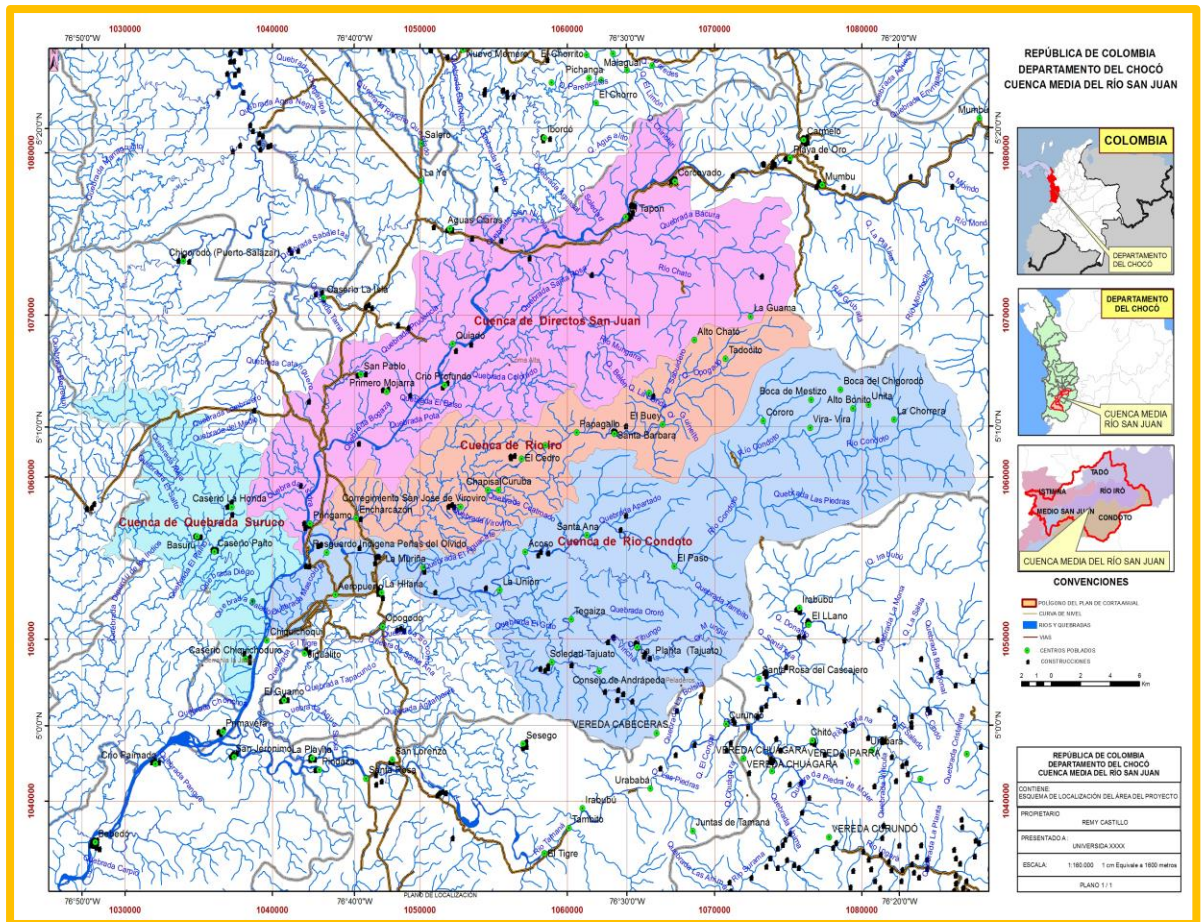


DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO SAN JUAN - CHOCÓ

Por:
REMY RODNEY CASTILLO BORJA



**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

QUIBDO, DICIEMBRE DE 2016

**DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA
CUENCA MEDIA DEL RÍO SAN JUAN - CHOCÓ.**

Por

REMY RODNEY CASTILLO BORJA
Ingeniero Sanitario
remyrcb63@yahoo.com

Como requisito para obtener el
GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES

M.Sc. **EDINSON MORENO TAMAYO**
Ingeniero Ambiental
DIRECTOR

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

QUIBDO, DICIEMBRE DE 2016

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Medellín, diciembre de 2016

DEDICATORIA

Al culminar este nuevo proceso de educación formal, quiero dedicarlo a:

A nuestro Dios padre todo poderoso, sin el cual no hubiese podido adelantar este esfuerzo y culminarlo de manera exitosa, sea entonces la gloria para él.

A mi esposa, MARTA LIBIA MARÍN PINILLA, el amor, mi compañera de viaje y mi apoyo incondicional en todas las empresas que emprendo, sin ti no hubiese podido terminar este nuevo esfuerzo familiar.

A mi Hijo, JUAN CAMILO CASTILLO MARÍN, motor de mis constantes luchas y ganas de superación.

A mi Madre ANA LORENZA BORJA DE CASTILLO y mis hermanos, WILBER, ASNORALDO, ANNY, CAROL, KAREN y KARINA, por su amor y apoyo incondicional, estaré toda la vida en deuda con ustedes.

Y por último a mi Padre, RENE JOSÉ CASTILLO BORJA (QDEP), fuente de inspiración y de amor por el estudio, gracias por tus consejos, tus enseñanzas, tu diario ejemplo vivencial, soy el ser humano que tu ayudaste a formar, este nuevo peldaño culminado es principalmente para ti.

AGRADECIMIENTOS

Quiero darle gracias a Dios por permitir el desarrollo de este nuevo empeño personal y profesional.

A mis compañeros en Aguas del Atrato EPM SA ESP y Aguas del Chocó SA ESP, por la colaboración prestada en los momentos que necesite de su apoyo y de sus conocimientos.

Agradezco igualmente al M.Sc. Edinson Moreno Tamayo, por la tutoría como Coordinador, en el desarrollo de este proyecto de **DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO SAN JUAN – CHOCÓ**, el apoyo brindado para la consecución de recursos y la colaboración para el emprendimiento de las actividades conexas con el estudio.

Debo igualmente dar un grande agradecimiento a los compañeros de la Maestría en Ciencias Ambientales, en especial a la Ingeniera Nazly Rubio Murillo, por el apoyo y aporte de ideas y conocimientos brindados desde sus diferentes formaciones académicas.

A la PhD Paula Uran Carmona, por su valiosa gestión, colaboración y apoyo oportuno en todos los procesos administrativos y académicos llevados a cabo en esta maestría, de igual manera a los evaluadores por sus apropiadas sugerencias y recomendaciones en la fase del proyecto inicial y final.

A mis hermanos, a mis padres, a mi esposa y a mi hijo, además de todos aquellos que aportaron para que se pudiese culminar este nuevo empeño académico.

A todos un Dios les pague y bendiga grandemente.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPITULO I.....	17
1. ANTECEDENTES.....	17
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	24
3. HIPÓTESIS	24
4. OBJETIVOS.....	25
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	25
4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	25
CAPITULO II	26
5. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	26
5.1. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO	26
5.1.1. Datos utilizados.....	26
5.1.2. Precipitación	29
5.1.3. Temperatura del aire	33
5.1.4. Brillo Solar.....	35
5.1.5. Comportamiento hídrico (caudal).....	36
5.1.6. Clasificación climática	37
5.1.7. Balance hídrico	40
5.1.8. Sequías meteorológicas	41
5.2. ASPECTO BIÓTICO	43
5.2.1. Flora.....	43
5.2.2. Fauna	43
5.3. ASPECTO ECONÓMICO.....	44
5.4. HIDROGRAFÍA.....	44
5.4.1. Ubicación de la cuenca el Río San Juan	45

5.5.	ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN	47
5.5.1.	Área	47
5.5.2.	Perímetro	48
5.5.3.	Longitud axial	48
5.5.4.	Ancho promedio	48
5.5.5.	Forma de la Cuenca	48
5.5.5.1.	Factor de forma	48
5.5.6.	Coeficiente de Compacidad	48
5.5.7.	Índice de alargamiento	49
5.5.8.	Índice de homogeneidad	49
5.5.9.	Índice Asimétrico	50
5.5.10.	Profundidad de la cuenca	51
5.5.11.	Pendiente Media.....	51
5.6.	SANEAMIENTO BÁSICO	53
6.	MATERIALES Y METODOS.....	54
	CAPITULO III	61
7.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
7.1.	RESULTADOS	61
7.1.1.	Áreas aferentes a las estaciones	61
7.1.2.	PENDIENTE MEDIA	62
7.1.3.	Usos del suelo.	63
7.1.4.	Fuentes fijas y puntuales de contaminación directa.	65
7.1.5.	Población asentada en las áreas de influencia.....	67
7.1.6.	Índices de calidad del agua - ICA.....	70
7.1.7.	Sumatoria de criterios y resultados finales	71
7.2.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	74
	CAPITULO IV.....	78
8.	CONCLUSIONES.....	78

9. RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFIA.....	80
ANEXOS.....	85

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1: CATÁLOGO DE ESTACIONES IDEAM, EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.	28
TABLA 2: REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MEDIA (PT MED.) DEL ÁREA DE ESTUDIO.	29
TABLA 3: VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MEDIA EN ESTACIONES CRSJ	31
TABLA 4. PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL DE LLUVIA APORTADA LA CRMS.	32
TABLA 5. VALORES ESTADÍSTICOS DE TEMPERATURA DEL AIRE, EN LA ESTACIÓN CONDOTO.	33
TABLA 6. TEMPERATURA MEDIA SOBRE LA CRSJ (ESTACIÓN CONDOTO).	34
TABLA 7. VALORES DE BRILLO SOLAR ESTACIÓN CONDOTO.	35
TABLA 8. CAUDAL MEDIO, EN LA PARTE ALTA Y MEDIA DE LA CRSJ.	36
TABLA 9. ÍNDICES DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA.	39
TABLA 10. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA CRSJ.	39
TABLA 11. BALANCE HÍDRICO (MM) DE SEIS ESTACIONES DEL SAN JUAN.	40
TABLA 12. CATEGORÍAS DE SEQUÍAS SEGÚN EL ÍNDICE SPI.	41
TABLA 13. CATEGORÍAS DE SEQUÍAS SEGÚN DEL ÍNDICE PPN.	42
TABLA 14. DISTRIBUCIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA DEPARTAMENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN	46
TABLA 15. CLASIFICACIÓN DE CUENCAS SEGÚN EL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS, - USDA, POR SUS SIGLAS EN INGLÉS.	47
TABLA 16. CLASIFICACIÓN DEL PARÁMETRO DE FORMA SEGÚN HENAO 1999.	48
TABLA 17. SIGNIFICADO DE VARIABLES	49
TABLA 18. CLASIFICACIÓN ADOPTADA PARA LE ESTIMACIÓN DE LA PENDIENTE MEDIA.	52
TABLA 19. CURVA HIPSOMÉTRICA.	52
TABLA 20. PRESTACIÓN SERVICIOS PÚBLICOS CUENCA MEDIA DEL RÍO SAN JUAN	54
TABLA 21. CRITERIOS Y PESOS DE CADA CRITERIO.	59
TABLA 22. MUNICIPIOS Y POBLACIONES DE LA CMRSJ.	60
TABLA 23. PUNTAJE Y VALORACIÓN DE CADA ESTACIÓN DE ACUERDO AL CRITERIO ÁREA.	61
TABLA 24. PUNTAJE Y VALORACIÓN DE CADA ESTACIÓN DE ACUERDO AL CRITERIO PENDIENTE MEDIA	62
TABLA 25. PUNTAJE Y VALORACIÓN DE CADA ESTACIÓN DE ACUERDO AL CRITERIO USO DEL SUELO.	64
TABLA 26. NÚMERO DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN POR ÁREA DE INFLUENCIA.	66
TABLA 27. NÚMERO DE HABITANTES ASENTADOS EN LAS CUENCAS O SUB-CUENCA.	68
TABLA 28. VALOR DEL ICA CALCULADO PARA CADA ESTACIÓN	70
TABLA 29 CALIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE CRITERIOS POR ESTACIONES	73
TABLA 30. RECLASIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO	74
TABLA 31. FRECUENCIA DE MONITOREO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES PROPUESTAS	76

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1 ESTUDIO CLIMATOLÓGICO CUENCA DEL RÍO SAN JUAN	27
FIGURA 2. COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PT MED EN LA CRSJ (1972-2010)	30
FIGURA 3. COMPORTAMIENTO DE LA PT MED SOBRE LA CRSJ PERIODO 1971-2010	32
FIGURA 4. TEMPERATURA PROMEDIO DE LA ESTACIÓN CONDOTO. PERIODO 1972-2010.	34
FIGURA 5. BRILLO SOLAR SOBRE LA CRSJ, PERIODO 1972-2010.	35
FIGURA 6: CLASIFICACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.	38
FIGURA 7. ÍNDICE DE SEQUÍA PPN SOBRE LA CRSJ, DURANTE EL PERIODO 1972-2010	42
FIGURA 8. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN	46
FIGURA 9. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	50
FIGURA 10. CURVA HIPSOMÉTRICA	53
FIGURA 11. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO Y CUENCAS Y SUB-CUENCAS QUE LO CONFORMAN	56
FIGURA 12. ESQUEMA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO	58
FIGURA 13. MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON SUS ESTACIONES Y ÁREAS AFERENTES.	62
FIGURA 14. MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON SUS ESTACIONES Y PENDIENTES MEDIAS.	63
FIGURA 15. MAPA DE USOS DEL SUELO EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO SAN JUAN – CMRSJ.	64
FIGURA 16. MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON SUS ESTACIONES Y EL PORCENTAJE DE VEGETACIÓN COMO BOSQUE O COBERTURA BOSCOA	65
FIGURA 17. MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON SUS ESTACIONES Y UBICACIÓN DE LOS ENTABLES MINEROS (FUENTES DE CONTAMINACIÓN)	67
FIGURA 18. MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON SUS ESTACIONES Y NÚMERO DE HABITANTES UBICADOS POR CUENCA.	69
FIGURA 19. MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON SUS ESTACIONES Y LOS ÍNDICES DE CALIDAD PARA CADA ESTACIÓN DE MONITOREO.	71
FIGURA 20. MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON SUS ESTACIONES Y SU VALORACIÓN DEFINITIVA, DE ACUERDO A LA METODOLOGÍA PROPUESTA	72
FIGURA 21: ESTACIONES HIDROLÓGICAS DEL IDEAM EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	77

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1. CENSO MINERO EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO SAN JUAN	85
ANEXO 2. COBERTURAS Y USOS DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	87
ANEXO 3. ÍNDICES DE CALIDAD Y DE CONTAMINACIÓN EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO SAN JUAN.....	90
ANEXO 4. POBLACIÓN Y ÁREA DE LA ZONA DE ESTUDIO	91
ANEXO 5. DATOS DE LOS DIFERENTES CRITERIOS POR ÁREA DE INFLUENCIA, USADO EN EL PROYECTO.	92
ANEXO 6 MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA Y SUB-CUENCAS DEL PROYECTO	93
ANEXO 7. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO EN LA CUENCA Y LAS SUB-CUENCAS	94
ANEXO 8. MAPA DE LOCALIZACIÓN ESTACIONES DEL IDEAM Y SUBDIVISIÓN DE LAS SUB-CUENCAS.....	95
ANEXO 9. MAPA DE COBERTURA Y USOS DEL SUELO	96
ANEXO 10. MAPA DE PORCENTAJE DE COBERTURA BOSCOsa EN EL ÁREA DE ESTUDIO	97
ANEXO 11. MAPA DE PENDIENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	98
ANEXO 12. MAPA DE LOCALIZACIÓN ENTABLES MINEROS.....	99
ANEXO 13. MAPA CON DATOS DE POBLACIÓN EN LA CUENCA Y SUB-CUENCAS	100
ANEXO 14. MAPA DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA – ICA, EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	101

RESUMEN.

Esta investigación se desarrolló en el marco del proyecto denominado “ESTUDIO DE CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO ASOCIADO A LOS ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS (MARINO COSTEROS Y CONTINENTALES) DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ”, formulado por la autoridad ambiental regional, Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó – CODECHCOCÓ. Parte de considerar que los ecosistemas estratégicos marino, costeros y continentales del departamento del Chocó y en específico los ubicados en la cuenca media del río San Juan, son un escenario natural que refleja de manera incuestionable las consecuencias de las presiones antrópicas desarrolladas de manera insostenible, ya que los usos dados a estos, han deteriorado paulatinamente la calidad del agua y deforestado las riberas y costas así como sus zonas de influencia. Esta situación ha ido en aumento, debido a la continua generación de vertimientos originados en actividades mineras, forestales, agrícolas y municipales. Por tal motivo es necesario implementar un instrumento de vigilancia, control y seguimiento en la cuenca media del río San Juan principalmente.

CODECHOCO, ha realizado campañas de monitoreo a la calidad hídrica en esta cuenca en 53 sitios geo-referenciados; estas han sido puntuales y no permiten evidenciar ni anticipar deterioros ambientales específicos.

El presente trabajo de aplicación provee una propuesta para el diseño de la Red de Monitoreo de Calidad del Agua en la Cuenca Media del Río San Juan en el departamento del Chocó, haciendo uso del análisis multicriterio por el método de las jerarquías analíticas (MJA) y de herramientas de sistemas de información geográfica -SIG.

En la valoración de pesos en el análisis multicriterio, se consideraron tres factores generales de carácter antrópico, fisiográfico y de calidad del agua. Se realizó la ejecución del modelo de cuenca, integrado por los pesos de los criterios evaluados y las fuentes de información cartográficas, utilizando herramientas de análisis espacial de ArcGIS.

Como resultado se obtiene una propuesta de red más pequeña que cumple con los objetivos trazados por la autoridad regional y se espera permita tener claridad meridiana sobre los impactos que generan las actividades que se desarrollan en la cuenca, traduciéndose en la toma de acciones que las prevengan o corrijan; además de proveer una herramienta en la futura selección de nuevos sitios, en caso de ser necesario ampliar la red de monitoreo.

PALABRAS CLAVES: calidad hídrica, variables fisicoquímicas y microbiológicas, red de monitoreo, metodología de diseño, Sistemas de Información Geográfica.

INTRODUCCIÓN

Las diversas actividades desarrolladas por el hombre, han degradado la calidad del recurso hídrico disponible en el planeta, al punto que en muchos sitios se ha puesto en peligro la supervivencia de los seres vivos asentados en dichas regiones; estas conductas han de recordarnos: 1) que el agua es el principal recurso del que disponemos para el soporte de la vida en el planeta que denominamos “*Tierra*”; y 2) que se deben emprender medidas tendientes a dar un uso sostenible para poder garantizar el acceso futuro a este invaluable recurso. (Cano L y Escobar JF, 2011)

Las entidades encargadas de la administración y manejo de los recursos naturales, requieren determinar las tendencias ambientales y establecer las maneras como los recursos naturales son afectados. En el caso del recurso hídrico, deben saber el estado del mismo y las perturbaciones ocasionadas en él por las descargas contaminantes. (Cano L y Escobar JF, 2011)

La inexistencia de instrumentos que permitan argumentar objetivamente sobre el impacto que generan las actividades que se desarrollan en la cuenca, se traduce en falta de acción y de toma de decisiones que corrijan y/o mejoren dicha situación. Por ello se propone como objetivo principal de este trabajo, el diseño de una red de monitoreo de la calidad de la cuenca media del río San Juan, que cumpla con los principales objetivos que le son inherentes: seguimiento, vigilancia, control y modelamiento (IDEAM, 2004).

De forma ideal, el diseño de una red de monitoreo de variable hídricas y de calidad del agua, debe ser capaz de responder de manera integral a interrogantes como que, donde, cuando y cuanto monitorear y cómo evaluar la efectividad de la red para considerar futura necesidades de información (Steele, 1987).

Las respuestas a estos interrogantes dependerán de los objetivos del programa de monitoreo, de las características de la fuente, de la variabilidad de los parámetros según la escala temporal y espacial de interés, del nivel de precisión y confiabilidad de la medida y de la disponibilidad de recursos (Olsen y Robertson; 2003).

El modelo científico es un instrumento de la investigación de carácter material o teórico, creado para reproducir el objeto que se está estudiando. Constituye una reproducción simplificada de la realidad que cumple una función heurística que permite descubrir nuevas relaciones y cualidades del objeto de estudio. Un modelo científico es la configuración ideal que representa de manera simplificada una teoría.

