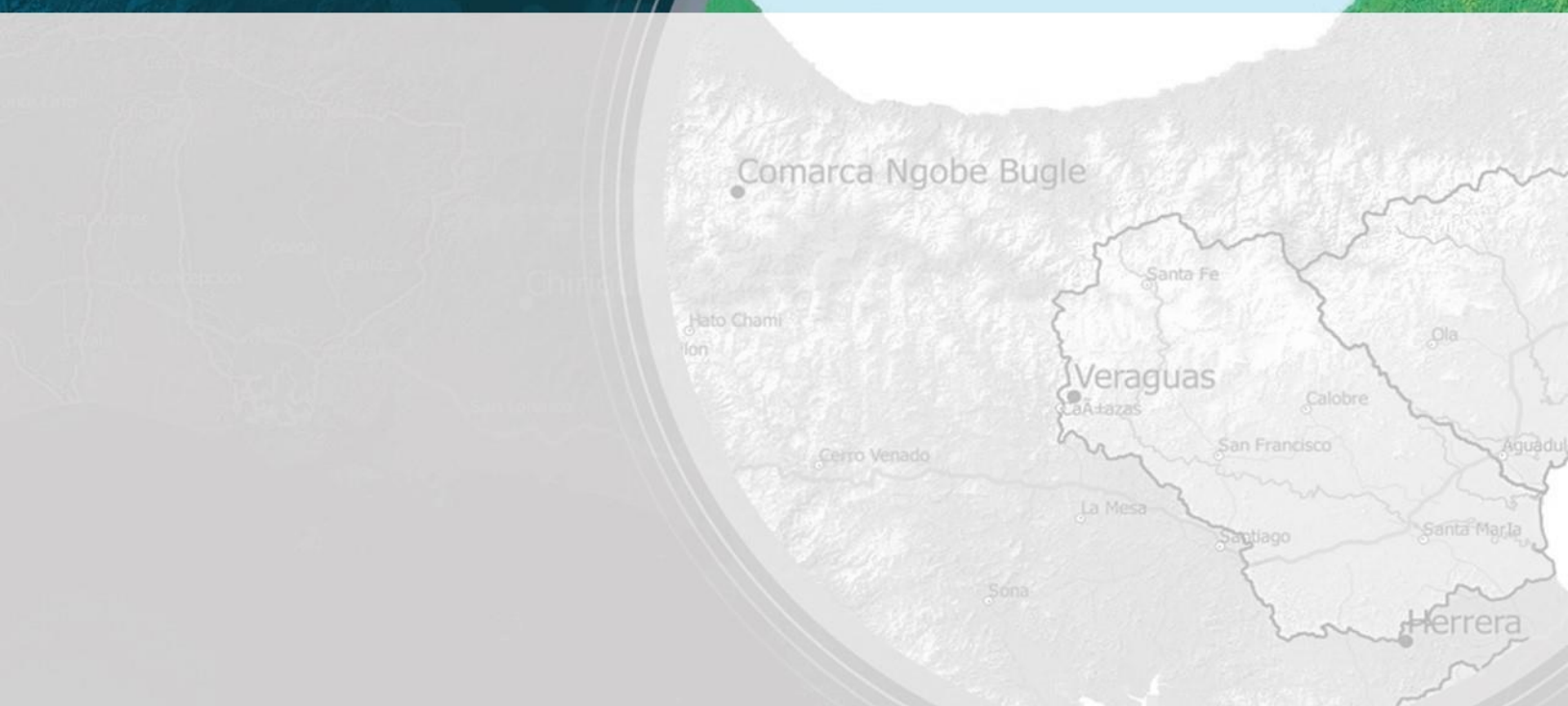


Fotografía tomada el 7 de diciembre 2017 en el Taller de validación de resultados de modelación. Lugar CEDESAN.



Fotografía tomada el 7 de diciembre 2017 en el Taller de validación de resultados de modelación. Lugar CEDESAN.





Anexo 3 .Potenciales áreas de recarga hídrica según pendiente, uso de suelo y tipo de suelo.

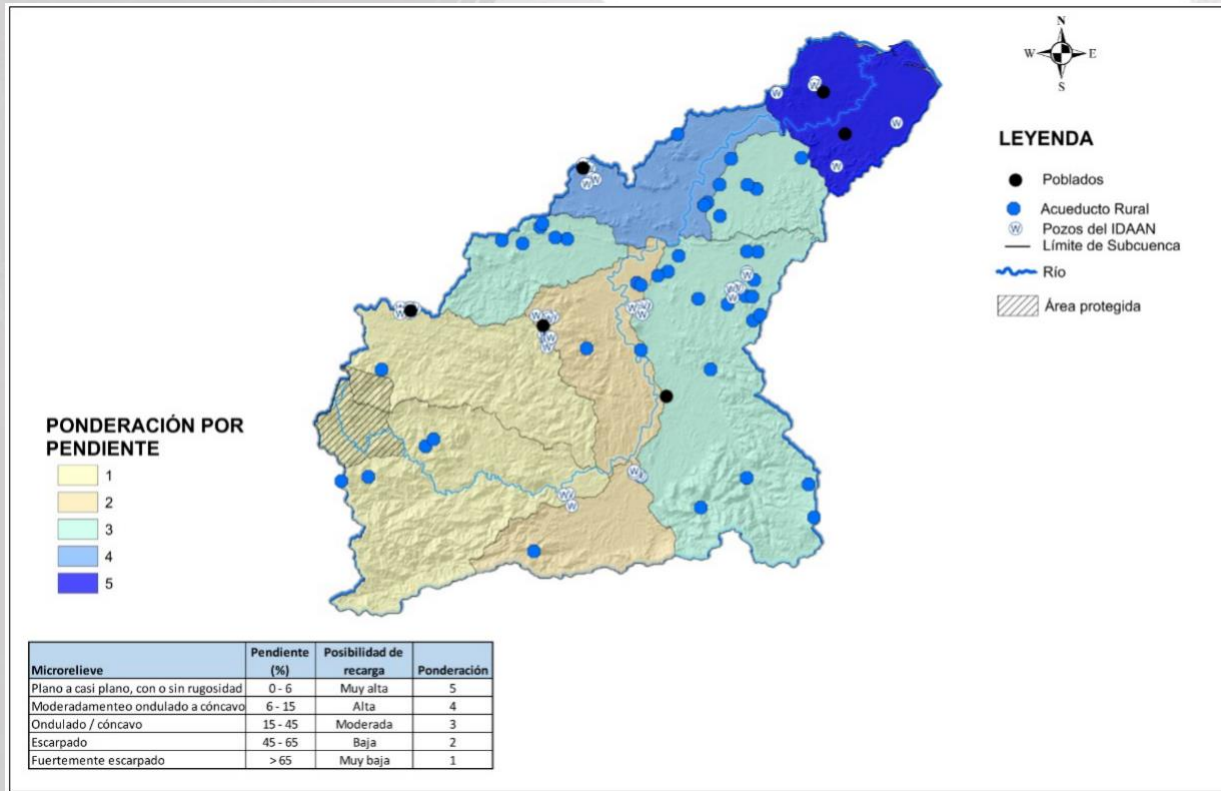


Figura 72. Áreas potenciales de recarga hídrica según la pendiente en la cuenca del río La Villa.