Es un instrumento de trabajo que supone una aproximación intuitiva a la realidad y que tiene por función básica la de ayudar a comprender las teorías y las leyes. La aplicación del método de la modelación está íntimamente relacionada con la necesidad de encontrar un reflejo mediatizado de la realidad objetiva. De hecho el

modelo constituye un eslabón intermedio entre el sujeto (investigador) y el objeto de investigación. La modelación es justamente el método mediante el cual se crea abstracciones con vistas a explicar la realidad. (Pérez. 1996).

Los modelos representan las características esenciales de un sistema y pueden ser herramientas valiosas para la gestión ambiental debido a que aumentan el entendimiento de las complejidades y de las singularidades de una situación dada y su respuesta a las decisiones de gestión u otros cambios (Saloranta, 2006).

Para lograr los objetivos establecidos por la autoridad ambiental, las redes de vigilancia de la calidad y/o la cantidad del agua, deben permitir que los sitios de monitoreo correspondan a lugares cuidadosamente seleccionados, que permitan obtener muestras representativas de la cuenca, que sean de fácil acceso y que permitan conocer de manera rápida las condiciones de deterioro que se puedan presentar en la cuenca, a fin de que la autoridad ambiental pueda tomar las decisiones correspondientes y garantizar el restablecimiento de las condiciones de calidad establecidas para la misma. Los criterios de selección para la macro localización de estaciones se relacionan a continuación:

1. **La representatividad de una cuenca:** los datos de la calidad del agua deben ser recogidos en las estaciones de monitoreo de la cuenca que representa cada unidad en un sistema fluvial.
2. **Cumplimiento con las normas de calidad del agua:** Una función importante de las redes de vigilancia de la calidad del agua es averiguar si las normas de calidad del agua están siendo violados y, en caso afirmativo, dónde y con qué frecuencia las violaciones ocurren y cuánto tiempo duran.
3. **Vigilancia de las fuentes de contaminación:** las muestras deberán recogerse en los lugares donde haya identificado un punto de contaminación y/o fuentes difusas de contaminación puede controlarse regularmente.
4. **Supervisión del uso del agua:** Las autoridades ambientales deben establecer objetivos de calidad para las fuentes hídricas en atención a los usos dados a las mismas; estableciendo apoyos a ciertos usos sobre otros, de tal forma que no se afecte la calidad del recurso utilizado para uso doméstico (prioritario) por ejemplo.
5. **Modificaciones de la calidad del agua:** la red de vigilancia deben estar diseñados para permitir la fácil aplicación de la información para la calibración y verificación de la calidad del agua de los modelos.
6. **Estimación de la carga de la contaminación:** Estaciones de vigilancia para estimar la carga de contaminación generalmente coinciden con aquellos para el seguimiento de los cambios de la calidad del agua.

La accesibilidad a los puntos de muestreo debe tenerse en cuenta en el momento de localizarlos, además de la distancia a los laboratorios de análisis y/o estaciones de almacenamiento.

CODECHOCO, en convenio con el INVEMAR y CORPOURABA, inició desde el año 2001 un programa de calidad de aguas marinas - REDCAM, estructurado en un diagnóstico inicial del estado de la calidad de las aguas marinas en las zonas de influencia del departamento. La cobertura del programa REDCAM en el departamento del Chocó es muy limitada y tiene muchas deficiencias en cuanto a la captura de la información de los recursos hídricos tanto continentales como marino costeros por la escasa densidad y frecuencia del monitoreo, En consecuencia CODECHOCÓ, formuló el proyecto denominado “ESTUDIO DE CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO ASOCIADO A LOS ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS (MARINO COSTEROS Y CONTINENTALES) DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ”.

La mayoría de los 500.046 (Proyección DANE 2016) habitantes del departamento del Chocó, se encuentran asentados en las márgenes de los ríos, principalmente en las cuencas de los ríos Atrato, San Juan y Baudó y de forma específica en la parte media de dichas cuencas. Por tanto, es allí donde se desarrollan la mayoría de las actividades productivas. El proyecto arriba citado, pretende suplir esta falta de información y de disponibilidad de datos de la calidad de estas cuencas.

La región del río San Juan, es la segunda más poblada del departamento (la primera es la región del Atrato), es la primera en explotación de oro y de platino, principalmente en su cuenca media; en esta región se desarrolla igualmente una apreciable explotación forestal, aunque en menor escala que la región del Atrato y algunas zonas se dedican a la agricultura de pan coger y una incipiente explotación pecuaria y piscícola. En los últimos años se ha observado el avanzado deterioro de la calidad de las aguas en sitios específicos de esta cuenca.

Se encomienda a este trabajo de investigación, como apoyo a consecución de los objetivos del proyecto de estudio de la calidad del recurso hídrico en el departamento del Chocó, el desarrollo y/o implementación de una metodología que permita de manera ágil y confiable diseñar una red de monitoreo de la calidad de la calidad del agua en la cuenca media del río San Juan. Dicha red debe consultar las condiciones ambientales del área de estudio, las actividades productivas que allí se desarrollan y la información disponible con que cuenta la autoridad ambiental en el área de estudio.

Se ratifica entonces que el objetivo principal de este trabajo es el diseño de la red de monitoreo para la determinación de la calidad del agua que discurre por la cuenca media del río San Juan, a través del desarrollo una metodología que le permita a la autoridad ambiental regional del Chocó, implementar otras redes de monitoreo en otras cuencas de importancia en el departamento.

A continuación se describe cada uno de los capítulos desarrollados para llevar a cabo este trabajo:

El Capítulo I: desarrolla los Antecedentes, constituido principalmente por la bibliografía consultada sobre el estado del arte en el diseño de redes de monitoreo de la calidad del agua, se explicita la Hipótesis y los Objetivos que se trazaron para este trabajo.

Capítulo II: describe de manera amplia y detallada la zona de estudio, principalmente los componentes climatológicos y geomorfológicos, e igualmente los Materiales y Métodos utilizados para la localización de los sitios de muestreo.

Capítulo III: aquí se presentan los resultados obtenidos luego de que se desarrolla la metodología propuesta y a continuación se realizan el análisis a los mismos, .

Capitulo IV: por último se presentan las conclusiones que se obtienen del desarrollo del proyecto y las recomendaciones que se entregan a las instituciones involucradas, además de los anexos.

CAPITULO I

1. ANTECEDENTES.

Es de conocimiento general que nuestro país, Colombia, es un país de regiones, cuenta con zonas de gran abundancia de escorrentías - como es el caso de la región pacífica-, contrastando a su vez con regiones como la alta y baja Guajira, San Andrés y Providencia, la cuenca del río Cesar y la Sabana de Bogotá, donde se presenta una menor cantidad de estas. No obstante, la abundancia de las escorrentías en la región pacífica y en especial en el departamento del Chocó, no se ve reflejada en los índices de satisfacción de las necesidades básicas de sus habitantes, en lo que respecta al suministro y calidad de agua potable. El Chocó es uno de los departamentos donde no se suministra agua apta para el consumo humano en ninguno de sus municipios, junto con Amazonas, Cesar, Bolívar, Caquetá, Guainía, Guajira, Guaviare, Nariño, Putumayo, San Andrés, Vaupés, Vichada y Santander (SSPD, 2007); Siendo el Chocó, el departamento más rezagado en materia de cobertura de acueducto y el segundo más rezagado en alcantarillado. La oferta hídrica per cápita en el departamento del Chocó es 701.234,11 m³ de agua/año (IDEAM - 2001 y DANE – CENSO 2005. Citado por la Defensoría del Pueblo); sin embargo, factores como la minería, la explotación maderera, la contaminación hídrica y los pozos de agua estancada, han generado que sus habitantes padezcan enfermedades de origen hídrico y aquellas relacionadas con la falta de agua e higiene. Adicional a esto, se suma el accionar de las instituciones que tienen a su cargo el manejo del recurso hídrico en el departamento y la forma como interactúan con las del nivel central y con los demás actores de la sociedad civil. Se evidencian efectos directos de estas actuaciones sobre el deterioro de la calidad del recurso hídrico y la consecuente afectación a la biota.

CODECHOCÓ, ha venido realizando monitoreos a la calidad y cantidad del agua del departamento de manera puntual, sin el establecimiento de una red de monitoreo que le permita generar información de manera sistémica y ordenada. Específicamente en la cuenca media del río San Juan se cuenta con alrededor de 53 puntos de monitoreo geo-referenciados, donde de manera periódica, pero sin un determinante sistémico, se colecta información de la calidad de las aguas en dicha sub región de la gran cuenca del río San Juan.

La determinación de los sitios donde se deben ubicar la estaciones, es quizás el factor más crítico en el proceso de diseño de una red de monitoreo (Sanders et al.1976), aconsejan estos autores que esta etapa debe surtirse a partir del estudio de diferentes dominios espaciales. La propuesta de Sanders, Adrián y Berger de dividir el proceso de localización en tres niveles, ha sido considerada válida hasta el día de hoy; la misma se puede resumir en: a) Macro localización o tramos de la corriente en donde se deben ubicar las estaciones. b) Micro localización o definición

del sitio específico en el tramo donde debe ubicarse la estación, procurando que la misma queda en la zona de mezcla completa dentro del tramo. c) Localización representativa del muestreo, esto es dónde y cómo debe muestrearse en la sección transversal de la corriente en la estación seleccionada. Este último nivel no se considera en este trabajo, dado que depende de las condiciones específicas del cauce y se deben tratar de manera amplia en los protocolos de toma de muestra en corrientes superficiales.

En el ámbito internacional existen muchas referencias sobre el establecimiento de redes de monitoreo de la calidad de fuentes hídricas entre las cuales podemos citar:

En el año de 1970 W.E. Sharp, (Sharp, 1970) propuso el primer método de localización de estaciones de muestreo en fuentes superficiales a nivel de cuencas, se planteó el empleo de las órdenes de corriente de Horton como base fundamental para la división de la red de drenaje en subdominios, que tienen asignado un tributario, el cual es tratado como fuente potencial de contaminación. Cada subdominio será muestreado a la salida del tributario. El número de subdominios depende de la jerarquía hasta la que se quiera muestrear, además tiene la ventaja de no requerir información histórica previa de la calidad del agua en la cuenca (Sanders, 1976).

El método de Sharp fue modificado por Sanders (Sanders et al.1983), empleando indicadores de calidad del agua (por ejemplo D.B.O en los cauces), en lugar del número de tributarios contribuyentes (órdenes de Horton).

En el año 1994, Smith y Maasdam, establecieron sobre 49 corrientes de Nueva Zelanda, dos tipos de estaciones. Las primeras las denominaron de Línea Base y fueron ubicadas en lugares en donde es muy baja la probabilidad de afectación directa de descargas sean estas puntuales o difusas; las segundas fueron denominadas de Impacto, y se ubicaron aguas abajo de lugares de actual o futuro desarrollo, teniendo en cuenta que en los sitios seleccionados se garantizara por lo menos un caudal mínimo de 15 m³/s.

Se ha utilizado igualmente modelos numéricos de simulación de la calidad del agua, para el establecimiento de redes de monitoreo, entre los que podemos resaltar los utilizados por Dannisøe y Larsen en 1997, que emplearon un modelo numérico de simulación de calidad del agua, denominado MIKE II, en un tramo del río Mollea en Dinamarca; se emplearon varios escenarios de modelación (Hidrológicas y descargas puntuales) analizar bajo condiciones actuales y futuras, las descargas que causaban mayor impacto en la calidad de las aguas y así ubicar las estaciones de monitoreo.

En 1999 Dixon, Smyth y Chiswell, desarrollaron un modelo haciendo uso de los sistemas de información geográfica – SIG y teoría gráfica (representación de la red

de drenaje de un río como un conjunto de nodos y tramos a través de una matriz) ayudando este proceso con el método de optimización de temple simulado o recocido simulado (Annealing). Esta propuesta desarrolla una red de monitoreo que minimiza el proceso de búsqueda de fuentes de contaminación, una vez se determina el deterioro de la calidad del recurso en uno o varios puntos específicos de la red de drenaje. Los insumos base de este método son el modelo digital del terreno MDT (DEM por sus siglas en inglés) y la topología de la red de drenaje.

Existen otros modelos que no buscan el diseño óptimo de la red a nivel del sistema río, sino que se centran en la corriente principal; como la propuesta desarrollada por Lo, Kuo y Wang en el río Keelung en la parte norte de Taiwán (Lo, Kuo y Wang. 2002), los cuales basaron su trabajo en la simulación de un modelo de calidad del agua en estado permanente para flujos mensuales medios y mínimos. Define la selección óptima de las estaciones de monitoreo entre un grupo discreto de posibles puntos de medición, buscando minimizar la varianza de estimación del método Kriging (Herramienta geo estadística), utilizando el algoritmo de ramas y saltos como método de búsqueda y optimización.

En algunos casos, lo que se quiere es la optimización de una red existente y hay varios trabajos que apuntan en este sentido, como los desarrollados por Harmancioglu, Icaza y Gul, (Harmancioglu et al. 2004), quienes han reportado el uso de programación dinámica para la evaluar la reducción del número de sitios de muestreo, respecto a diferentes objetivos de monitoreo, según un número de estaciones a ser retenidas en la red base a partir de un número de estaciones inicial. El procedimiento de optimización consta de dos pasos. En el primer paso la cuenca se divide en sub-cuencas y en cada sub-cuenca se determina en número de alternativas de combinación de estaciones mediante el método de Sharp (Sharp. 1970) según un número de estaciones pre-existentes en la sub-cuenca. Cada combinación posee ciertos atributos como el área de drenaje, la población, el área de irrigación, número de observaciones antecedentes, amplitud del periodo de observaciones y valores de las variables de calidad, los cuales se evalúan y normalizan. El segundo paso, en la programación dinámica se definen las cuencas primarias como etapas y las estaciones en cada sub-cuenca como estados, para así determinar la combinación de estaciones para varias cuencas primarias, dando como resultado una red total de tamaño predeterminado, que tiene la máxima calificación en sus atributos.

En la búsqueda de obtener las mejores estimaciones de variables de calidad del agua en sitios sin información, Karamouz, Karami y Kerachian (Karamouz et al. 2004) y dentro de un proceso de optimización y búsqueda de criterios con base física, combinaron algoritmos genéticos con un modelo de calidad del agua unidimensional en estado permanente, para localizar las estaciones de monitoreo a nivel de corriente principal en el río Karoon en Irán. La configuración óptima de la red de monitoreo se logró mediante el mejor ajuste de la variación espacial y temporal histórica de las variables simuladas y observadas en calidad y cantidad.

La configuración de este método permite tener en cuenta más de un parámetro de calidad del agua en el procedimiento de diseño, lo que posibilita aproximar el diseño a lo que realmente sucede en una estación de monitoreo, en donde se puede estar muestreando simultáneamente un conjunto de variables de calidad.

En la parte baja del río St. Johns en Florida, Estados Unidos, se evaluó la importancia de 22 estaciones de monitoreo en el análisis de la variación anual de la calidad del agua, por parte del investigador Ying Ouyang (Ouyang. 2005), mediante el análisis de componentes principales de un grupo determinado de variables de calidad. El objetivo de este estudio fue identificar las estaciones de monitoreo que son realmente importantes en la explicación de la variación anual de la calidad del agua en el río. Se les denominó estaciones no principales a los puntos de muestreo que mostraron no ser relevantes en la explicación de la variabilidad anual del grupo de variables de calidad seleccionadas; las estaciones así identificadas fueron seleccionadas para ser retiradas de la red de monitoreo.

Es pertinente exaltar, la experiencia en el río Nakdong, Corea, en la cual se planteó el diseño de una red de monitoreo haciendo uso de un algoritmo genético. Se hizo uso de la herramienta SIG, dividiendo cada capa de información en cuadrados que podían no acoplarse entre sí como los cromosomas (reproducción, cruce o mutación),(Park et al., 2006). En este trabajo se emplearon cinco criterios de selección combinados linealmente en un sistema multiobjetivo de pesos ponderados, usando como criterios: la representatividad del punto a nivel de la cuenca (según el procedimiento de Sharp, arriba expuesto), el cumplimiento de estándares de calidad del agua, la supervisión del uso del agua, la vigilancia de fuentes de contaminación y el examen de la variación de la calidad del agua. Los insumos base del método fueron la red de drenaje en formato Raster, el modelo digital del terreno – MDT y las mediciones de DBO, realizadas en época seca en diferentes tramos de la red hídrica.

En la línea del uso de los sistemas de información geográfica, Strobl y colaboradores (Strobl et al. 2006) desarrollaron una metodología que combina el uso de sistemas de información geográfica – SIG, un modelo de simulación hidrológica y la lógica difusa, para optimizar la selección de los puntos críticos de muestreo. La criticidad de los puntos referente a la potencialidad de ser contaminados, fue evaluada mediante la estimación potencial de contaminación a nivel superficial y sub-superficial de los puntos candidatos. Esta metodología emplea tres insumos; a) Productos e índices que se extraen del modelo digital del terreno de la cuenca, como la pendiente media, la curvatura en planta, la curvatura en perfil, el modelo digital de flujo, la radiación solar potencial, el índice de erosión de la corriente, el índice topográfico de la humedad y el índice de transporte de sedimentos; b) Propiedades de uso del suelo; y c) Los resultados de la simulación realizada con un modelo hidrológico. Estos insumos son re-escalados, ponderados y sumados para configurar un índice de potencialidad a la contaminación. El cual es

aplicado cada uno de los puntos candidatos y que es insumo base en el proceso de optimización.

En México, se desarrolló una propuesta en el río Lerma, por los investigadores Fall, Hinojosa-Peña y Carreño de León (Fall et al. 2006), la cual se basó en una labor inicial de campo ardua y laboriosa, mediante muestreos intensivos tanto espacial como temporal en el río Lerma, con el fin de caracterizar las diferentes fuentes de contaminación y conocer a fondo la calidad del agua en la cuenca. Esta investigación desarrollo el diseño de la red de monitoreo en la escogencia de dos tipos de estaciones, las que denominaron tipo D, ubicadas en donde hay descargas contaminantes importantes y tributarios de consideración, y las denominadas tipo R, localizadas directamente sobre el cauce principal. Los criterios de selección de la estaciones fueron la magnitud de la carga contaminante del tributario o de la descarga para las tipo D y la facilidad de acceso e historial de muestreo para las tipo R.

También se tiene información sobre otra experiencia en el río Altahama, Estados Unidos, esta red se diseñó intentando lograr el menor tiempo en la detección y la mayor confiabilidad. Se plantearon diferentes sitios para albergar las estaciones ubicando los sitios potenciales en la unión de los ríos, las partes más altas del río y las zonas de menor densidad de sitios potenciales. Se corrieron modelos sobre el transporte de contaminantes y como resultado, se propuso un método, teniendo en cuenta que su objetivo no representa los objetivos de muchas estaciones de monitoreo, pero que puede servir de complemento para la selección de estaciones (Ilker y Jiabao, 2009).

Al hacer revisión de las investigaciones desarrolladas en Colombia sobre el diseño de redes de monitoreo de la calidad del agua en fuentes superficiales, encontramos que hay mucha literatura sobre los monitoreos realizados en diferentes cuencas hídricas, de las dinámicas hidrológicas, de la metodología desarrollada para determinar las condiciones ambientales y de salubridad de la cuenca, de las variables ambientales utilizadas para determinar la calidad del agua en la cuenca, de los métodos empleados para hallar índices de calidad y muchos otros temas alrededor de la calidad de las fuentes hídricas, sin embargo es muy poco lo que esta literatura expone sobre la metodología desarrollada para el establecimiento de la red; en muchos casos se dice “se establecieron n puntos de muestreo, para”.

Los protocolos desarrollados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para el diseño y operación de la red básica nacional expresan que lo mismos siguen los lineamientos dados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los cuales se han venido ajustando a las necesidades del país; El IDEAM de acuerdo con su misión cuenta con una red de calidad de agua superficial nacional que monitorea las principales cuencas del país, compuesta por 175 estaciones las cuales también son hidrológicas, cuyo fin esencial es permitir cuantificar la calidad del recurso hídrico junto con la cantidad.