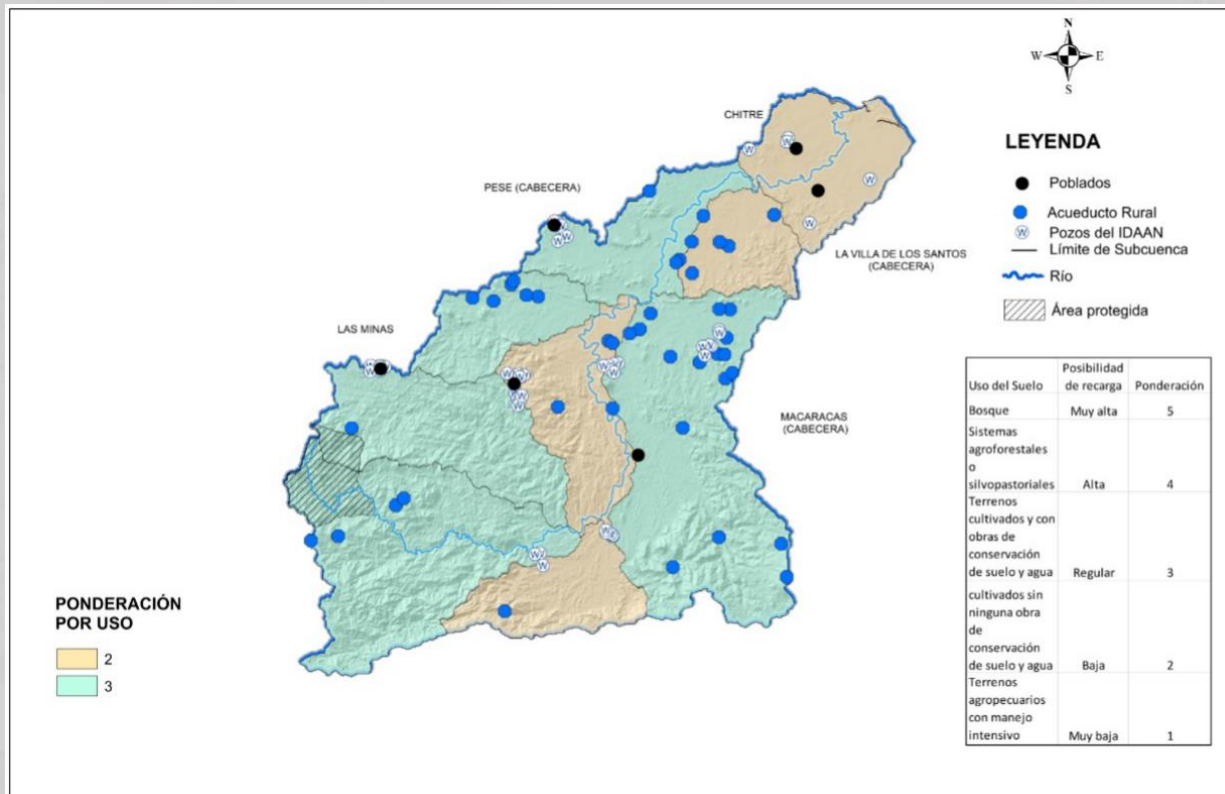


Figura 73. Áreas potenciales de recarga hídrica según el uso de suelo en la cuenca del río La Villa.

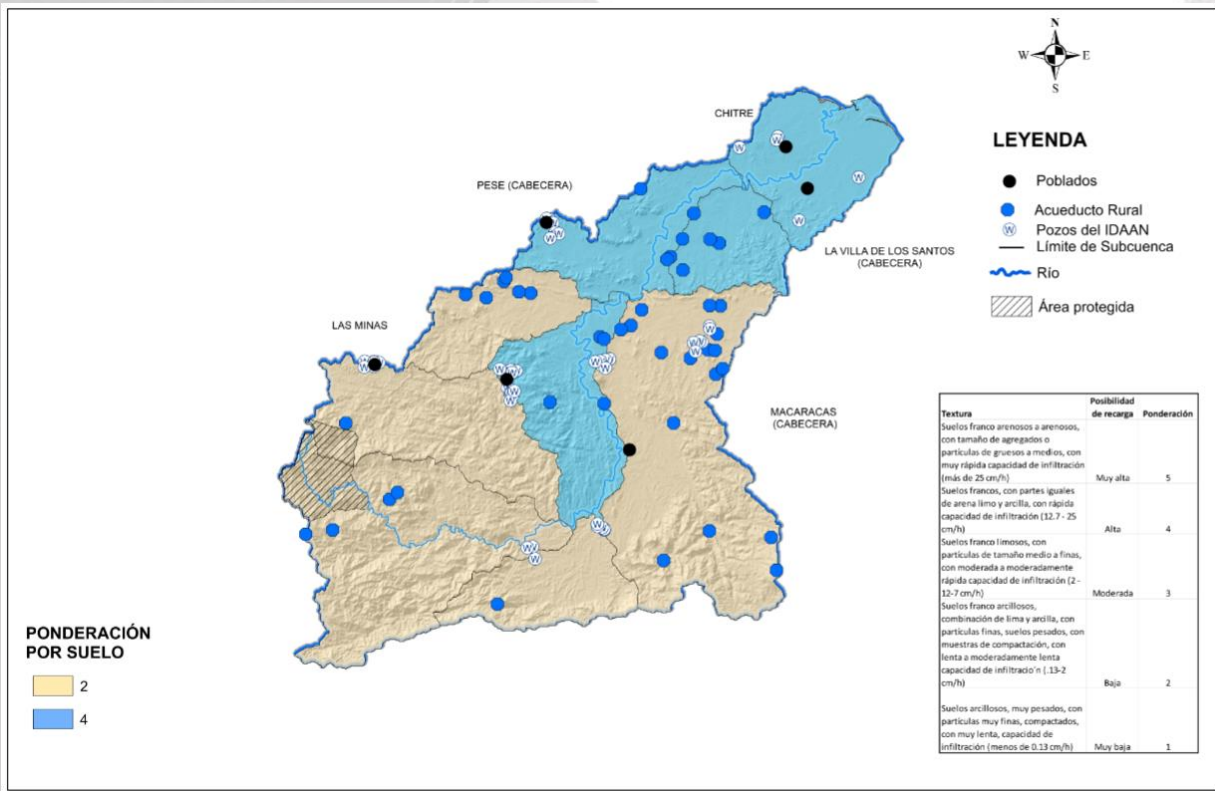


Figura 74. Áreas potenciales de recarga hídrica según textura de suelo en la cuenca del río La Villa.