En la Guía para el monitoreo y seguimiento del agua, elaborada por el IDEAM, en el año 2004, se establece una metodología para el establecimiento de los sitios de muestreo. Cuando el objetivo del monitoreo es de control y vigilancia, las estaciones estarán ubicadas donde se localizan los proyectos que hacen uso del recurso (ejemplo sitios donde se hacen vertimientos) o donde se presentan afectaciones por fenómenos naturales (ejemplo sitios sometidos a inundaciones o sequías). Para el monitoreo de los vertimientos, adicionalmente de monitorear el punto de descarga, se deben involucrar dos puntos más, ubicados sobre la fuente a la que se le está haciendo el vertimiento: uno ubicado aguas arriba antes de que el vertimiento sea incorporado al cuerpo de agua y otro aguas abajo en la zona de mezcla. (IDEAM. 2004).

Para el diseño de la red, una vez se tenga claramente definido el objetivo de ella, se debe identificar el inventario de las estaciones existentes en el área analizada, y a partir de él complementar y/o optimizar la red. Esta acción busca identificar vacíos de información y la integración de los actores que intervienen en el monitoreo del recurso hídrico para establecer un sistema que comparta la información y conocimiento adquirido a partir del análisis de los datos obtenidos de la red de monitoreo. (IDEAM. 2004).

Es pertinente resaltar la experiencia desarrollada para el proceso de rediseño de la red de muestreo en el río Cauca, en el tramo correspondiente al departamento del Valle del Cauca, en la que se emplearon propiedades del semi-variograma de una variable específica (rango de dependencia y nugget), para evaluar la separación entre sitios de muestreo en un tramo de río, ubicando los puntos de monitoreo a una distancia igual o menor al rango de dependencia y decidiendo de esta manera la modificación de la red actual de monitoreo mediante la inclusión o exclusión de estaciones de muestreo (Segura, Vargas y Galvis. 2003).

En la microcuenca El Volcán en el municipio de Pamplona – Norte de Santander, se desarrolló una propuesta para determinación de la dinámica fisicoquímica y de la calidad del agua (Ramírez, A. et al. 2005); para la selección de la red de monitoreo se utilizó Análisis Multivariado de Componentes Principales – ACP, siguiendo las recomendaciones de Ramírez y Viña (1998), a partir del establecimiento de una matriz de estaciones-períodos vs. variables, para lo cual se aplicó el software Kyplot V2.0. La secuencia metodológica llevada a cabo fue la siguiente: (1) cálculo de las correlaciones entre variables por medio del coeficiente de Pearson; (2) determinación de los valores propios y porcentaje de la variación explicada por cada uno de los componentes; (3) obtención de los vectores propios; (4) cálculo de las coordenadas de las variables fisicoquímicas y de las estaciones; (5) graficación.

La experiencia implementada en el río Grande en el norte del departamento de Antioquia, en la que se desarrolló una red de monitoreo soportada en modelación geoespacial, mediante el uso de herramientas GIS y ponderación de criterios de ubicación. La ponderación se realizó utilizando el método Saaty; la valoración se

logró mediante una encuesta a ocho (8) expertos. El resultado fue la elaboración de mapas con zonas prioritarias para monitoreo, que a pesar de no indicar los puntos definitivos de las estaciones, sirvieron como complemento en la selección de los puntos por expertos (Cano y Escobar, 2011).

CODECHOCO en convenio con el INVEMAR y CORPOURABA, desde el año 2001 inició con el programa de calidad de aguas marinas - REDCAM, estructurado en un diagnóstico inicial del estado de la calidad de las aguas marinas en las zonas de influencia del departamento. Este diagnóstico fue direccionado inicialmente a la construcción de un mapa del estado de las playas y su posible gestión turística. En la actualidad, el programa REDCAM sigue funcionando buscando establecer criterios de calidad con fines turísticos, con el objetivo de certificar las playas, y para construir un índice de calidad de aguas marinas para el turismo, que permita visualizar puntualmente, y en diferentes épocas, las condiciones de las playas y su afectación por las actividades humanas (INVEMAR, 2001).

La cobertura del programa REDCAM en el departamento del Chocó es muy limitada y tiene muchas deficiencias en cuanto a la captura de la información de los recursos hídricos tanto continentales como marino costeros por la escasa densidad y frecuencia del monitoreo, CODECHOCÓ no realiza monitoreo en la costa caribe; y en la costa pacífica solo se cubre parte el corredor marino entre Ciudad Mutis (Bahía Solano) y Nuquí, tramo que visualiza solo el 10% (49 km) de la costa pacífica chocoana, dejando de lado municipios de gran importancia turística, pesquera y comercial como Litoral del San Juan, Bajo Baudó y Juradó.

En el año 2010 CODECHOCÓ, en convenio con la Universidad Tecnológica del Chocó (UTCH), realizó un estudio para priorizar y clasificar las cuencas susceptibles de ordenación y en el 2011, conjuntamente con la UTCH, se inició la primera fase de dicho proyecto con la ordenación de la cuenca del río Baudó

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Se desconoce que tramos de la cuenca media del río San Juan presentan mayor probabilidad de sufrir deterioro en la calidad de sus aguas.

3. HIPÓTESIS

Las fuentes hídricas sin instrumentos de control y seguimiento tienen una alta probabilidad de deterioro en la calidad de las aguas en los sitios en donde se desarrollan actividades antropogénicas y la cuenca media del río San Juan no cuenta con una red de monitoreo para el control y seguimiento a las actividades que allí se desarrollan; en consecuencia, algunos tramos de la cuenca media del río San Juan tienen una alta probabilidad de presentar deterioro en la calidad de sus aguas.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una red de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca media del río San Juan en el departamento del Chocó.

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico ambiental del recurso hídrico en la cuenca.
- Identificar tramos críticos en función de la calidad del recurso en el cauce del río San Juan.
- Definir criterios técnicos para el diseño de la red de estaciones requerida para establecer la calidad del recurso.

CAPITULO II

5. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

La información incluida en este capítulo se generó a partir de los resultados arrojados por el estudio desarrollado por el grupo de funcionarios de CODECHOCÓ, que tenían como objetivo principal la caracterización ambiental y social del área de estudio del proyecto “ESTUDIO DE CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO ASOCIADO A LOS ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS (MARINO COSTEROS Y CONTINENTALES) DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ”, en el cual se encuentra incluido este proyecto de investigación.

5.1. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

La región del Pacífico colombiano, es una zona particularmente sensible a cambios en las variaciones del clima, siendo uno de los lugares donde se registran los mayores índices de diversidad biológica del planeta (Herrera y Walschburger, 1999), pudiendo atribuirle esta rica gama de especies animales y vegetales a la pluviosidad que caracteriza esta región, reconocida como una de las más lluviosas del mundo (Mejía et al., 1999). Por lo anterior, se presentan precipitaciones convectivas superiores a los 8.000 mm anuales en la región pacífica colombiana (Eslava Ramírez, 1994). En esta región de Colombia, al sur del departamento del Chocó se encuentra ubicada la cuenca del río San Juan, la cual es influenciada de manera directa por aquellos factores físicos-geográficos que son determinantes en el clima de Colombia.

Por eso, el comportamiento de las variables hidro-climáticas (precipitación, caudal, temperatura del aire, entre otras) tiene un impacto directo en los sectores, ambientales, sociales y económicos de un país. Así, estas variables han sido objeto de numerosos estudios, en diferentes escalas espaciales y temporales. Debido a los riesgos asociados a eventos climáticos extremos como: las inundaciones, los deslizamientos de tierras, los brotes de enfermedades, sequías y efectos nocivos sobre los cultivos (IDEAM, 2002; Redmond y Koch, 1991).

5.1.1. Datos utilizados

Para desarrollar la caracterización climática de la cuenca del San Juan (CRSJ), se realizó el inventario de la información hidro-meteorológica existente en la región sur del departamento del Chocó, donde esta cuenca se encuentra ubicada, ver Figura 1.

Sobre la cuenca, se identificaron 12 estaciones de medición pertenecientes al IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), repartidas entre pluviométricas (PM), pluviográficas (PG), limnigráfica (LG),

climatológica principal (CP), climatológica ordinaria (CO), ver Tabla 1, las cuales presentaron información sobre las variables Precipitación (Pt), Temperatura del Aire (Tm), Brillo solar (Bs), Humedad relativa (Hr), Nubosidad (Nb), Caudal (Q) y Nivel del río (Nv).

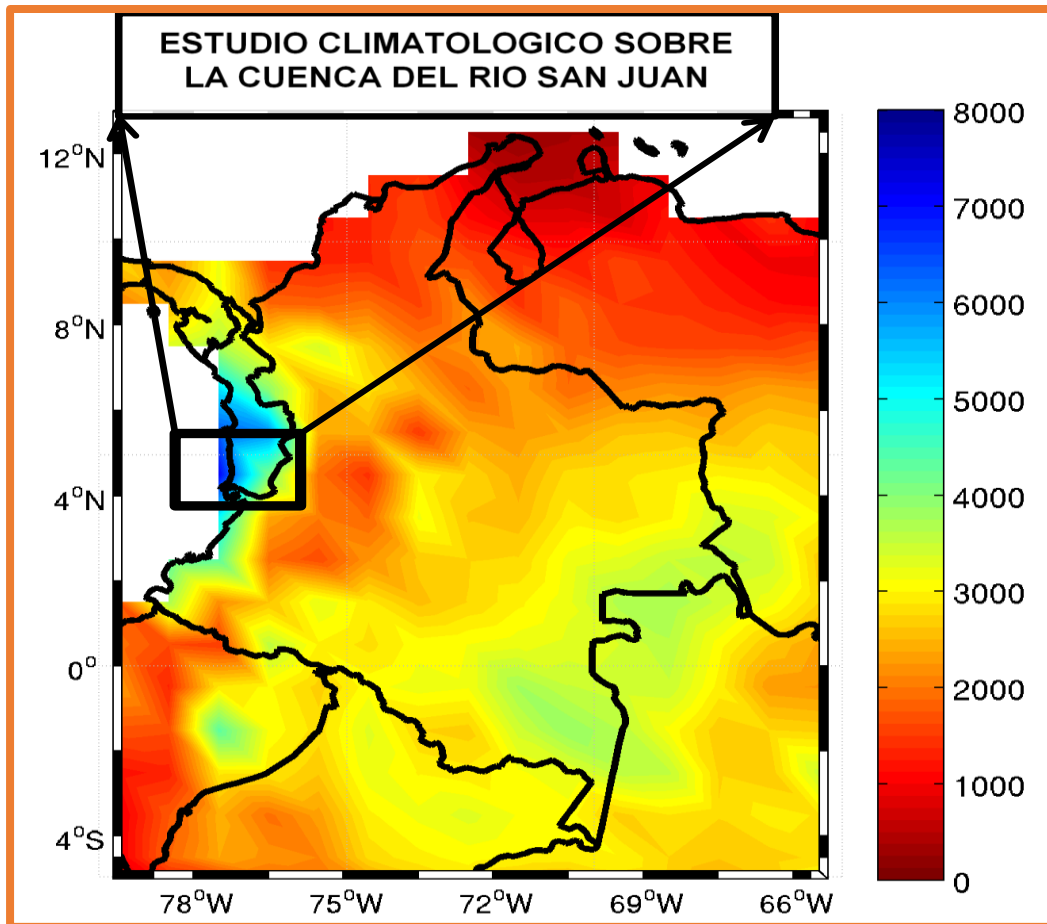


Figura 1 Estudio climatológico cuenca del río San Juan (IDEAM)

Tabla 1: Catálogo de estaciones IDEAM, en la cuenca del río San Juan.

Estación Código	Latitud (°)	Longitud (°)	Elevación (msnm)	Municipio	Corriente	Fecha inicio	Fecha final	No. Años	Variables	Unidades	Datos /Faltantes
54010010 (PM)	5.09 N	76.41 W	90	ISTMINA	SAN JUAN	1967	2014	48	Pt_Max_24	Mm	8,97
									Pt_Med		5,56
									Ndi_Pt		8,97
55010020 (PM)	5.07 N	76.46 W	57	ISTMINA	PEPE	1973	2014	42	Pt_Med	Mm	9,6
									Pt_Max_24		80
54020010 (PM)	5.05 N	76.41 W	35	ANDAGOYA	SAN JUAN	1946	2014	69	Ndi_Pt		50
54050020 (PG)	4.40 N	76.52 W	18	NOANAMA	COPOMA	1966	1970	5	Pt_Max_24	Mm	90
						1972	2001	30	HR_Med	%	40,4
						1979	2000	22	Nub_Med	Octas	73,9
						1972	2001	30	Tm_Max	°C	20
						1972	2001	30	Tm_Min		20
						1973	2002	30	BS	Hora	20
						1971	2008	38	Pt_Med	mm	15,2
						1983	2000	18	TmH_Med	°C	62,2
						1972	2000	29	TsV_Med	Mb	44,2
						1971	2008	36	Pt_Max_24	mm	18,2
						1971	2008	36	Ndi_Pt		17,9
						1972	2001	30	Tm_Med	°C	18
54020060 (PM)	5.03 N	76.38 W	70	CONDOTO	OPOGODO	1967	2014	48	Pt_Med	mm	8,1
54020080 (PM)	4.55 N	76.49 W	50	SAN JUAN	BEBEDO	1973	2014	42	Pt_Med	mm	7,5
									Ndi_Pt		9
									Pt_Max_24	mm	9
54020020 (PM)	4.57 N	76.36 W	66	NOVITA	TAMANA	1967	2014	48	Pt_Med	mm	2,4
54027020 (LG)	5.06 N	76.40 W	90	CONDOTO	BOCAS DE IRO	1973	2010	38	Q_max	m3/seg	12,6
									Q_min		12,8
54020090 (PM)	5.04 N	76.40 W	63	CONDOTO	CONDOTO	2003	2014	12	Pt_Med	mm	91,9
									Ndi_Pt	N°	91,9
									Pt_Max_24	mm	91,9
									Tm_Med	°C	98,9
54025030 (CO)	5.06 N	76.36 W	65	CONDOTO	CONDOTO	1969	1973	5	Pr_Med	°C	98,9
									Pt_Med	mm	98,1
									Pt_Max_24	mm	98,1
									Nb_Med	octas	99,1
									HR_Med	%	98,9
									Evp	mms	98,9
									BS	Horas	97,6
									Nv_Min	Cm	20
Nv_Max	Cm	20									
54027030 (LG)	4.52 N	76.51 W	45	DIO SAN JUAN	SAN JUAN	1973	2008	36	Q_Med	m3/s	9,4
									Q_Max	m3/s	13,9
									Q_Min	m3/s	12

Fuente: IDEAM

En la Tabla 1, se incluye el catálogo de estaciones del IDEAM sobre la cuenca del río San Juan, en total se dispuso de 21 variables (45 series de datos) hidrometeorológicas en escala mensual para las 12 estaciones.

Estas variables fueron sometidas a un riguroso control de calidad, con el fin de seleccionar aquellas estaciones que presentan series de datos idóneas para constituir la climatología de la CRSJ.

5.1.2. Precipitación

De acuerdo con (Eslava Ramírez, 1994), los factores climáticos como la latitud, exposición, orientación, rango de altitudes, orografía, vegetación, presencia de tierra-agua (mar), distancias al litoral, flujos de vientos entre otros, constituyen en conjunto los factores que determinan la cantidad de lluvia que puede caer en cada sitio por ende, definen los procesos de convergencia, convección, ascenso, enfriamientos de las masas de aires, condensación del vapor de agua y posteriormente la precipitación. Este autor, encuentra que sobre toda la región del pacífico colombiano, la precipitación anual promedio oscila entre los 7000 mm en la región sur hasta los 12717 mm sobre el norte (Lloró-Chocó), convirtiéndose este últimos en el máximo pluviométrico de Colombia, Sudamérica y posiblemente del planeta. Estos resultados también han sido registrados posteriormente por (Poveda, 2004) en los atlas climatológicos publicados por el IDEAM.

Tabla 2: Registro de Precipitación media (Pt med.) del área de estudio.

Item	Código	Municipio	Corriente	V. Medio	V. Max	V. Min
1	54010010	ISTMINA	SAN JUAN	623	1672	65
2	55010020	ISTMINA	PEPE	543	1254	25
3	54025020	CONDOTO	CONDOTO	594	1130	99
4	54020060	CONDOTO	OPOGODO	665	1745	109
5	54020080	M.SAN JUAN	BEBEDO	700	2009	69
6	54020020	NOVITA	TAMANA	740	2150	43

Fuente: IDEAM

Las estaciones que registraron series de calidad en los registros de Pt medias sobre la CRSJ y los valores de los estadísticos descriptivos “media, máxima y mínima”, durante el periodo 1972-2010, son mostrados en la Tabla 2.

El valor medio durante el periodo de estudio, de las series de Pt media en las 6 estaciones oscila entre 543 mm y 740 mm, mientras que el valor máximo de Pt en un mes puede alcanzar un valor de 2150 mm (estación TANAMA, noviembre de 2010). Además el mínimo valor de Pt registrado en la CRSJ por una estas estaciones, obtuvo una cantidad de 25 mm (estación PEPE, marzo de 1995), ver Tabla 2.

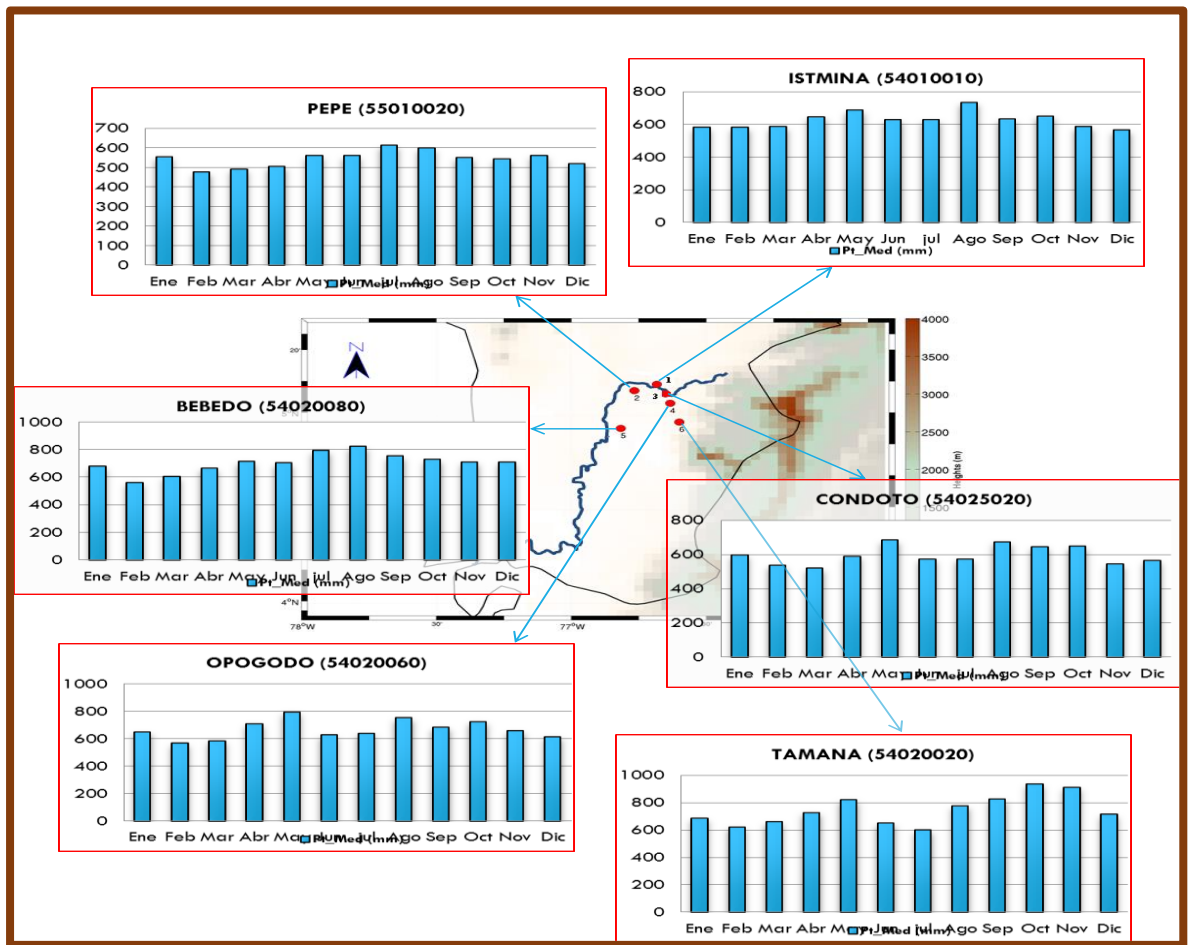


Figura 2. Comportamiento espacial y temporal de la Pt med en la CRSJ (1972-2010) (IDEAM)

La Figura 2, presenta el comportamiento espacial y temporal de la precipitación media sobre la cuenca del río san Juan. Mientras la Tabla 3, muestra los valores medios históricos de precipitación mensual y anual, obtenidos para cada una de las estaciones en el periodo de 1972 a 2010.

Las estaciones de Istmina, Condoto, Tanamá y Opogodó presentan un comportamiento de tipo bimodal, con dos periodos lluviosos registrados durante las temporadas de abril a mayo y agosto a octubre (incluso puede llegar hasta noviembre como ocurre en Tanamá), y dos periodos menos lluviosos que comprenden los meses de enero a marzo y junio a julio. Este comportamiento ha sido asociado principalmente al doble paso de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) sobre el territorio colombiano (Eslava Ramírez, 1994). Este ciclo bimodal, no se muestra marcado sobre las estaciones de Pepé y Bebedó, que se encuentran más desplazadas hacia el oeste de la CRSJ. Estas estaciones registran un solo periodo de lluvia durante todo el año, que presenta los valores más altos durante los meses de julio y agosto y los valores más bajos durante el mes de febrero,

configurando un comportamiento de tipo mono modal, en el cual, las lluvias parecen iniciar en el mes de marzo y finalizar en el mes de febrero (pasando por un interesante aumento durante el mes de enero).

Tabla 3: Valores mensuales de Precipitación media en estaciones CRSJ

No.	1	2	3	4	5	6
Estaciones Código	54010010	55010020	54025020	54020060	54020080	54020020
Latitud (°)	5.09	5.07	5.06	5.03	4.55	4.57
Longitud (°)	76.41	76.46	76.39	76.38	76.49	76.36
Elev. (m)	90	57	66	70	50	66
Corriente	ISTMINA	PEPE	CONDOTO	OPOGODO	BEBEDO	TAMANA
Enero	578	553	595	648	674	685
Febrero	578	473	535	564	558	619
Marzo	583	489	517	583	602	657
Abril	644	503	588	707	663	724
Mayo	683	559	681	793	709	818
Junio	624	558	572	625	699	648
Julio	626	611	571	637	791	595
Agosto	732	596	671	750	819	774
Septiembre	630	549	643	682	750	821
Octubre	648	540	645	723	726	934
Noviembre	582	560	541	655	707	910
Diciembre	562	518	564	611	708	711
Anual	7470	6510	7123	7979	8406	8895

Fuente: IDEAM

Por otro lado, la Pt media en todas las estaciones supera el valor de 470 mm en todos los meses del año, registrándose una Pt media anual superior a los 6500 mm, ver Tabla 3. La estación de Tanamá presenta la mayor cantidad de Pt media anual con un valor de 8895 mm, mientras que la estación de Pepe registra el valor más bajo sobre la CRSJ, obteniendo un valor de 6510 mm de lluvia anuales.

Con el propósito de establecer la variación modelo (o comportamiento normal) de la precipitación a través del año sobre la CRSJ, se promediaron los valores mensuales obtenidos en cada una de las 6 estaciones. Además, los valores obtenidos para cada mes del año fueron comparados con el valor medio anual, estableciendo así, una relación porcentual para la Pt sobre la CRSJ.

Tabla 4. Precipitación promedio mensual de lluvia aportada la CRMS.

Pt_Med en la CRMS													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Pt_med	622	555	572	638	707	621	638	724	679	703	659	612	7730
%	8	7,2	7,4	8,3	9,1	8	8,3	9,4	8,8	9,1	8,5	7,9	100

Fuente: CODECHOCÓ

Los resultados muestran que la CRSJ registra una Pt media anual de 7730 mm (Tabla 4). Además confirman que el comportamiento de la precipitación durante el año corresponde a un ciclo de tipo bimodal (Figura 3), influenciado principalmente por los desplazamientos latitudinales de la ZCIT y los factores climáticos propios de la zona y de la región (forma, altitud, topografía, vegetación, presencia tierra-agua (mares), no continentalidad, etc.).



Figura 3. Comportamiento de la Pt med sobre la CRSJ periodo 1971-2010. (IDEAM)

La distribución de tipo bimodal de la Pt sobre la CRSJ, se caracteriza por la ocurrencia alternada de dos temporadas muy lluviosas y dos relativamente menos lluviosas. La primera temporada lluviosa comprende los meses de abril y mayo, presentando en este último mes, su máxima intensidad, como consecuencia de la migración hacia el norte de la ZCIT. La segunda temporada lluviosa es la más intensa sobre la CRSJ y se inicia en el mes de agosto para prolongarse hasta finales de noviembre (4 meses en total); su máxima intensidad se presenta en el mes de agosto debido a que la ZCIT nuevamente hace presencia durante su viaje de regreso hacia el sur del país, propiciando la aparición de una oscilación monzónica sobre el departamento del Chocó. Las dos temporadas relativamente menos lluviosas sobre la CRSJ, tienen lugar durante los periodos de febrero-marzo y junio-julio (periodo de transición entre las dos temporada lluviosas), siendo febrero el mes con menor cantidad de lluvia durante todo el año. Estas condiciones se presentan cuando la ZCIT se encuentra en el sur del país y no ejerce condicionantes el departamento del Chocó.

Los dos periodos más lluviosos son porcentualmente en promedio por mes muy parecidos y representan en conjunto el 53,2% de la precipitación total anual. El primer periodo lluvioso del año (abril y mayo) se registra el 17,4 % de la precipitación total anual (el 8,6 % para cada mes) y el segundo (agosto a noviembre) se presenta el 35,8% de la precipitación total anual (el 8,9% para cada mes), siendo este el periodo más lluvioso del año sobre la CRSJ. Para cada uno de los meses más lluviosos del año (mayo y agosto), se registra algo más del 9% de la precipitación total anual, mientras que en cada uno de los meses menos lluvioso (febrero y marzo) solo se presenta poco más del 7%. Las cantidades de precipitación obtenidas durante las temporadas menos lluviosa (febrero y marzo) solamente representan el 14,6% de la precipitación total anual sobre la CRSJ; es decir menos de la mitad de lo que aporta la temporada más lluviosa (agosto-noviembre).

5.1.3. Temperatura del aire

La temperatura del aire media, sobre la región norte del pacífico colombiano se caracteriza por presentar pocas variaciones espaciales y temporales a través del año, mostrando valores medios muy cercanos al promedio anual (Eslava, 1994). Sin embargo, el promedio de la temperatura obtenido en la estación Condoto mostró valores histórico anual de 26,8°C (promedio anual), durante el periodo 1972-2010, ver Tabla 5. Además, revela que los valores máximos y mínimos de temperatura que se han registrado en dicho periodo, alcanzan 39°C y 17,6°C respectivamente, logrando una amplitud absoluta de 21,4°C.

Tabla 5. Valores estadísticos de Temperatura del aire, en la estación Condoto.

Código	Municipio	Corriente	Variables	V. Medio	V.Max	V.Min
54025020	CONDOTO		Tm_Max	32,7	39	30,6
			Tm_Med	26,8	30,8	24,1
			Tm_Min	20,8	22,6	17,6

Fuente: IDEAM

La temperatura del aire media, máxima y mínima, muestra un comportamiento muy homogéneo (poca variación), a lo largo de todo el año, ver Tabla 5, mostrando durante el mes de febrero el valor más bajo en las tres variables (Figura 4).

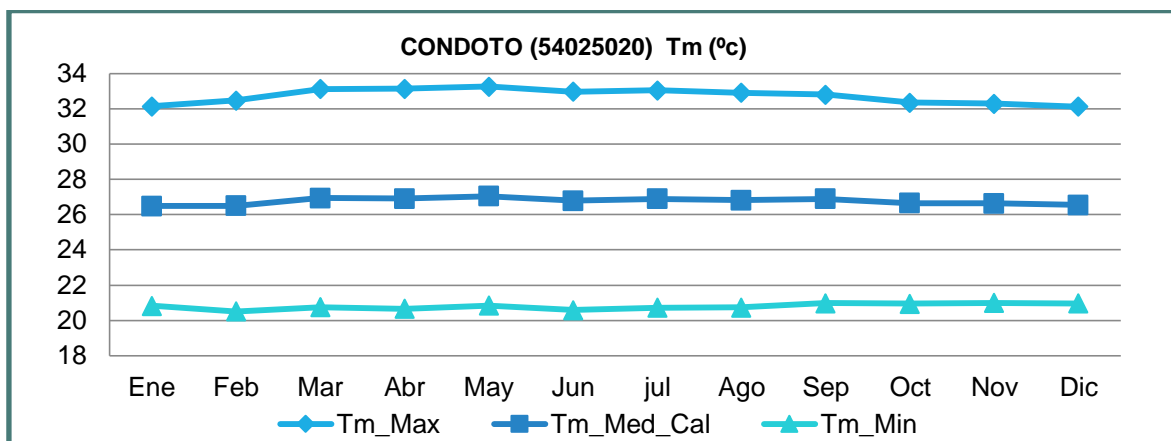


Figura 4. Temperatura promedio de la estación Condoto. Periodo 1972-2010. (IDEAM)

La Tabla 6, también muestra que el mes de mayo se registra los mayores valores de temperatura media (27°C) y máxima (33°C) sobre la CRSJ. El promedio anual de la temperatura máxima es de 32,2°C, mientras que de la temperatura mínima es de 20,8°C.

Tabla 6. Temperatura media sobre la CRSJ (estación Condoto).

Código	54025020	54025020	54025020
Latitud (°)	5.06	5.06	5.06
Longitud (°)	76.39	76.39	76.39
altura (m)	66	66	66
Municipio	CONDOTO		
Corriente			
Variables	Tm. Max	Tm Med.	Tm Min
Enero	32,1	26,5	20,8
Febrero	32,5	26,5	20,5
Marzo	33,1	26,9	20,7
Abril	33,1	26,9	20,7
Mayo	33,3	27	20,8
Junio	33	26,8	20,6
Julio	33	26,9	20,7
Agosto	32,9	26,8	20,7
Septiembre	32,8	26,9	21
Octubre	32,3	26,6	20,9
Noviembre	32,3	26,6	21
Diciembre	32,1	26,5	21
Anual	32,7	26,8	20,8

Fuente: IDEAM

5.1.4. Brillo Solar

La estación de Condoto muestra la cantidad de horas sol o brillo solar (Bs) que se registraron sobre la CRSJ, para todos los meses del año durante el periodo de estudio, ver Tabla 7. Se observó que los meses de febrero (66,4 h) y julio (107,1 h) registraron en promedio el valor más bajo y más alto a través del año, respectivamente.

Tabla 7. Valores de Brillo solar estación Condoto.

Estaciones Código	54025020
Municipio	CONDOTO
Corriente	
Variables	BS (Hs)
Enero	78,3
Febrero	66,4
Marzo	70,2
Abril	68,7
Mayo	93,6
Junio	88,6
Julio	107,1
Agosto	99,8
Septiembre	89,4
Octubre	86,8
Noviembre	82,9
Diciembre	76,8
Anual	84

Fuente: IDEAM

El promedio anual del brillo solar es de 84 h, alcanzando un acumulado de 1008,6 h en el año. El valor máximo absoluto registrado en un mes es de 199,6 h y el mínimo valor absoluto que se encontró para un mes determinado fue de 14,1 h.

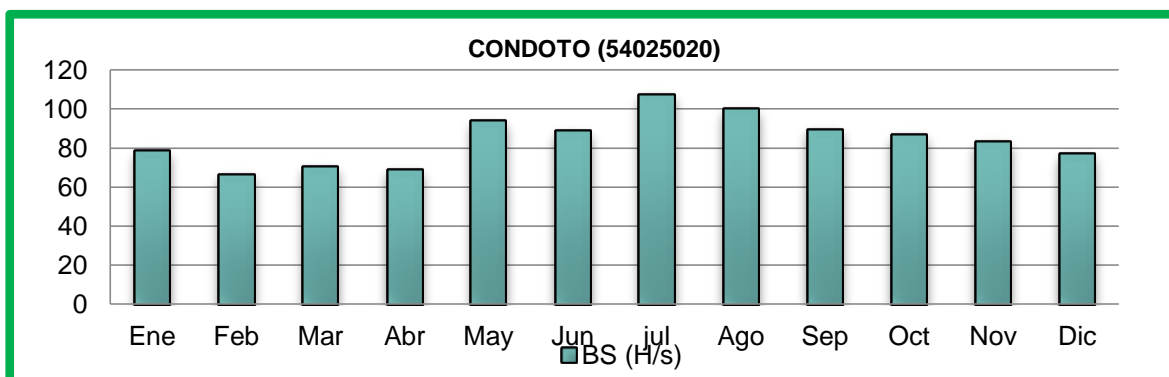


Figura 5. Brillo Solar sobre la CRSJ, periodo 1972-2010. (IDEAM)

Por otra parte, la Figura 5, muestra que durante la temporada de febrero- abril se obtienen los menores valores de brillo solar ($B_s < 80$ h), para luego aumentar y

sostener valores superiores a las 80 h, a partir del mes de mayo, hasta el mes de noviembre.

5.1.5. Comportamiento hídrico (caudal)

Las estaciones de Condoto (Bocas de Iró) y San Juan (Medio San Juan) presentan los valores (medios, máximos y mínimos) del caudal sobre la parte alta y media de la CRSJ (Tabla 8). De forma coherente con las características físicas-geográficas de la CRSJ, la estación de Condoto (parte alta) registra valores menores en comparación con la estación de medio San Juan. La estación de Condoto presenta valores anuales de 7775 m³/s, 4207 m³/s y 638 m³/s, correspondientes a los caudales máximos, medios y mínimos sobre la parte alta de la CRSJ, respectivamente. Mientras que la estación de medio San Juan obtiene valores anuales para los caudales máximos, medios y mínimos de 27355 m³/s, 11928 m³/s y 6552 m³/s, respetivamente ver Tabla 8. Estos valores indican un aumento del 35% (Qmax), 28% (Qmed) y 10% (Qmin), comparados con los caudales registrados en la parte alta de la cuenca.

Tabla 8. Caudal medio, en la parte alta y media de la CRSJ.

Código Estación	54027020			54027030		
Latitud (°)	5.06 °			4.52 °		
Longitud (°)	76.40 °			76.51 °		
Elevación (m)	90 m			45 m		
Municipio	CONDOTO (Alta)			MEDIO SAN JUAN (Media)		
Corriente hídrica	BOCAS DE IRO			SAN JUAN		
Variable	Q_Max (m3/s)	Q_Med (m3/s)	Q_Min (m3/s)	Q_Med (m3/s)	Q_Max (m3/s)	Q_Min (m3/s)
Enero	573	308	44	909	2170	519
Febrero	623	333	44	884	2223	499
Marzo	582	312	42	822	2147	407
Abril	734	393	51	944	2297	474
Mayo	661	361	61	1044	2377	599
Junio	622	338	55	942	2133	529
Julio	571	309	47	875	1955	483
Agosto	641	345	50	911	2126	494
Septiembre	663	361	59	1020	2316	557
Octubre	714	390	67	1200	2575	655
Noviembre	728	396	63	1280	2565	712
Diciembre	664	359	55	1098	2473	624
Anual	7775	4207	638	11928	27355	6552

Fuente: IDEAM

El valor máximo absoluto de caudal registrado sobre la cuenca fue de 3628 m³/s, ocurrido en enero de 1990, logrando un nivel de 704 cm (parte media de la cuenca).

Por otro lado, el caudal (máximo, medio y mínimo) tanto en la zona alta como en la zona media de la CRSJ, muestran un comportamiento de tipo bimodal a través del año, registrando dos periodos con altos (máximos) valores de caudal y dos periodos donde se obtiene una notable disminución (mínimos) del caudal. El primer periodo con valores máximos de caudal se presenta durante los meses de abril a mayo, registrando valores medios que superan los 350 m³/s (650 m³/s en los caudales máximos) en la parte alta y los 943 m³/s (2200 m³/s caudales máximos) en la zona media de la CRSJ. El segundo periodo con valores máximo de caudal se presenta durante los meses de agosto a diciembre (5 meses), siendo el más largo (duración) e intenso (cantidad de caudal) de los dos. Este periodo muestra valores medios que pueden estar por arriba de los 390 m³/s (713 m³/s caudales máximos) en la parte alta y los 1200 m³/s (2560 m³/s caudales máximos) en la parte media de la CRSJ, durante los meses de octubre y noviembre. La gran cantidad de agua que se presenta en esta época del año se debe a la acumulación de las precipitaciones durante todo el año que se registran sobre la CRSJ (en especial a la ocurrencia de la segunda temporada lluviosa).

Respecto a las temporadas del año que muestran los menores valores de caudal, la primera ocurre durante los meses de enero a marzo y la segunda para los meses de junio a julio, ambos periodos registrando valores medios que no superan los 340 m³/s (623 m³/s caudales máximos) en la parte alta y los 910 m³/s (2223 m³/s caudales máximos) en la parte media de la cuenca. También, se observa que la primera temporada de máximos caudales (abril – mayo), coincide con la primera temporada de lluvioso que ocurre sobre la cuenca, mientras que el segundo periodo con valores máximos de caudal durante su pico más alto (octubre-noviembre), se presenta un mes después de la ocurrencia del mes más lluvioso en cantidad (Agosto, segundo periodo lluvioso) sobre la CRSJ. Por otro lado, las dos temporadas del año con valores mínimos de caudal coinciden con las dos épocas de menor precipitación que se registran sobre el área de estudio.

5.1.6. Clasificación climática

Con el objetivo de identificar los tipos de climas que se pueden encontrar sobre la CRSJ, se realizó la clasificación climática empleando las metodologías propuestas por De Martonne, Caldas Lang, C.W. Thornthwaite y W. Köppen (Todorov, OMM, 1985). Estas metodologías fueron aplicadas a cada una de las estaciones que presentaron datos de precipitación media sobre el área de estudio (Tabla 4, sección Precipitación). Además, para aplicar alguno de estos métodos fue necesario calcular la temperatura media mensual para cada una de las estaciones, debido a la falta de información sobre temperatura del aire. Lo anterior se efectuó, mediante el uso de modelos de regresión.

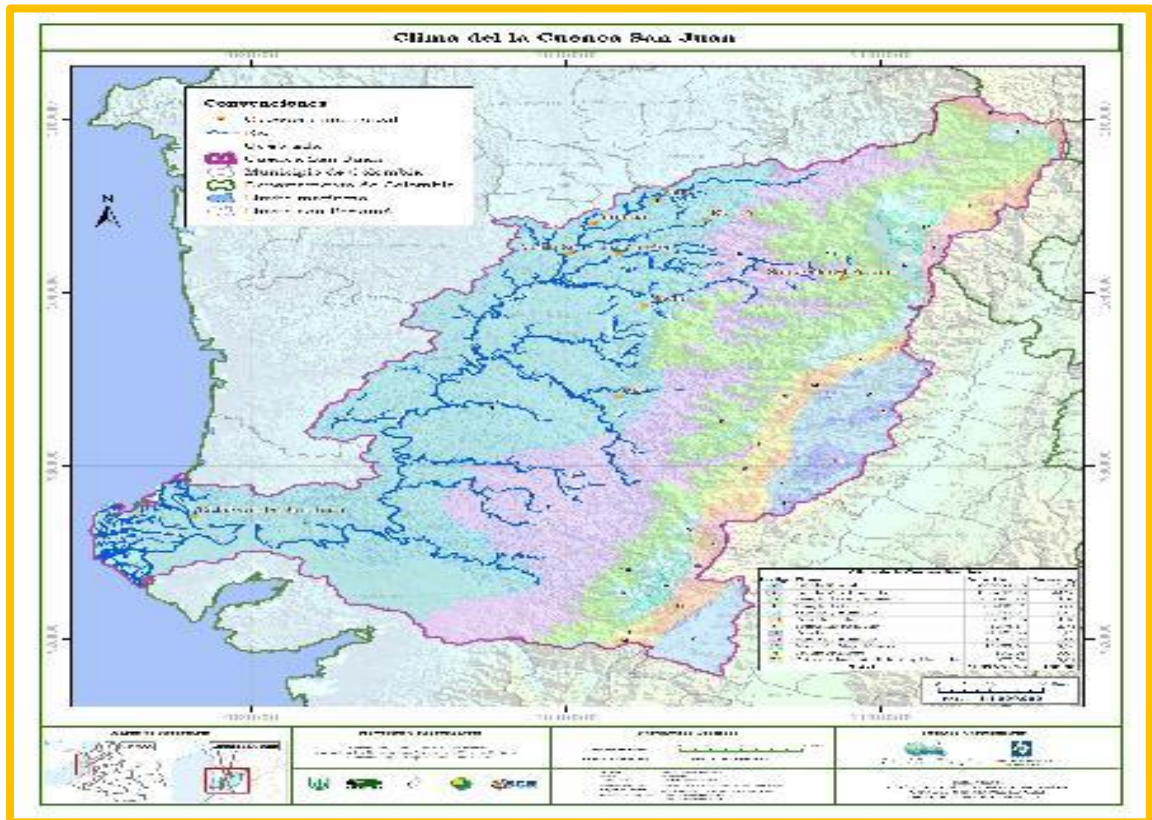


Figura 6: Clasificación climatológica de la cuenca del río San Juan. (IDEAM)

Los resultados revelan que a pesar de que cada una de las estaciones empleadas para la clasificación climática obtiene valores distintos en los índices calculados, todas las áreas dentro de la CRSJ, representadas por cada estación, obtienen la misma clasificación, en la Tabla 9, se muestran los índices de clarificación climática bajo la metodología de De Martonne, Caldas Lang, C.W. Thomthwaite y W. Köppen.