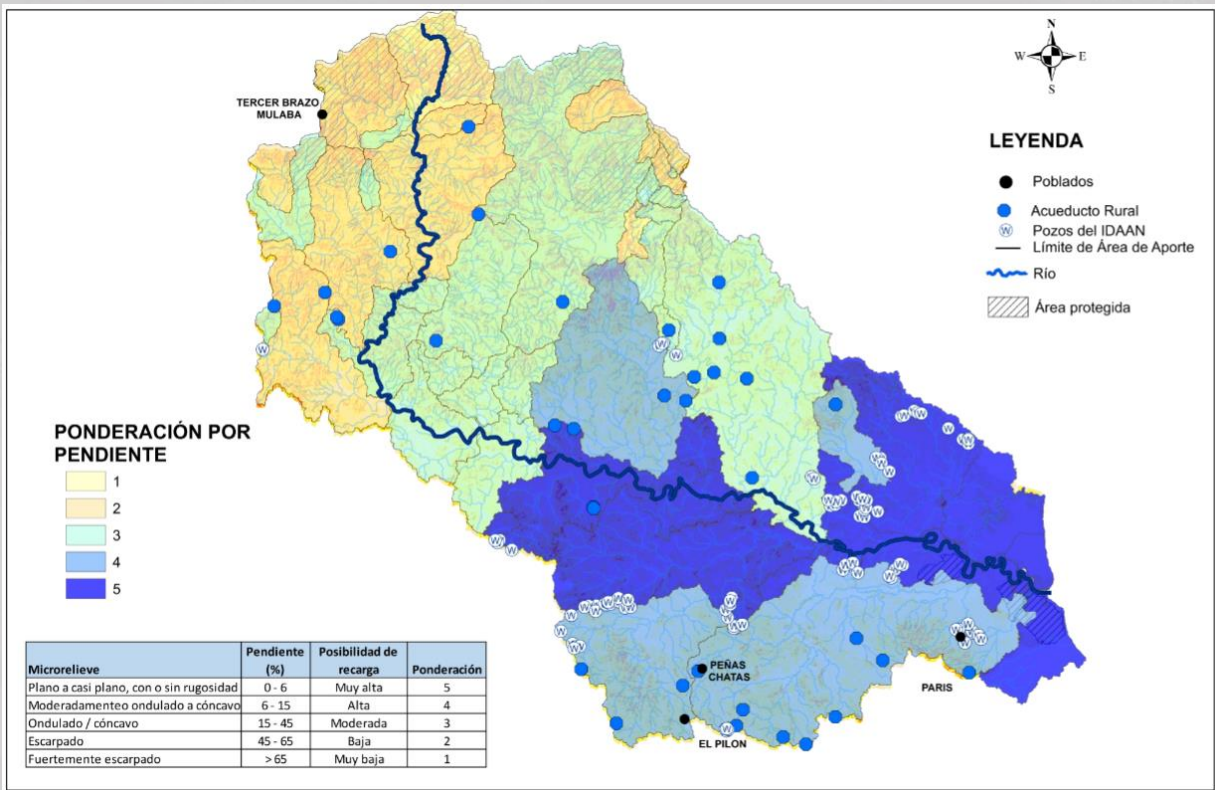


Figura 75. Áreas potenciales de recarga hídrica según la pendiente en la cuenca del río Santa María.

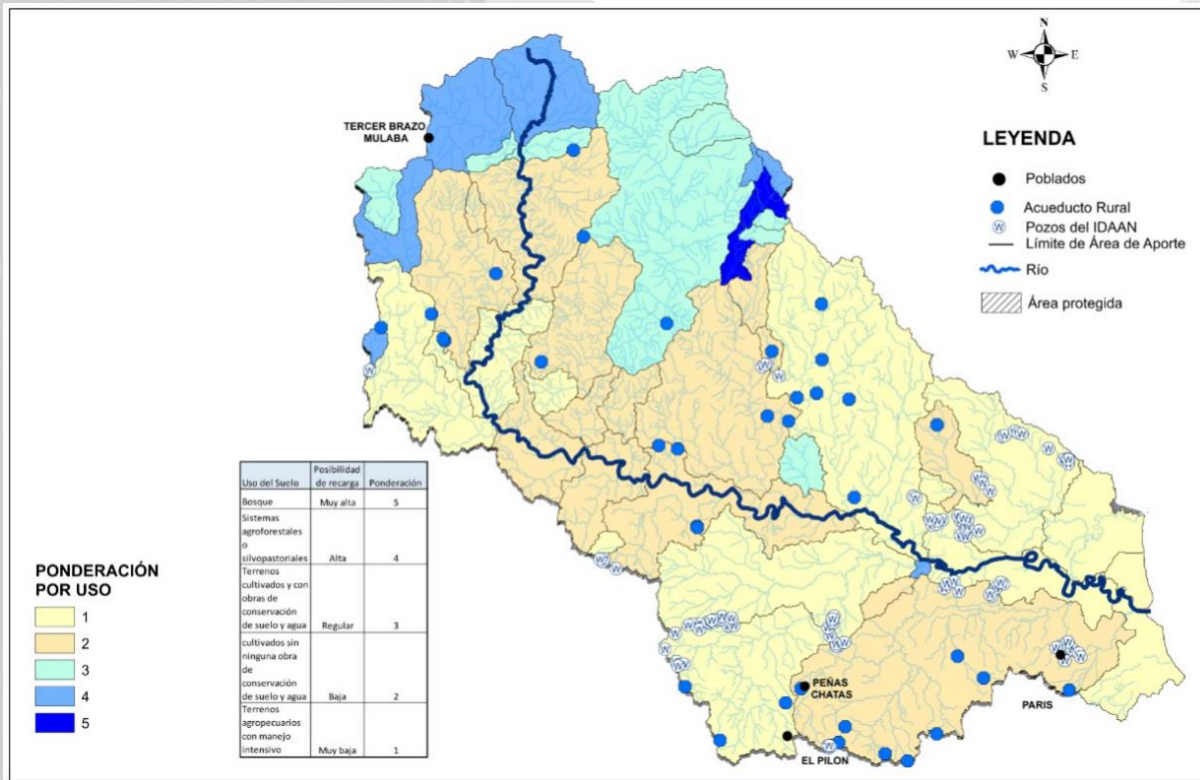


Figura 76. Áreas potenciales de recarga hídrica según el uso de suelo en la cuenca del río Santa María

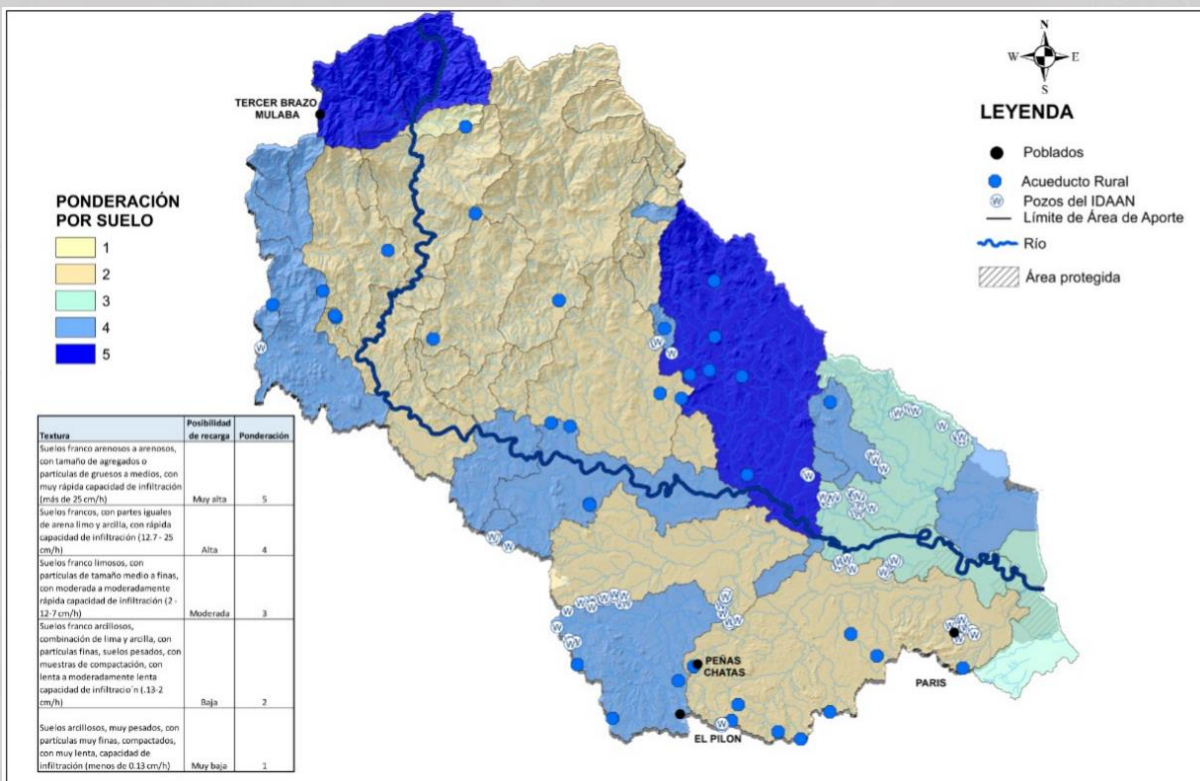


Figura 77. Áreas potenciales de recarga hídrica según textura de suelo en la cuenca del río Santa María