Tabla 9. Índices de Clasificación Climática.

METODO		DE MARTONNE (IM)		CALDAS LANG (P/T)		
Código	Estaciones	IM	Clave	Piso Térmico	Grado de humedad	
54010010	ISTMINA	193,9	A	C	279	SH
55010020	PEPE	166,3	A	C	243	SH
54025020	CONDOTO	180,9	A	C	266	SH
54020060	OPOGODO	201,3	A	C	298	SH
54020080	BEBEDO	206,1	A	C	314	SH
54020020	TAMANA	217,8	A	C	332	SH
TOTAL		194,4	A	C	289	SH
METODO		C.W. THORNTHWAITE				
Código	Estaciones	lh	la	Fh	Ep	CE
54010010	ISTMINA	402	0	402	1488	8,7
55010020	PEPE	329,6	0	329,6	1515	
54025020	CONDOTO	332,2	0	332,2	1648	8,6
54020060	OPOGODO	430,4	0	430,4	1504	8,7
54020080	BEBEDO	452,5	0	452,5	1521	
54020020	TAMANA	489,9	0	489,9	1508	
TOTAL		406,1	0	406,1	1530,8	8,7
		w'2	r	A	A'	a'
METODO		SEGÚN W. KÖEPPEN				
Todas las Estaciones		Afi				

Fuente: CODECHOCÓ

En la Tabla 10, se resumen los resultados obtenidos de la clasificación climática sobre la cuenca del río San Juan.

Tabla 10. Clasificación climática de la CRSJ.

Métodos	Siglas	CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA
DE MARTONNE (IM)	A	CLIMA HÚMEDO LLUVIOSO, SIN DIFERENCIAS ESTACIONALES, TODO EL AÑO.
CALDAS-LANG	CSH	CLIMA CÁLIDO SÚPER HÚMEDO
THORNTHWAITE	Arw'2A'a'	CLIMA SÚPER HÚMEDO MEGA-TERMAL CON SUPERÁVIT GRANDE DE AGUA EN INVIERNO Y CON DEFICIENCIA DE AGUA POCA O NADA.
SEGÚN W. KÖEPPEN	Afi	CLIMA TROPICAL LLUVIOSO DE SELVA DONDE LLUEVE TODO EL AÑO.

Fuente: CODECHOCÓ

5.1.7. Balance hídrico

Al igual que en el apartado anterior, en esta sección se calculó la precipitación y la temperatura media mensual en seis estaciones (Istmina, Pepé, Condoto, Novita, Bebedó, Tanamá) todas sobre la CRSJ. También, se estimó, la evapotranspiración (real y potencial) a través del método de Thornthwaite y se determinó el balance hídrico en esta zona.

Tabla 11. Balance Hídrico (mm) de seis estaciones del San Juan.

ISTMINA (54010010)													
Var.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Evp_Pot.	123	129	129	130	128	126	125	123	121	119	118	119	1488
Pt (mm)	578	578	583	644	683	624	626	732	630	648	582	562	7470
Almacenamier	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Déficit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exceso	455	449	454	514	556	498	501	609	508	530	464	443	5982
Evp_Rel.	123	129	129	130	128	126	125	123	121	119	118	119	1488
PEPE (55010020)													
Var.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Evp_Pot.	125	131	131	132	130	128	127	125	124	121	120	121	1515
Pt (mm)	553	473	489	503	559	558	611	596	549	540	560	518	6510
Almacenamier	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Déficit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exceso	428	342	358	371	429	430	484	471	425	420	440	396	4995
Evp_Rel.	125	131	131	132	130	128	127	125	124	121	120	121	1515
CONDOTO (54025020)													
Var.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Evp_Pot.	132	132	141	140	143	138	140	139	140	135	135	133	1648
Pt (mm)	595	535	517	588	681	572	571	671	643	645	541	564	7123
Almacenamier	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Déficit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exceso	463	403	376	448	538	434	431	532	503	510	406	431	5475
Evp_Rel.	132	132	141	140	143	138	140	139	140	135	135	133	1648
CONDOTO-OPOGODO (54020060)													
Var.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Evp_Pot.	124	130	130	131	129	127	126	124	123	120	119	121	1504
Pt (mm)	648	564	583	707	793	625	637	750	682	723	655	611	7979
Almacenamier	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Déficit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exceso	524	434	453	576	664	497	511	625	559	604	536	491	6474
Evp_Rel.	124	130	130	131	129	127	126	124	123	120	119	121	1504
MEDIO SAN JUAN BEBEDO (54020080)													
Var.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Evp_Pot.	125	132	132	133	131	129	127	125	124	121	121	122	1521
Pt (mm)	674	558	602	663	709	699	791	819	750	726	707	708	8406
Almacenamier	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Déficit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exceso	549	427	470	530	579	570	663	694	626	605	587	586	6885
Evp_Rel.	125	132	132	133	131	129	127	125	124	121	121	122	1521
NOVITA TANAMA (54020020)													
Var.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Evp_Pot.	124	130	131	131	129	128	126	124	123	120	120	121	1508
Pt (mm)	685	619	657	724	818	648	595	774	821	934	910	711	8895
Almacenamier	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Déficit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exceso	561	488	526	592	688	520	469	650	698	814	790	590	7387
Evp_Rel.	124	130	131	131	129	128	126	124	123	120	120	121	1508

Fuente: CODECHOCÓ

Los resultados del Balance hídrico para cada una de las estaciones, ver Tabla 11, revelan que sobre la CRSJ, se presenta durante todo el año un exceso de agua, logrando un almacenamiento del 100% durante todos los meses. Esto indica que no existe déficit de agua, aun durante los meses que presentan las temporadas menos lluviosas (mínimos caudales). Efectivamente, la evapotranspiración mensual sobre la CRSJ, no logra ser mayor que la Pt media mensual en todas las estaciones. Además se evidencia que tanto la evapotranspiración como los excesos que se presentan en las estaciones pueden variar de un lugar a otro y presentan un comportamiento determinado (o conducido) por las variaciones establecidas en la precipitación media mensual de cada estación.

5.1.8. Sequías meteorológicas

A pesar de que el balance hídrico calculado sobre la CRSJ, demuestra que no existe déficit de agua a lo largo del año, no quiere decir que se puedan presentar épocas en las cuales ocurran sequías meteorológica (disminución significativa de la precipitación durante un prolongado periodo de tiempo) en el área de estudio.

Con el fin de caracterizar las sequias meteorológica, se utilizó el índice de precipitación estandarizado (SPI) y el índice de porcentaje de precipitación normal (IPPN). Esto índices, también permiten caracterizar los eventos con aumentos importantes de precipitación que podrían estar ligados con la ocurrencia de inundaciones sobre la CRSJ.

La Tabla 12 y la Tabla 13, muestran las distintas categorías de sequías establecidas para los índices SPI y IPPN respectivamente, aplicados en este estudio.

Tabla 12. Categorías de sequías según el índice SPI.

SEQUÍA	SPI
Categoría	Rango de valor
Condición normal seca	0 a -0.5
Condición anormal seca	-.0.5 a -0.7
Moderada	-.0.8 a -1.2
Severa	-.1.3 a -1.5
Extrema	-.1.6 a -1.9
Excepcional	< -2.0

Fuente: CODECHOCÓ

Tabla 13. Categorías de sequías según del índice PPN.

SEQUIÁ	IPPN
Categoría	Rango de valor (%)
Ligera	.-20% a -30%
Moderada	.-30.1% a -40%
Fuerte	.-40.1% a -49%
Aguda	.-49.1% a -59%
Intensa	.-59% <

Fuente: CODECHOCÓ

En primer lugar, para estudiar el comportamiento intra-anual de las sequias sobre la CRSJ se calculó el índice de precipitación estandarizado (SPI), para los periodos de 1, 3 y 6 meses. Por otro lado, al aplicar el índice de porcentaje de precipitación normal (IPPN), se logró determinar el comportamiento inter-anual de las sequias sobre el área de estudio, identificando aquellos años en donde la CRSJ, estuvo influenciada por importantes eventos de sequias.

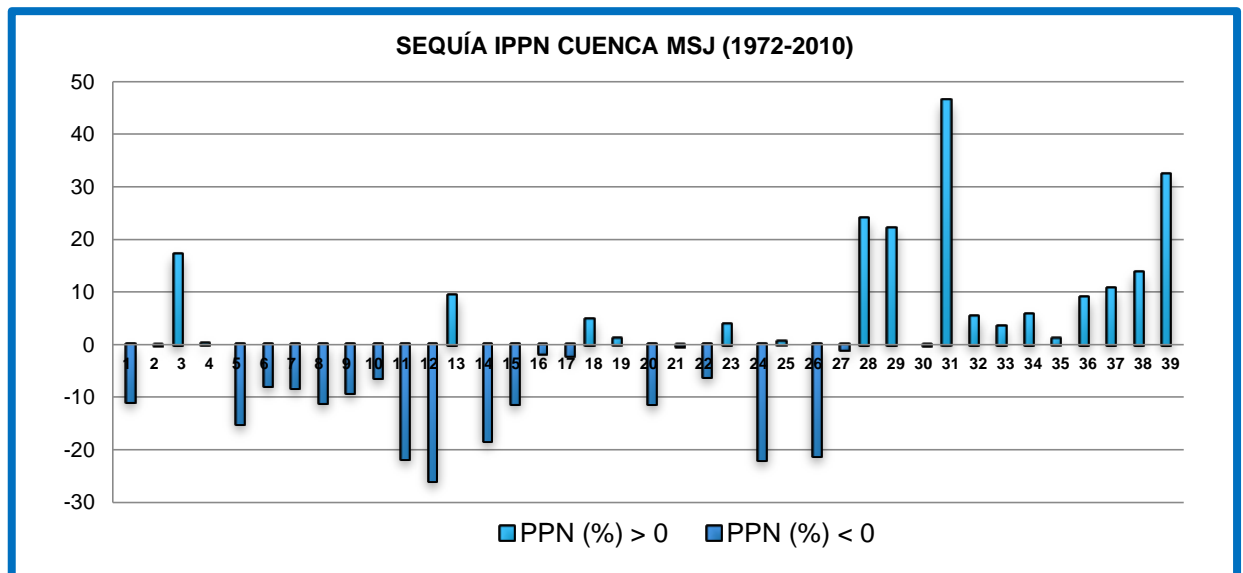


Figura 7. Índice de sequía PPN sobre la CRSJ, durante el periodo 1972-2010 (IDEAM)

La figura 7 revela el comportamiento inter-anual del índice de sequía PPN sobre la CRSJ, la cual, presento eventos de sequias ligeras durante los años 1982-1983, 1995, 1997, obteniendo disminución de la precipitación anual superiores al 20%.

Finalmente ambos índices muestran que a partir del año 1998, sobre la CRSJ, existe un predominio de los valores positivos en los índices, indicando condiciones con

aumentos (excesos) de precipitación sobre la cuenca, lo cual podría estar propiciando la ocurrencia de prolongados y fuertes eventos de inundación.

5.2. ASPECTO BIÓTICO

Se circunscribe principalmente a una rápida definición de la fauna y flora del área de estudio.

5.2.1. Flora

Esta región presenta una vegetación abundante donde predominan los bosques de aluviones y coluviones antiguos. Bosques con tendencias a la heterogeneidad en especie, que crecen en zonas planas con buen drenaje y con influencia aluvial antigua; está en terrazas disecadas con pendientes leves a fuertes.

De composición florística con variación en tamaño y altura de los árboles; bosques de colinas con relieves fuertes, con pendientes mayores del 50% que crecen en suelos superficiales, presentan discontinuidad en la cimas y con una composición y conformación del bosque similar al anterior. Los bosques se encuentran altamente intervenidos antrópicamente, al punto que la presión que se ha hecho durante varios lustros sobre ellos solamente permite el desarrollo de bosques secundarios. A pesar de que se dice que uno de los ecosistemas de mayor biodiversidad botánica es el bosque pluvial del pacífico, en esta zona muchas de las especies de las plantas endémicas se encuentran seriamente amenazadas, debido a su rápida destrucción.

5.2.2. Fauna

La riqueza de la fauna es innumerable, las selvas dan abrigo a multitud de animales raros y curiosos, que en su gran mayoría pueden ser aprovechados unos por su carne y otros por sus pieles. En cuanto a los recursos ictiológicos son escasos, representados especialmente por especies como: Sabaleta, Sábalo, Nicuro, Mojarras y Barbudos. Se estima que en las fuentes hídricas existe gran cantidad de metales pesados sedimentados.

Esta acumulación excesiva de mercurio ha sido atribuida a la incidencia de los procesos de explotación minera ilegal. Lo grave de ello, son, los valores que arroja el estudio acerca de la contaminación mercurial en la población expuesta de manera directa (explotación y comercialización), que sobrepasan los límites establecidos por las normas internacionales (CODECHOCO, 1998).

Por otra parte la acumulación excesiva de mercurio ha sido atribuida al consumo de peces, aves y diferentes formas de vida relacionadas con la presencia de mercurio en el ambiente, principalmente por la incidencia de los procesos de explotación minera. La fauna está íntimamente ligada a la vegetación y esta se encuentra en

proceso de destrucción, los hábitat de la fauna están en crisis y tienen una alta presión; es importante resaltar, igualmente, la falta de un conocimiento minucioso de la fauna terrestre, que impide que objetivamente se cuente en la actualidad con listados que adviertan sobre el peligro en que se encuentran muchas de las especies de mamíferos, aves, reptiles y anfibios de la zona. (E.O.T Istmina, 2005)

5.3. ASPECTO ECONÓMICO

La principal actividad económica en esta región es la mediana minería, la cual se ha venido desarrollando de forma ilegal en la mayoría de los casos. La explotación de los metales preciosos se realiza en el cauce de los ríos o en sus zonas de inundación, haciendo uso de retroexcavadoras. De acuerdo a informes entregados por la autoridad ambiental, ninguna de estas explotaciones cuentan con estudios geológicos que permitan inferir sobre la conformación estratifica de las planicies aluviales de las minerales del San Juan.

Otro sistema productivo es la extracción forestal de clima cálido, la cual es una actividad de mucha importancia económica en la zona, Se caracteriza por un aprovechamiento mecanizado, con utilización de motosierras. La comercialización se lleva a cabo a nivel local y regional y el epicentro comercial es la ciudad de Buenaventura. La madera se transforma inicialmente en los aserríos más cercanos al sitio de extracción antes de ser transportada y comercializada en el antes mencionado puerto.

Otra actividad productiva que se realiza en menor escala en esta región es la agricultura, los cultivos más representativos de esta agricultura son plátano, yuca, caña, arroz, banano, papa china, borjón, chontaduro, cacao y cítricos, y esporádicamente de zapote. Esta actividad de autoconsumo por lo general se realiza por mano de obra familiar pertenecientes a la población afrocolombiana y mestiza.

5.4. HIDROGRAFÍA

La cuenca del río San Juan (CRSJ) tiene una superficie aproximada de 15.000 kilómetros cuadrados. Está enmarcada por la Cordillera Occidental y las colinas del Litoral Pacífico. El río San Juan, nace en el cerro de Caramanta, en el departamento de Risaralda, a 2.600 m.s.n.m; ésta cuenca es una de las más caudalosas de los tributarios de la vertiente del pacifico, debido a los numerosos afluentes que recibe y a la abundante precipitación pluvial, es navegable desde el municipio de Tadó hasta su desembocadura, en aproximadamente 200 km.

Por otro lado el caudal medio en la parte media de la cuenca alcanza un valor de 11928 m³/s anuales, mientras que los valores máximo y mínimo anual son de 27355 m³/s y 6552 m³/s respectivamente. En esta zona, los meses de octubre (1200 m³/s)

y noviembre (1279 m³/s) obtienen los mayores valores de caudal, como consecuencia de las precipitaciones acumuladas durante los meses anteriores.

Además la CRSJ, presenta un exceso de agua durante todos los meses del año, permitiendo siempre tener un almacenamiento de 100%, lo que indica déficit de agua nulo (escases = 0) y una alta disponibilidad del recurso hídrico. Sin embargo, se lograron identificar varios eventos de sequias meteorológicas que ocurrieron sobre la cuenca en distintas escalas de tiempo (1, 3, 6 y 12 meses), ver estudio climatológico.

5.4.1. Ubicación de la cuenca el Río San Juan

La cuenca del Río San Juan es la más importante vertiente del Pacífico colombiano, cuenta con una superficie de 15.800 km², (15.858,12 km², calculados con un software ArcGIS, y teniendo como base la cartografía del IGAC a escala 1:100.000 en el sistema de coordenadas planas del sistema Magna SIRGAS).

Esta cuenca, se encuentra ubicada entre la cordillera occidental y las colinas bajas del litoral pacífico. Está separada de la del río Atrato en la parte norte, por una cadena de colinas que alcanzan elevaciones de alrededor de 100 msnm. La cuenca del río San Juan, representa el 33,06% del área total del Departamento del Chocó (15.858,12 km²/47.969,41 km²), representa además aproximadamente, el 24,47% del área de la macro-cuenca del pacífico Colombiano.

Nace en zona alta del municipio de Mistrató en el departamento de Risaralda, en el Cerro de Caramanta, en la cordillera occidental de los Andes Colombianos. Sus aguas corren en dirección sur-occidente atravesando el departamento del Chocó y desembocando en el mar Pacífico, en el Municipio del Litoral del San Juan, a través de un delta de unos 300 km², denominado “Siete Bocas” y que está situado a unos 60 km al nor-oeste del puerto de Buenaventura e incluye numerosas islas rodeadas de manglares.(IIAP, 2013)

La cuenca del Río San Juan, geográficamente se encuentra distribuida en los departamentos de Risaralda, Chocó y Valle del Cauca, en las áreas y porcentajes mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 14. Distribución Político Administrativa Departamental de la Cuenca del Río San Juan

Ítem	Nombre Departamento	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
1	Chocó	11576,89	73,05
2	Valle del Cauca	3180,58	20,07
3	Risaralda	1091,38	6,89
	Total	15848,85	100

Fuente: Cartografía IIAP, recalculado Corporación AfroSIG

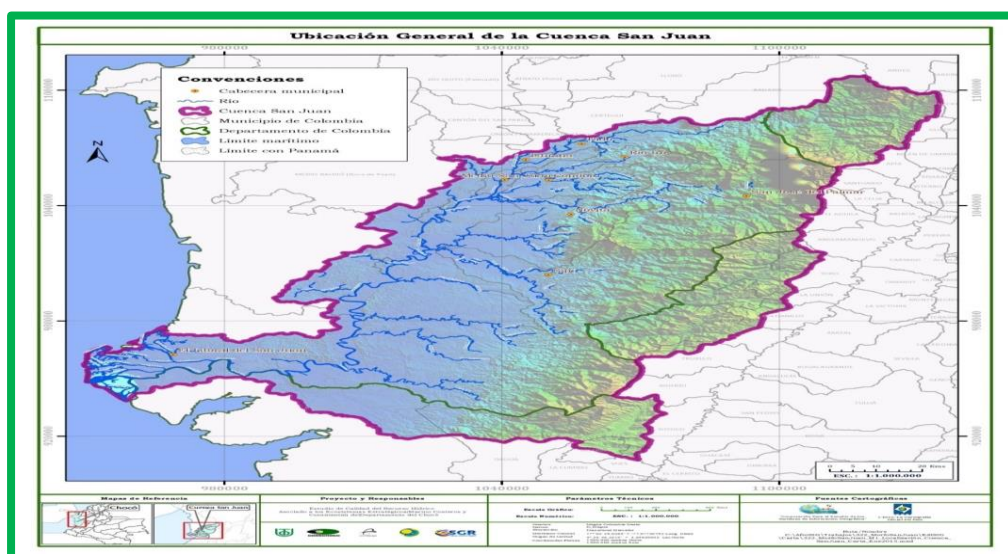


Figura 8. Localización de la cuenca del río San Juan (CODECHOCÓ)

Los afluentes principales y de mayor caudal los recibe por la banda derecha, lo cual se explica por la anchura del valle por este lado y al fondo la cordillera occidental, la cual da origen a grandes vertientes; en cambio en la banda izquierda la vecindad de la serranía del Baudó no le permite el tributo, sino de cortos y pequeños ríos. (Martínez, 2010).

La sub-cuenca del río Condoto, tiene como área de influencia los municipios de Condoto, río Iró principalmente e Istmina y Medio San Juan en menor área; esta sub-cuenca presenta el 4,07% de la cuenca del Río San Juan. Sus principales Afluentes son los ríos Iró, Apotó, Tajuato, Andrápera y quebradas como Opogodó, Piedra-Piedra, Guineíto, Guineo, La Honda, Pacurundó, Curubú, El Rancho, Aguacate, Oro Viricha, Guacuco y Munguá. (IIAP, 2013)

La sub-cuenca del río Tamaná, tiene como área de influencia los municipios de Condoto, Medio San Juan, Nóvita y San José del Palmar, en el departamento del Chocó, su nacimiento está ubicado en la zona alta del municipio de San José del

Palmar, en área del Parque Nacional Natural del Tamaná. Tiene como afluentes principales los ríos Pogodó, Aguas Claras, Sesego, Igará y Urabará entre otros. Se incluyó en esta sub-cuenca las aguas y afluentes de la Quebrada Bebedó, que drena directamente al río San Juan. (IIAP, 2013)

La sub-cuenca del río Sipí, tiene como área de influencia los municipios de El Cairo, Argelia, Versailles, El Dóvio, Roldanillo, Bolívar, Trujillo y la Unión en el departamento del Valle del Cauca y los municipios de Sipí, Nóvita y Medio San Juan en el departamento del Chocó. Tiene como afluentes principales los ríos Garrapatas, Ordó, Cajón Tapará y Negro y algunas quebradas como Soroviatá, Táparo, Golondrinas, Grande, El Dóvio, Sabaleta y San Cristóbal entre otras. (IIAP, 2013)

5.5. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN

En atención al estudio de los parámetros morfométricos de las cuencas se pueden definir variables específicas tales como: la pendiente media de la cuenca, el área de drenaje, los parámetros de forma y compacidad, entre otros; que permiten entender los fenómenos que ocurren en diferentes áreas de las ciencias naturales y ambientales.

Estudios como este, que se encuentran asociados a ecosistemas estratégicos, hacen uso de estos parámetros, ya que ayudan a caracterizar el comportamiento de las variables de la cuenca y definirla físicamente; de allí la importancia de dichos parámetros frente a los procesos que se desarrollan.

5.5.1. Área

El área de la Cuenca del río San Juan es de 1.585.812,71 ha, es decir 15.858,12 km², por su gran extensión se clasifica como Cuenca (Ver Tabla 15)

Tabla 15. Clasificación de Cuencas según el departamento de agricultura de los Estados Unidos, - USDA, por sus siglas en Inglés.

Descripción	Valor
Unidad	< 5 Km ²
Sector	5 – 20 Km ²
Microcuencas	20- 100 Km ²
Sub-cuenca	100 – 300 Km ²
Cuenca	> 300 Km ²

Fuente: Manual de Cuencas Hidrográficas

5.5.2. Perímetro

La línea que envuelve el área del sector mide aproximadamente 886,45 km.

5.5.3. Longitud axial

La distancia que existe entre la desembocadura y el punto más lejano de la Unidad es de 237 km.

5.5.4. Ancho promedio

La relación entre el área y la longitud axial del sector es de:

$$\text{Ancho.promedio} = \frac{\text{Area}}{\text{Longitud.Axial}} = \frac{15858,1 \text{ km}^2}{237 \text{ km}} = 66,911 \text{ km}$$

5.5.5. Forma de la Cuenca

5.5.5.1. Factor de forma

Relación entre ancho promedio y la longitud axial del sector

$$Ff = \frac{\text{Ancho.promedio}}{\text{Longitud.Axial}} = \frac{66,911 \text{ km}}{237 \text{ km}} = 0,2823$$

Según (Henaó 1999), corresponde a la clasificación de casi redonda a oval - redonda, ver Tabla 16

Tabla 16. Clasificación del parámetro de forma según Henaó 1999.

Clase de forma	Rango de clase	Forma de la cuenca
Clase Kc1	De 1 a 1,25	Casi redonda a oval-redonda
Clase Kc2	De 1,25 a 1,50	Oval Redonda a Oval-Oblonga
Clase Kc3	De 1,50 a 1,75	Oval-Oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Manual de Cuencas Hidrográficas

5.5.6. Coeficiente de Compacidad

La relación entre el perímetro del sector y el perímetro de un círculo de igual área que la del sector; es:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}} = \frac{886,45 \text{ km}}{2\sqrt{3.1416 * 15858,1 \text{ km}^2}} = 1,19057$$

Dónde:

Tabla 17. Significado de variables

Kc	:	Coficiente de compacidad
P	:	Perímetro de la cuenca
π	:	31.416
A	:	Área de la cuenca

Fuente: CODECHOCÓ

5.5.7. Índice de alargamiento

La relación entre la longitud más grande del sector con el ancho mayor, medido perpendicularmente a la dirección anterior

$$Ia = \frac{L}{l} = \frac{237 \text{ km}}{93 \text{ km}} = 2,54$$

Dónde:

- Ia* : Índice de Alargamiento
- L* : Longitud máxima de la cuenca
- l* : Ancho máximo (tomado perpendicularmente a la dirección anterior)

5.5.8. Índice de homogeneidad

Relación entre el área del sector, con la de un rectángulo que tiene por eje mayor la longitud máxima de la cuenca y por eje menor el ancho máximo del sector.

$$Ih = \frac{S}{Sz} = \frac{15858,1 \text{ km}^2}{38859,1 \text{ km}^2} = 0,408092391$$

Dónde:

- Ih* : Índice de homogeneidad

- S : Área de la cuenca
- Sz : Superficie del rectángulo, con dimensiones

5.5.9. Índice Asimétrico

La relación de la superficie entre la vertiente más extensas y la menos extensa es de 1.06003, ver figura 9

$$Ad = \frac{Av \max}{Av \min} = \frac{13410,58 \text{ km}^2}{2447,52 \text{ km}^2} = 5,479$$

Dónde:

Ad: índice asimétrico

Av Max: área vertiente mayor

Av Min: área vertiente menor

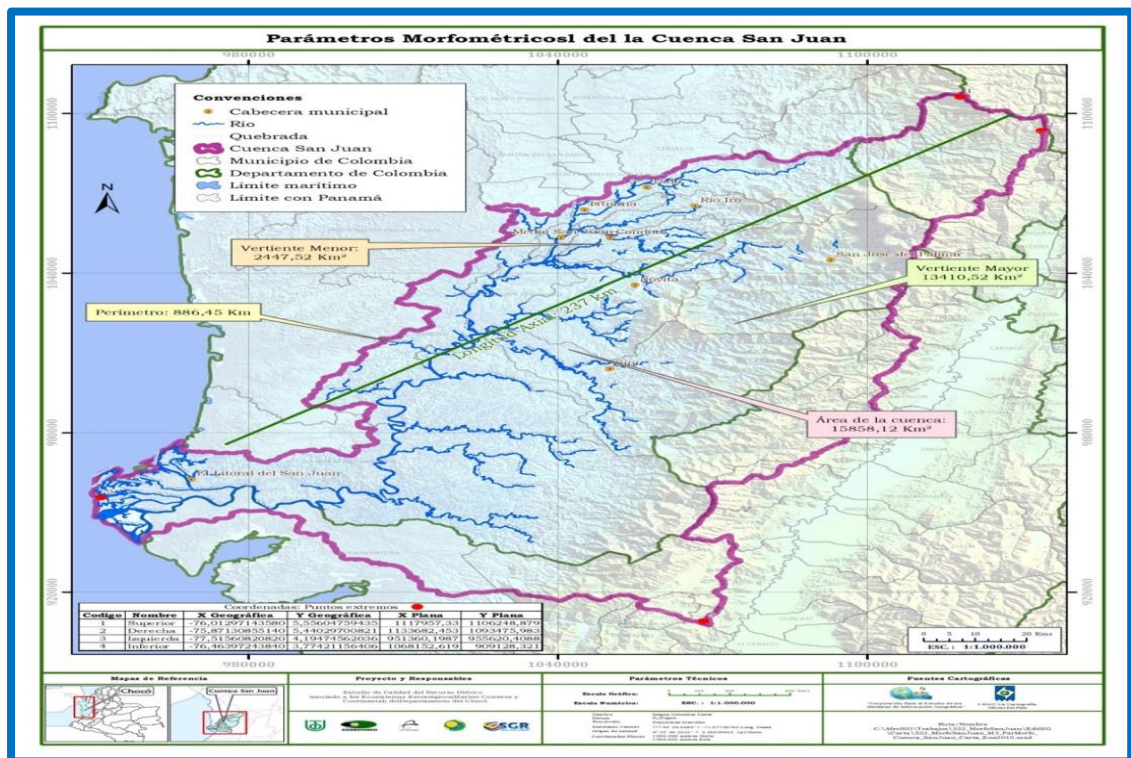


Figura 9. Parámetros morfométricos (CODECHOCÓ)

5.5.10. Profundidad de la cuenca

Elevaciones o altitudes de la cuenca.

Es uno de los parámetros físicos que facilita el análisis del movimiento del agua en una cuenca, en el estudio de distribución de elevación. Para su estimación se determinó con la ayuda del SIG, el área entre cada curva de nivel. En la Tabla 19 se muestran los valores mínimos y máximos de las curvas de nivel, el área entre curvas, la elevación media y la estimación de la elevación mediante la siguiente fórmula.

$$E = \frac{\sum(a * e)}{A} = \frac{1901,08ha * m}{26,81ha} = 70,91m$$

Dónde:

- E : Elevación Media
- Σ : Sumatoria
- a : Área entre un par de curvas de nivel dado
- e : Altitud media (Rango entre las curvas de nivel)
- A : Área de la cuenca

5.5.11. Pendiente Media.

Aplicando la fórmula de:

$$Pm = \frac{D * I}{S} = \frac{12,10Km * 0,005km}{0,27km^2} = 0,2240 = 22,4\%$$

Dónde:

- Pm : Pendiente Media
- I : Distancia Vertical entre las curvas de nivel
- S : Área de la Unidad
- D : Longitud total de las curvas de nivel

Según la Tabla 18 la unidad presenta un relieve clasificado como “fuerte” por encontrarse en el rango de pendientes de 20 a 35 %.

Tabla 18. Clasificación adoptada para le estimación de la pendiente media.

Pendientes Medias %	Relieve
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Mediano
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuerte
35 - 50	Muy fuerte
50 - 75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: IGAC

Tabla 19. Curva hipsométrica.

Superior	Rango	Intermedio	Área Km ²	Área (Ha)	Acumulada	Acumulada %	% Área Curvas
300	0-300	150	8331	833130,43	1585811,92	100	52,54
600	300-600	450	1299	129938,2	752681,49	47,46	8,19
900	600-900	750	1061	106056,61	622743,29	39,27	6,69
1200	900-1200	1050	1113	111297,37	516686,68	32,58	7,02
1500	1200-1500	1350	1108	110844,13	405389,31	25,56	6,99
1800	1500-1800	1650	1242	124189,39	294545,18	18,57	7,83
2100	1800-2100	1950	769	76877,95	170355,79	10,74	4,85
2400	2100-2400	2250	370	37048,96	93477,84	5,89	2,34
2700	2400-2700	2550	202	20188,4	56428,88	3,56	1,27
3000	2700-3000	2850	164	16395,68	36240,48	2,29	1,03
3300	3000-3300	3150	105	10547,89	19844,8	1,25	0,67
3600	3300-3600	3450	76	7599,96	9296,91	0,59	0,48
3900	3600-3900	3750	17	1696,95	1696,95	0,11	0,11
			15858,12	1585811,92			

Fuente: CODECHOCO

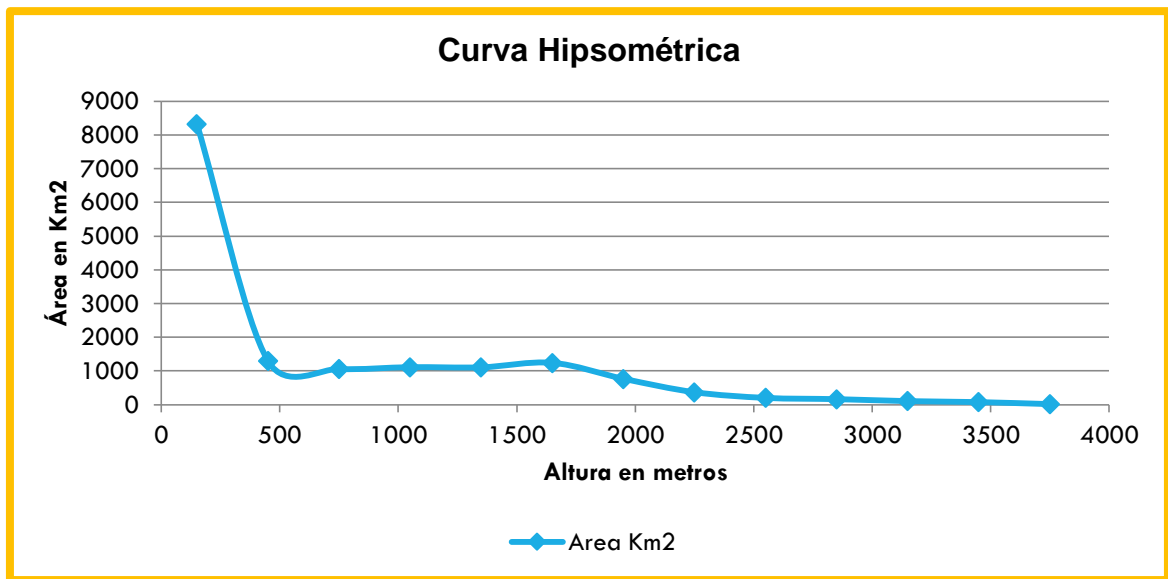


Figura 10. Curva hipsométrica (CODECHOCÓ)

5.6. SANEAMIENTO BÁSICO

En el tema de saneamiento básico algunos municipios de esta región cuenta con plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), donde se realizan los procesos de floculación, coagulación, sedimentación, filtración y desinfección: el agua es potable en la PTAP, pero una vez son vinculadas a las redes de distribución, no se garantiza dicha potabilidad debido a la cantidad de derivaciones fraudulentas que realizan los usuarios del sistema. Principalmente se afecta la calidad bacteriológica del líquido.(PDA Chocó, 2016)

La disposición final de los residuos líquidos se realiza en descoles directos a las fuentes hídricas de la región; en atención a que los sistemas de alcantarillado no cuenta con tratamientos de previos antes de ser vertidos a las fuentes receptoras, (en la cuenca no existe ni una sola PTAR municipal), por lo que esto ha venido afectando las fuentes hídricas, ocasionando malos olores, contaminación y enfermedades de origen hídrico.(PDA Chocó, 2016).

La prestación del servicio de aseo se hace de forma regular, los municipios de esta región poseen PGIRS y la disposición final se hace en botaderos a cielo abierto y celdas transitorias (PDA Chocó, 2016).

Tabla 20. Prestación servicios públicos cuenca media del río San Juan

MUNICIPIOS	ACUEDUCTO				ALCANTARILLADO				ASEO			
	Condiciones		Cobertura %	Zona de captación	Condiciones		Cobertura %	Zona de Descargas	Condiciones		Cobertura %	Disposición final
	Posee	PTAP			Posee	PTAR			Posee	PGIRS		
ISTMINA	No	Si	0	Quebrada la Honda	No	No	43	Rio San Juan	Si	Si	85	Relleno sanitario
TADÓ	Si	Si	22	Quebrada Santa Catalinita y Guayacán	No	No	30	Rio Mungarra, San Juan	Si	Si	80	Celda transitoria
CONDOTO	Si	Si	36	Rio Condoto	No	No	46	Rio Condoto, en las Quebradas Quitarrechera, Platínero y el Salto	Si	No	44	Botadero a cielo abierto
MEDIO SAN JUAN	Si	No	88	Quebrada Guavina y Quebrada la corriente	S	No	50	Ríos San Juan y Condoto	Si	No	100	Celda transitoria

Fuente: Plan Departamental de Aguas – PDA Chocó

6. MATERIALES Y METODOS.

Con el fin de identificar los sitios potenciales para realizar monitoreo de calidad de las aguas superficiales, se empleó el análisis multicriterio a través del método de las jerarquías analíticas (MJA), en integración con técnicas de modelación geoespacial. El análisis multicriterio es un enfoque general que se ha aplicado a una amplia gama de situaciones de gestión de los recursos naturales. La evaluación multicriterio es un término general para describir un conjunto de enfoques formales que buscan tener en cuenta criterios múltiples para ayudar a individuos o grupos a explorar las decisiones de importancia (Mendoza y Martins 2006).

La integración de la tecnología SIG con modelos espaciales se convierten en una herramienta para la descripción, explicación, planificación o predicción, para aquellos procesos de naturaleza espacial, lo cual favorece la toma de decisiones (Gómez y Barredo 2006).

A partir de las sub-cuencas constitutivas de la cuenca media del río San Juan y teniendo como base los sitios en donde de manera no sistémica se realizan monitoreos en dicha cuenca, por parte de CODECHOCÓ, (más de 53 puntos de monitoreo), se calcularon los factores morfométricos (área, pendiente media de la cuenca) y factores fisiográficos (% de cobertura con vegetación forestal o bosque), haciendo uso del software ArcGis.

Al hacer revisión de la información entregada por CODECHOCÓ, se encontró, que existen vacíos de datos en muchas de las estaciones usadas para adelantar los monitoreos, o se encuentran muy cerca una de otra, o la información que se reporta en varias estaciones ubicadas sobre algunas de sub-cuencas o fuentes que aportan de manera directa al río San Juan, no presentan variaciones significativas. Ante esta realidad, se decidió, seleccionar las estaciones que:

1. Tuviesen información de varios años y varias veces en el mismo año.
2. Estuviesen ubicadas en la desembocadura de la sub-cuenca o de la fuente, antes de entregar sus aguas al río San Juan.
3. Que presentara una apreciable cantidad de fuentes de contaminación en el área de influencia de la estación.
4. Que hubiese una clara diferenciación entre las zonas altas de las fuentes y su zona de entrega o desembocadura al río San Juan o sub-cuenca importante.
5. Se decidió seleccionar las principales fuentes que aportan al río San Juan en la cuenca media de este, río Condoto, río Suruco, río Iró y la cuenca media del río San Juan (Directos San Juan).

Al adelantar esta actividad, se pasó de tener más de 53 puntos de monitoreo, a los 19, que se adelantaran en el desarrollo de la metodología propuesta.

Después se desarrolló la metodología para los criterios de población asentada en el área de estudio, número de posibles fuentes contaminantes (minas de oro y platino), así como los alcantarillados sanitarios de los principales centros urbanos que realizan sus vertimientos de manera directa a las fuentes hídricas que hacen parte de la zona de estudio.