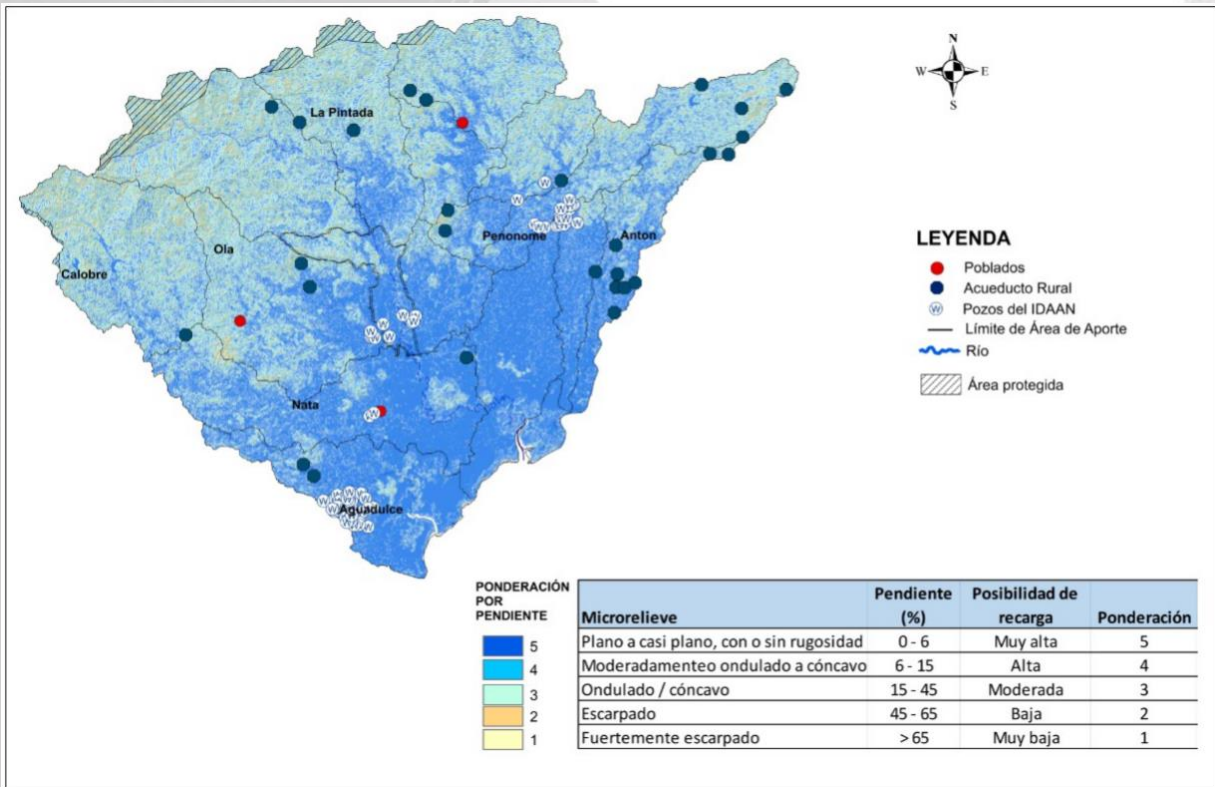


Figura 78. Áreas potenciales de recarga hídrica según la pendiente en la cuenca del río Grande.