Por último se tomó en cuenta los resultados de los análisis de laboratorio realizados a muestras de agua de la zona de estudio, que permitieron generar los índices de calidad de las cuencas y sub-cuencas que conforman el área de estudio del presente proyecto; se tomaron en cuenta los resultados obtenidos por la Ingeniera Nazly Rubio en su trabajo de investigación “ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD (ICA) Y CONTAMINACION (ICO), EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO SAN JUAN – CHOCO” y los resultados obtenidos por los funcionarios de CODECHOCÓ realizados durante el año 2016.

Es pertinente informar aquí que la metodología utilizada tanto por los funcionarios de CODECHOCÓ y por la ingeniera Nazly Rubio para la determinación del ICA de esta subcuenca, fue el índice de calidad general implementado por el IDEAM, el cual es una versión ajustada del índice de calidad del agua desarrollado por la National Sanitation Foundation, (NSF); a partir de nueve (9) parámetros: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Temperatura (T), Solidos Suspendidos Totales (SST), Turbiedad, Coliformes Fecales (CF) y el potencial de Hidrógeno pH. (Debels et al. 2005)

La definición y priorización de los sitios sobre la cuenca media del río San Juan, donde se propone ubicar las estaciones de monitoreo, se hizo igualmente con base en los criterios establecidos por CODECHOCO en el “Programa de Monitoreo del Recurso Hídrico de CODECHOCÓ” el cual tienen en cuenta aspectos técnicos,

sociales, económicos y ambientales propios de la región, los cuales le permiten a la Corporación identificar ríos, quebradas y ciénagas entre otros. Estos aspectos en orden de priorización son:

- a- Población asentada a orillas de la cuenca
- b- Índice de calidad ambiental (ICA)
- c- Tipo de actividad productiva sobre la cuenca (uso del suelo)
- d- Influencia de tributario de importancia (Área, orden de la corriente)
- e- Descole del alcantarillado municipal (fuentes fijas de contaminación)
- f- Zona de protección estratégica enmarcada en la legislación local y nacional (áreas protegidas, en restricción, pendiente del terreno, etc.)
- g- Distancias entre estaciones y vías públicas y privadas
- h- Obras de infraestructura sobre la cuenca (puertos, puentes, malecones, etc).

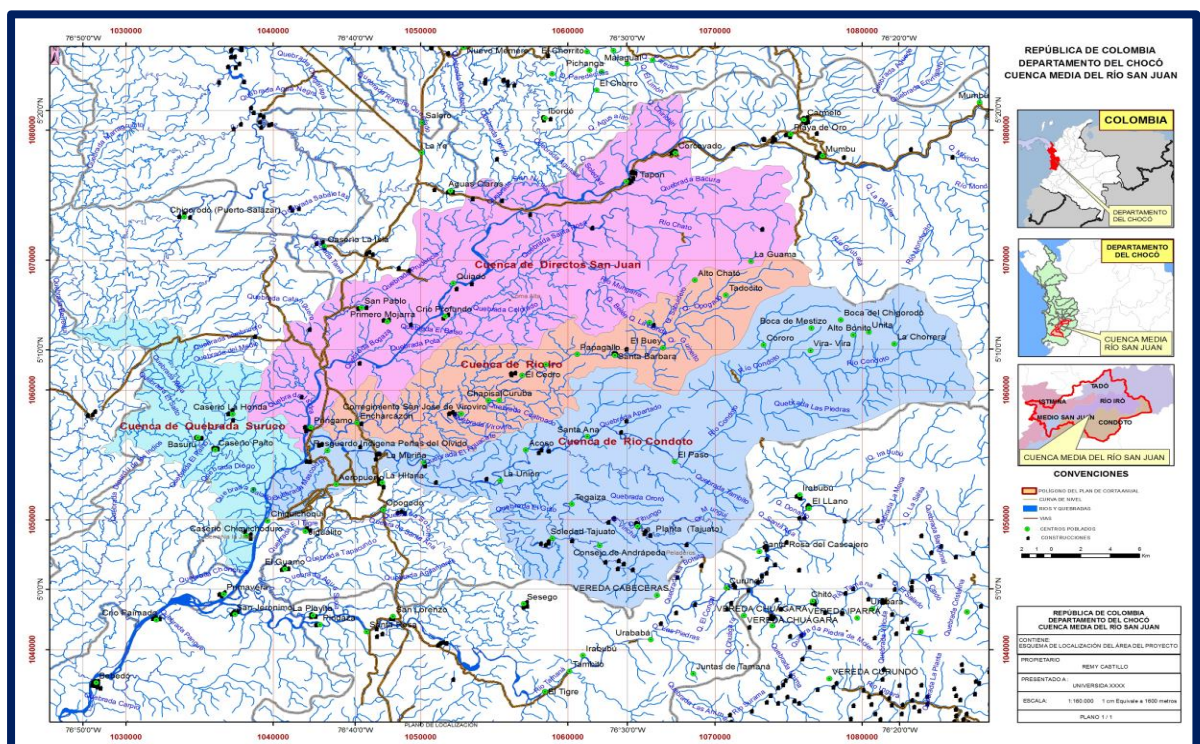


Figura 11. Localización del proyecto y cuencas y sub-cuencas que lo conforman

En atención a la información disponible se tuvieron en cuenta tres aspectos generales, que determinaron la asignación de pesos, en el análisis multicriterio.

- **Aspectos antrópicos:** se agrupan aquí las variables que tienen relación directa con las actividades humanas:
 1. Población asentada en el área de influencia de la cuenca, a mayor densidad poblacional se considera que mayor será la probabilidad de que sea afectada una corriente hídrica por las actividades desarrolladas por los habitantes asentados en dicha cuenca.
 2. Usos del suelo, cada unidad de suelo en una cuenca tiene un potencial de contaminación asociado y depende fundamentalmente de su topografía, uso y las características de la vegetación (Vieux & Farajalla, 1994).
 3. Fuentes fijas de contaminación. El establecimiento de puntos de vertimiento directo a la fuente hídrica de alcantarillados sanitarios, vertimientos industriales, descoles de vertederos de residuos sólidos, determinan una alta probabilidad de contaminación en la fuente.
- **Aspectos fisiográficos:** aquí se agruparon las variables que están relacionadas con aspectos físicos que propician o impiden la localización de las estaciones de monitoreo, en un punto determinado en atención a la accesibilidad.
 1. Pendientes del terreno, áreas protegidas, con este criterio se pretende eliminar los sitios de la cuenca que tienen un grado de restricción legal, o los sitios que por su alta pendiente son logísticamente inaccesibles.
 2. Área de la cuenca o sub- cuenca,
- **Aspectos de calidad del agua:** aquí se agruparon aquellos que tienen que ver directamente con la calidad del recurso y su potencial de contaminación.
 1. Índice de calidad ambiental – ICA: este índice se usa como un concepto preliminar para diagnosticar el estado sanitario de las corrientes. El ICA es un índice general, es decir, se basa en el supuesto de que la calidad del agua es un atributo general de los cuerpos de agua, independiente del uso para el cual es destinada. El ICA es un número adimensional entre 1 y 100, donde a valores altos se considera mejores condiciones de la calidad del agua.
 2. Influencia de tributarios de importancia u orden de la corriente: los órdenes de corrientes de Horton han sido utilizados para el diseño de redes de monitoreo como base para dividir la red de drenaje en subdominios (Moreno et al, 2008). A medida que una corriente tenga más tributarios, su potencial de contaminación será mayor y por tanto la calificación dada también será mayor.

Una vez establecidos los aspectos y variables a utilizar, se procedió a elaborar mapas temáticos con el uso de software de ArcSIG, con lo que se permite presentar la información visualmente.



Figura 12. Esquema para el establecimiento de las estaciones de monitoreo

Primero se estableció una cartografía base y se depuró la información con que se disponía en CODECHOCÓ, la cual fue integrada a la cartografía y así se pudo establecer los diferentes mapas que se trabajarán como capas. Algunas capas son del tipo polígonos (densidad poblacional, uso del suelo, pendientes del terreno y áreas protegidas) y otras son datos puntuales (fuentes fijas de contaminación, obras de infraestructura sobre la cuenca, Índice de Calidad del Agua - ICA, Influencia de tributarios de importancia) a los que se les asignó un área de influencia, a partir de tomar la sub-cuenca hidrográfica hacia la cual drenan sus efluentes.

La distancia entre los puntos de monitoreo y las vías públicas o privadas se utilizó para la reubicación o redistribución de las estaciones de muestreo.

Tabla 21. Criterios y pesos de cada criterio.

CRITERIOS Y PESOS DE LOS CRITERIOS					
ASPECTO	CRITERIO PRIORIZADO	UNIDAD	RANGO	PUNTAJE	PESO DEL CRITERIO
ANTRÓPICO	POBLACION 2016 Proyecciones (Censo 2005)	Hab	<1000	0	0,11
			1001-5000	25	
			5001-12500	50	
			12501-30000	75	
			>30001	100	
	USO DEL SUELO (% DE COBERTURA CON VEGETACIÓN FORESTAL O BOSCOSA)	%	100-70,01	0	0,20
			70-40,01	25	
			40-20,01	50	
			20-10,01	75	
			<10	100	
	FUENTES FIJAS DE CONTAMINACIÓN	Unidad	=<3	0	0,37
			4-10	25	
			11-20	50	
			21-30	75	
			>31	100	
FISIOGRÁFICOS	AREA DE LA CUENCA	Km ²	>20	0	0,17
			20-100	25	
			100-200	50	
			200-300	75	
			>300	100	
	PENDIENTE	%	0-7	100	0,09
			7-20	75	
			20-35	50	
			35-50	25	
			>50	0	
CALIDAD DEL AGUA	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA	Adim	0-25	100	0,06
		Adim	25,1-50	75	
		Adim	50,1-70	50	
		Adim	70,1-90	25	
		Adim	90,1-100	0	

Fuente: propia de la investigación

Al tener la red de estaciones, se establecieron puntajes y pesos ponderados que permitieron establecer una clasificación en los datos asignados a cada capa. Los datos fueron agrupados en rangos y se asignaron puntajes de acuerdo al rango (entre cero y cien), los pesos ponderados se asignaron de acuerdo a la influencia de cada criterio en el logro de los objetivos de la red y además se tuvo en cuenta las respuestas dadas por varios profesionales expertos de la región, que tienen amplia experiencia en la temática ambiental.

La Tabla 21, muestra los criterios que se tuvieron en cuenta y los pesos otorgados a cada criterio, para la priorización de los diferentes puntos de muestreo a partir de los mapas temáticos desarrollados.

Para la asignación de los valores a cada estación se hizo uso de siguiente ecuación:

$$\text{VALOR: } \sum_{i=1}^6 (\text{Puntaje } ci \times \text{Peso } ci)$$

En donde:

Valor: es el resultado de la ponderación entre puntajes y pesos

Puntaje: Se otorga de acuerdo al valor del criterio.

Peso: el que se asignó a cada criterio.

ci: Criterios considerados en el proyecto

Se tiene además en cuenta algunos criterios que denominaremos secundarios, para la selección del sitio donde se debe ubicar la estación de monitoreo, tales como: la accesibilidad al sitio de muestreo (existencia de red pública o privada), los costos de implementación, uso y mantenimiento de las estaciones y por último se tuvo en cuenta, la existencia o no, de redes de monitoreo de entidades de carácter nacional (IDEAM), en la zona de influencia de la estación.

Para el desarrollo la metodología se subdividió la zona de estudio en tramos para el cauce principal y en subcuentas más significativas en atención al tamaño o a la cantidad de actividades que se desarrollan dentro de la misma.

E igualmente se tuvo en cuenta, la división político administrativa (entes territoriales) ubicados en dicha área de estudio.

Tabla 22. Municipios y poblaciones de la CMRSJ.

MUNICIPIOS Y POBLACIONES DE LA CMRSJ				
ITEM	MUNICIPIO	POBLACIÓN		
		URBANA	RURAL	TOTAL
1	TADÓ	19043	12414	31457
2	ISTMINA	25686	20448	46134
3	CONDOTO	14991	10577	25568
4	RÍO IRÓ	10042	1657	11699
5	MEDIO SAN	17071	6168	23239
6	TOTAL	86833	51264	138097

Fuente: DANE

CAPITULO III

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

7.1. RESULTADOS

A continuación se relacionan los valores de los criterios priorizados para el desarrollo del modelo propuesto.

7.1.1. Áreas aferentes a las estaciones

Tabla 23. Puntaje y valoración de cada estación de acuerdo al criterio área.

CUENCAS	ESTACIONES	COORDENADAS DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO		AREA		
		N	W	Km2	PUNTAJE	VALOR
Directos río San Juan	Antes de las Bocas del río Tadó (antes de Tadó)	5°26'19"	76°31'39,9"	97,46	25	4,25
	Desembocadura río Mungarrá	5°15'43,6"	76°34'41,9"	100,74	50	8,50
	Profundó después de desembocadura del río Mungarrá (después de Tadó)	5°11'29,8"	76°36'49,5"	86,40	25	4,25
	Mojarra (antes de Estmina)	5°09'31,7"	76°39'28,7"	32,58	25	4,25
	Desembocadura Quebrada San Pablo	5°09'12"	76°41'15,8"	29,78	25	4,25
	San Antonio (después de Estmina)	5°07'58"	76°41'23,2"	15,14	0	0,00
	Pringamó (antes de Andagoya)	5°06'23,3"	76°41'52,9"	14,78	0	0,00
Río Iró	Desembocadura río Condoto	5°05'33,1"	76°41'48,7"	34,76	25	4,25
	Santa Rita	5°10'150,6"	76°28'15,1"	39,47	25	4,25
	Santa Barbara	5°09'17,1"	76°30'13"	30,42	25	4,25
	Viri Viro	5°09'12,9"	76°36'19,6"	54,62	25	4,25
Río Condoto	Encharcazon	5°06'157,6"	76°39'157,1"	51,68	25	4,25
	Santa Ana	5°06'57,267"	76°29'54,407"	202,82	75	12,75
	Acosó	5°06'0,484"	76°33'3,123"	66,51	25	4,25
	La Unión	5°05'8,317"	76°34'9,787"	9,76	0	0
	Aguacate	5°05'8,933"	76°37'29,704"	130,03	50	8,5
	La Muriña	5°05'42,172"	76°38'5,856"	2,88	0	0
Río Suruco	La Honda	5°07'17,579"	76°44'33,485"	19,79	0	0
	Desembocadura del Suruco (Después de Andagoya)	5°04'44,9"	76°42'59,7"	98,44	25	4,25

Fuente: propia del estudio

Como se puede ver en la Tabla 23, los valores más grandes de las zonas de influencia a la estaciones de monitoreo, corresponden a las estaciones de Santa Ana y el Aguacate en la Sub-cuenca del río Condoto y desembocadura río Mungarrá y Bocas del río Tadó. Además de la estación ubicada en la bocas del río Suruco en la cuenca principal del río San Juan.

De otra parte, las estaciones que tienen menos área de influencia son las de la Muriña y la Unión en la Sub-cuenca del río Condoto. La figura 13 nos muestra las estaciones de monitoreo y su respectiva área de influencia.

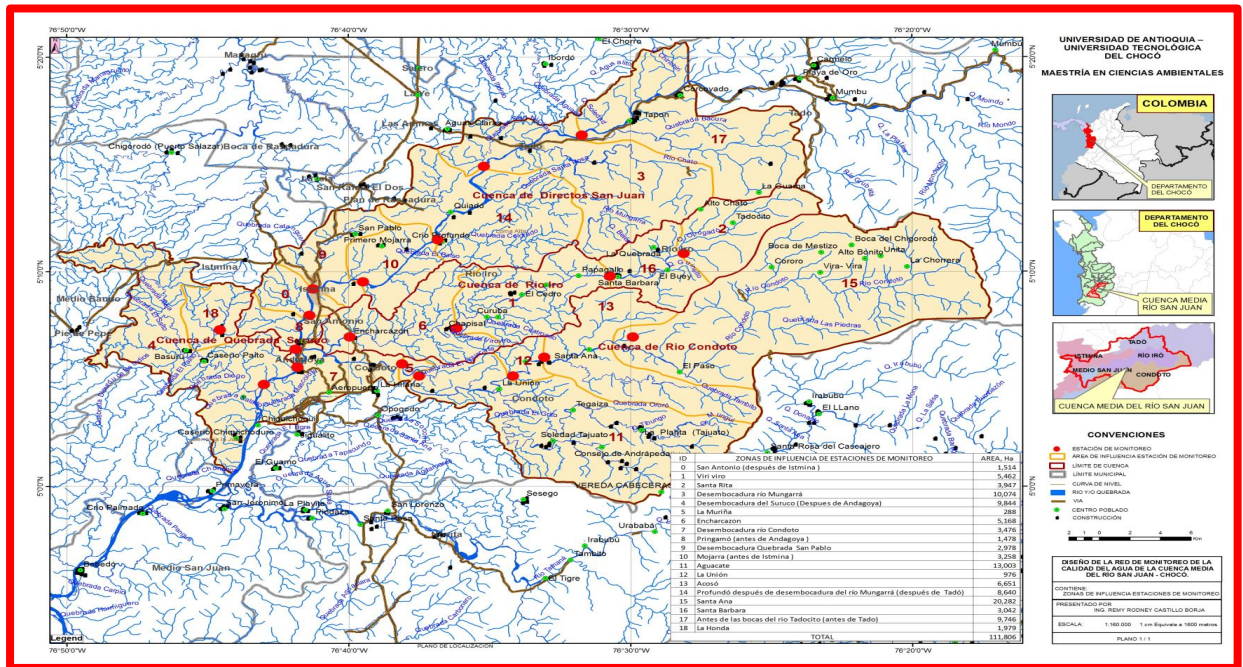


Figura 13. Mapa de cuencas hidrográficas con sus estaciones y áreas aferentes.

7.1.2. Pendiente media.

Tabla 24. Puntaje y valoración de cada estación de acuerdo al criterio pendiente media

CUENCAS	ESTACIONES	COORDENADAS DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO		PENDIENTE		
		N	W	%	PUNTAJE	VALOR
Directos Río San Juan	Antes de las bocas del río Tadó (antes de Tadó)	5°26'19"	76°31'39,9"	20-35%	50	4,50
	Desembocadura río Mungarrá	5°15'43,6"	76°34'41,9"	7-20%	75	6,75
	Profundó después de desembocadura del río Mungarrá (después de Tadó)	5°11'29,8"	76°36'49,5"	7-20%	75	6,75
	Mojarra (antes de Istmina)	5°09'31,7"	76°39'28,7"	7-20%	75	6,75
	Desembocadura Quebrada San Pablo	5°09'12"	76°41'15,8"	7-20%	75	6,75
	San Antonio después de Istmina	5°07'58"	76°41'23,2"	0-7%	100	9,00
	Pringamó (antes de Andagoya)	5°06'23,3"	76°41'52,9"	0-7%	100	9,00
Río río	Desembocadura río Condoto	5°05'33,1"	76°41'48,7"	0-7%	100	9,00
	Santa Rita	5°10'50,6"	76°28'56,1"	20-35%	50	4,50
	Santa Bárbara	5°07'17,1"	76°30'24,3"	20-35%	50	4,50
	Viriviro	5°07'19,9"	76°36'09,6"	7-20%	75	6,75
Río Condoto	Encharcazon	5°06'17,6"	76°39'17,1"	7-20%	75	6,75
	Santa Ana	5°06'57,267"	76°29'54,407"	35-50%	25	2,25
	Acosó	5°06'0,484"	76°33'3,123"	20-35%	50	4,50
	La Unión	5°05'8,317"	76°34'9,787"	7-20%	75	6,75
	Aguacate	5°05'8,933"	76°37'29,704"	7-20%	75	6,75
Río Suruco	La Murriña	5°05'42,172"	76°38'5,856"	7-20%	75	6,75
	La Honda	5°07'17,579"	76°44'33,485"	0-7%	100	9,00
Río Suruco	Desembocadura del Suruco (Después de Andagoya)	5°04'44,9"	76°42'59,7"	7-20%	75	6,75

Fuente: propia del estudio

Como se puede ver en la Tabla 24, la estación que tiene la más alta pendiente promedio en el tramo de influencia es la de Santa Ana en la sub-cuenca del río Condoto. La cual se encuentra cercana al pie de monte de la cordillera occidental (departamento de Risaralda). En la medida que el terreno donde se ubican las estaciones se acerca más a la cuenca del río San Juan, esta se hace más distendida y plana.