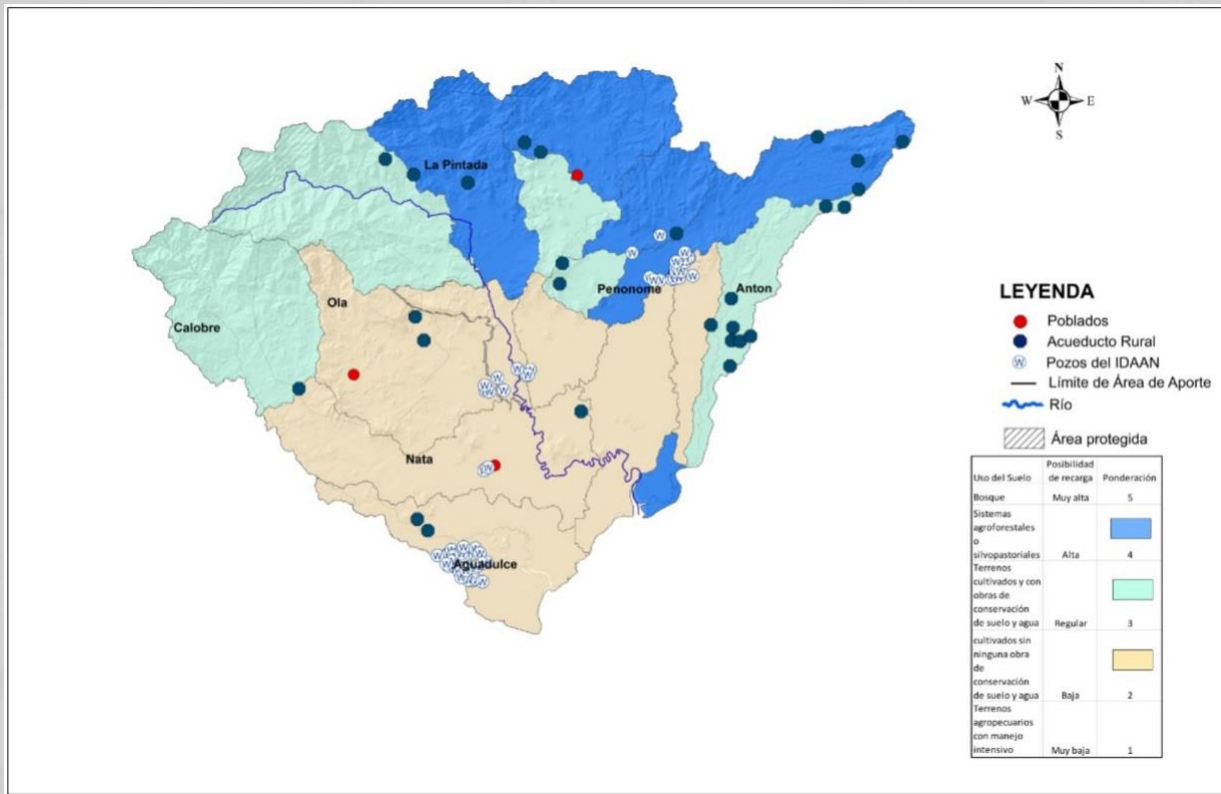


Figura 79. Áreas potenciales de recarga hídrica según el uso de suelo en la cuenca del río Grande.

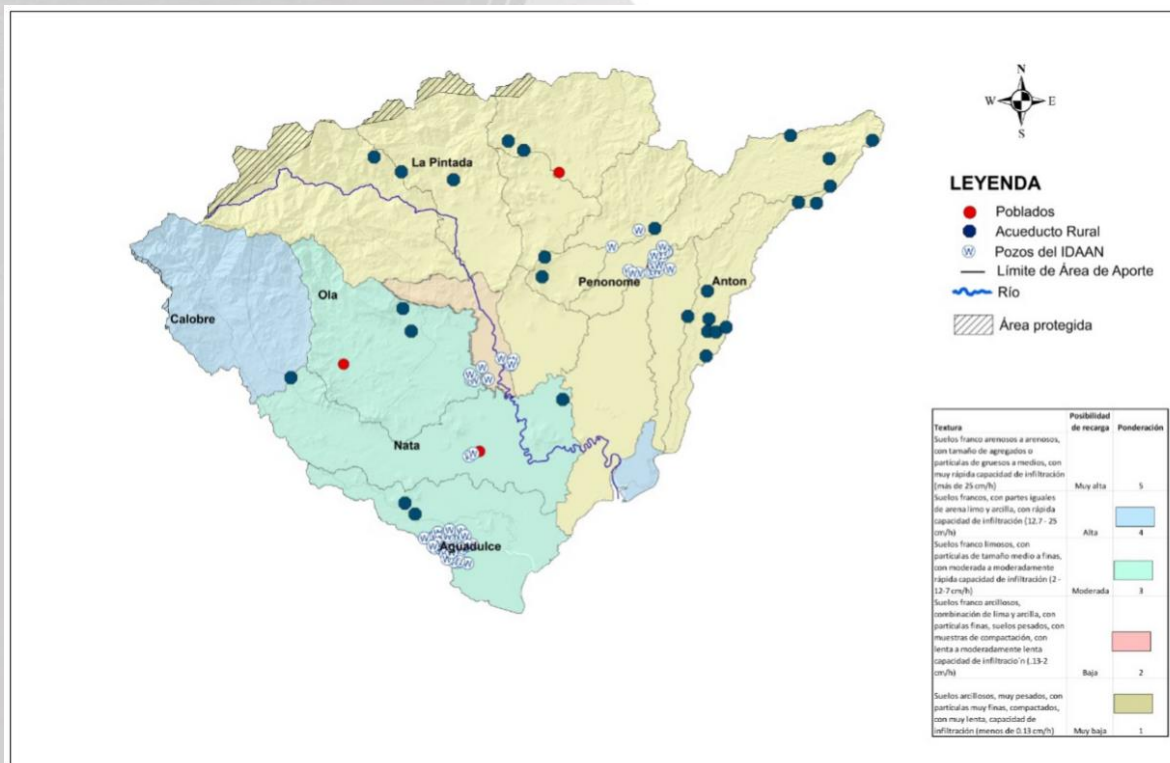


Figura 80. Áreas potenciales de recarga hídrica según textura suelo en la cuenca del río Grande.