Al tener en cuenta este criterio se pretende ubicar las estaciones cerca de zonas menos escarpadas en atención al acceso a las mismas, de allí las calificaciones dadas.

Igualmente se adjunta el mapa temático que resulta de la anterior valoración, ver figura 14.

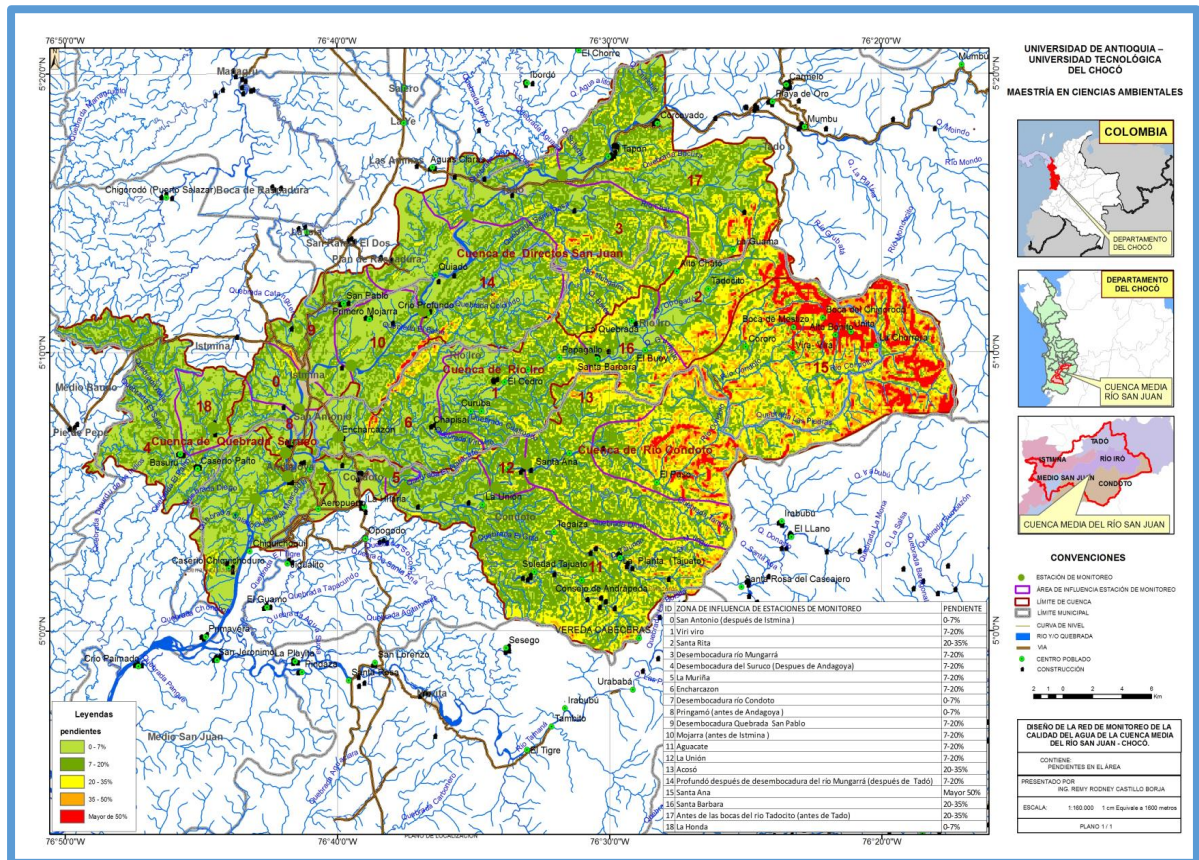


Figura 14. Mapa de cuencas hidrográficas con sus estaciones y pendientes medias.

7.1.3. Usos del suelo.

A partir del mapa de usos del suelo en la zona media del río San Juan, ver figura 15, se desarrolló el criterio de usos del suelo teniendo en cuenta, el porcentaje de

vegetación como cobertura forestal o bosque, en la zona aferente a las estaciones utilizadas por la autoridad ambiental CODECHOCÓ.

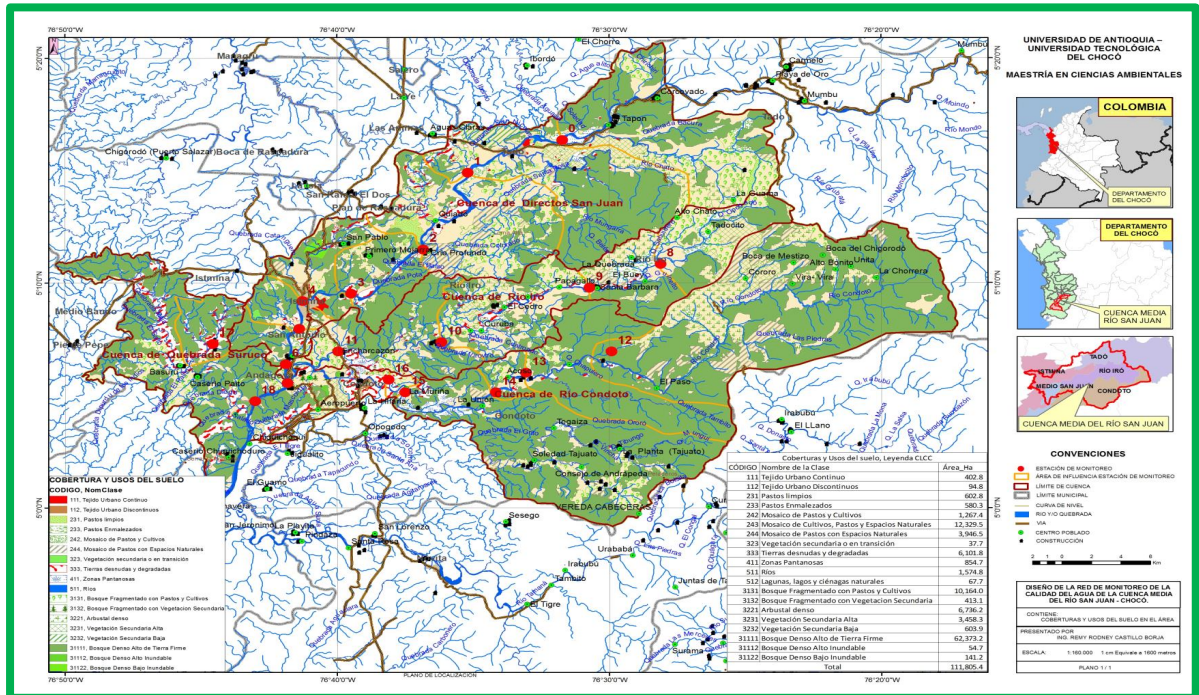


Figura 15. Mapa de usos del suelo en la cuenca media del río San Juan – CMRSJ.

En la tabla 25 se muestran los puntajes y la valoración de este criterio fisiográfico.

Tabla 25. Puntaje y valoración de cada estación de acuerdo al criterio uso del suelo.

CUENCAS	ESTACIONES	COORDENADAS DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO		USO DEL SUELO		
		N	W	%	PUNTAJE	VALOR
Directos Río San Juan	Antes de las bocas del río adocito (antes de la Dado)	5°26'19"	76°31'39,9"	63,9	25	5,00
	Desembocadura río Mungarrá	5°15'43,6"	76°34'41,9"	61,3	25	5,00
	Profundó después de la desembocadura del río Mungarrá (después de la Dado)	5°11'29,8"	76°36'49,5"	39,8	50	10,00
	Mojarra (antes de la Estmina)	5°09'31,7"	76°39'28,7"	67,7	25	5,00
	Desembocadura Quebrada San Pablo	5°09'12"	76°41'15,8"	59,3	25	5,00
	San Antonio después de la Estmina	5°07'58"	76°41'23,2"	59,6	25	5,00
Río Iró	Pringamó (antes de la Andagoya)	5°06'23,3"	76°41'52,9"	65	25	5,00
	Desembocadura río Condoto	5°05'33,1"	76°41'48,7"	36,5	50	10,00
	Santa Rita	5°01'0'0,6"	76°02'8'11"	58,3	25	5,00
	Santa Barbara	5°00'13'7,1"	76°00'0'13"	42,1	25	5,00
	Viriviro	5°07'12'1,9"	76°06'0'6"	44,6	25	5,00
	Encharcazon	5°06'13'7,6"	76°09'13'7,1"	69,3	25	5,00
Río Condoto	Santa Ana	5°06'57,267"	76°29'54,407"	67,1	25	5,00
	Acosó	5°06'0,484"	76°33'3,123"	95,4	0	0,00
	La Unión	5°05'8,317"	76°34'9,787"	59,9	25	5,00
	Aguacate	5°05'8,933"	76°37'29,704"	83,8	0	0,00
Río Suruco	La Muriña	5°05'42,172"	76°38'5,856"	23	50	10,00
	La Honda	5°07'17,579"	76°44'33,485"	66,5	25	5,00
	Desembocadura del Suruco (Después de la Andagoya)	5°04'44,9"	76°42'59,7"	75,2	0	0,00

Fuente: propia del estudio

E igualmente se desarrolló su correspondiente mapa temático.

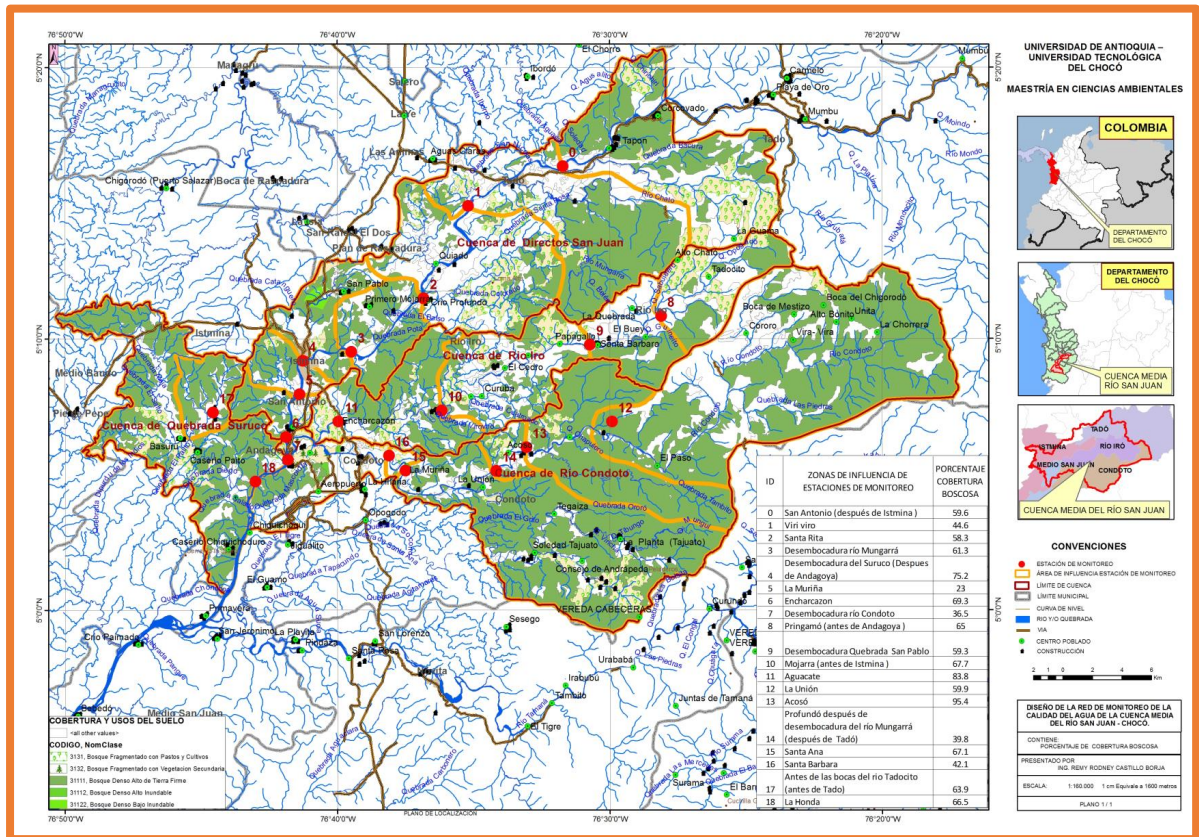


Figura 16. Mapa de cuencas hidrográficas con sus estaciones y el porcentaje de vegetación como bosque o cobertura boscosa

Las áreas que presentan una mayor cobertura boscosa son las de Acosó y la del Aguacate, en el río Condoto e igualmente la que presenta mayor intervención antrópica y por tanto menor cobertura boscosa es la de la Muriña, ubicada también sobre el río Condoto. Otra área que presenta una considerable cobertura boscosa es la aferente a la desembocadura del río Suruco, la cual es la última estación sobre el área de estudio en la CMRSJ.

7.1.4. Fuentes fijas y puntuales de contaminación directa.

Teniendo en cuenta la información entregada por los funcionarios de CODECHOCÓ, sobre la ubicación de los entables mineros de oro y platino, que se tienen georreferenciado en la zona de estudio, se desarrolló un mapa sobre el número de estas fuentes puntuales que se encuentran en el área de influencia de las estaciones a las cuales se aplicó la metodología propuesta.

Este es el criterio de mayor influencia, en atención a que en la medida que existan un mayor número de fuentes contaminantes, es necesario adelantar monitoreos de

control y seguimiento con mayor asiduidad a fin de poder garantizar por parte de la autoridad ambiental regional, los objetivos de calidad, concertados con el sector regulado, de la fuente bajo observación.

A continuación se presenta el cuadro de calificaciones de este ítem.

Tabla 26. Número de fuentes de contaminación por área de influencia.

CUENCAS	ESTACIONES	COORDENADAS DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO		PUNTOS DE CONTAMINACIÓN		
		N	W	NÚMERO	PUNTAJE	VALOR
Directos Río San Juan	Antes de las bocas del río Tadó (antes de Tadó)	5°26'19"	76°31'39,9"	10	25	9,25
	Desembocadura del río Mungarrá	5°15'43,6"	76°34'41,9"	3	0	0,00
	Profundó después de la desembocadura del río Mungarrá (después de Tadó)	5°11'29,8"	76°36'49,5"	0	0	0,00
	Mojarra (antes de Estmina)	5°09'31,7"	76°39'28,7"	0	0	0,00
	Desembocadura Quebrada San Pablo	5°09'12"	76°41'15,8"	0	0	0,00
	San Antonio (después de Estmina)	5°07'58"	76°41'23,2"	0	0	0,00
	Pringamó (antes de Andagoya)	5°06'23,3"	76°41'52,9"	2	0	0,00
	Desembocadura río Condoto	5°05'33,1"	76°41'48,7"	10	25	9,25
Río Iró	Santa Rita	5°10'10,6"	76°28'11,1"	0	0	0,00
	Santa Barbara	5°09'27,1"	76°30'23"	0	0	0,00
	Viri Viro	5°07'21,9"	76°36'19,6"	0	0	0,00
	Encharcazon	5°06'17,6"	76°39'17,1"	1	0	0,00
Río Condoto	Santa Ana	5°06'57,267"	76°29'54,407"	7	25	9,25
	Acosó	5°06'0,484"	76°33'3,123"	9	25	9,25
	La Unión	5°05'8,317"	76°34'9,787"	6	25	9,25
	Aguacate	5°05'8,933"	76°37'29,704"	8	25	9,25
	La Muriña	5°05'42,172"	76°38'5,856"	0	0	0,00
Río Suruco	La Honda	5°07'17,579"	76°44'33,485"	2	0	0,00
	Desembocadura del Suruco (Después de Andagoya)	5°04'44,9"	76°42'59,7"	7	25	9,25

Fuente: propia del estudio

Como se puede observar en la anterior Tabla 26, la zona con mayor número de fuentes contaminantes, corresponde a la ubicadas en la denominada desembocadura del río Condoto, siguiendo las zonas de Acosó, Aguacate y Santa Ana. Otro sector importante en la actividad minera corresponde a la parte inicial de la CMRSJ, en cercanías de la desembocadura del río Tadó al San Juan.

De otra parte en este ítem se puede observar que existen grandes áreas en donde no existen fuentes de contaminación sin embargo debido a la ubicación de estas, se espera que los efluentes se reflejen aguas abajo.

Por información entregada por los funcionarios que hacen control y seguimiento a los entables mineros, se sabe que si bien algunas áreas no presentan hoy actividad de minería, si la han tenido en el pasado y se espera la tengan en el futuro, debido

a trashumancia de los entables ilegales. Por tanto es necesario estar realizando actualización de estas fuentes de contaminación.

Con la información entregada se elaboró el siguiente mapa temático, figura 17, que muestra la ubicación de los entables mineros y los relaciona con las cuencas donde se desarrolla la actividad y la estación de monitoreo más cercana.

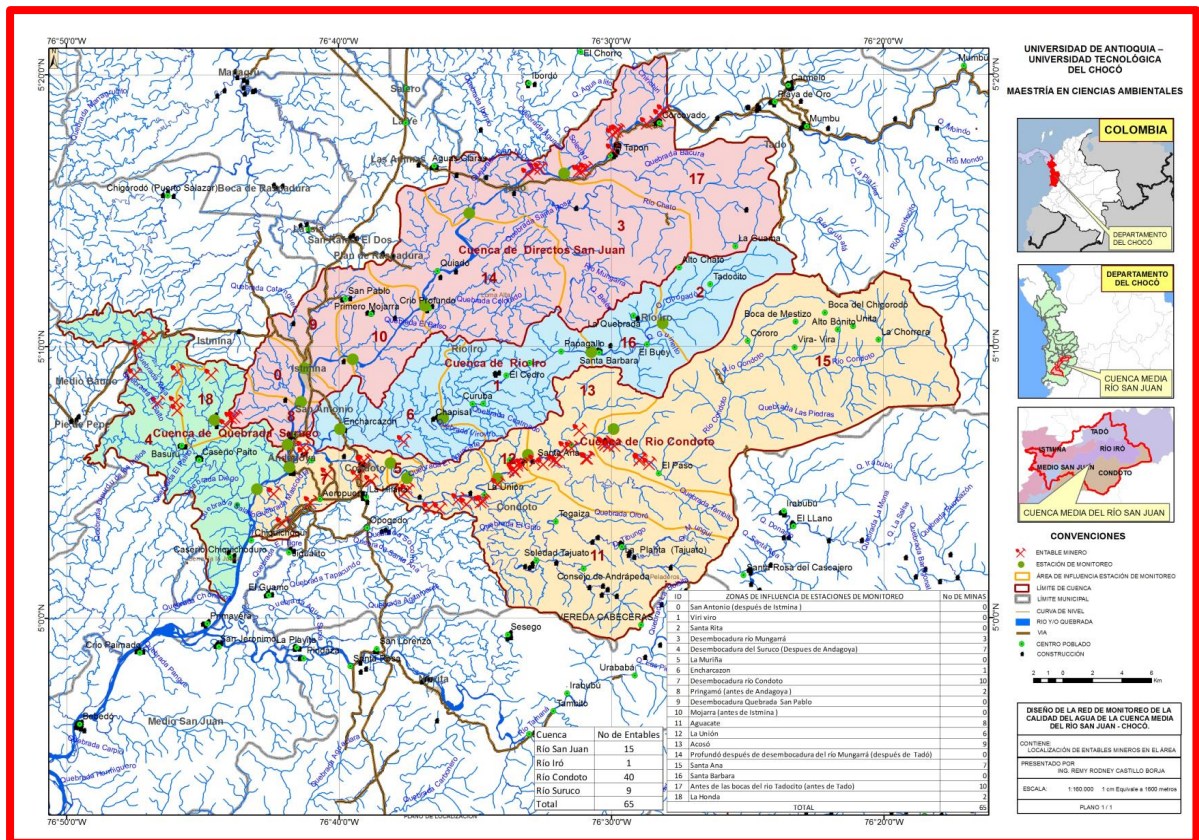


Figura 17. Mapa de cuencas hidrográficas con sus estaciones y ubicación de los entables mineros (fuentes de contaminación)

7.1.5. Población asentada en las áreas de influencia

Este criterio se desarrolló teniendo en cuenta las proyecciones de población elaboradas por el IDEAM, a partir del censo del año 2005 y la información que se tiene en las oficinas del SISBEN, ubicadas en las instalaciones de las administraciones municipales.

Para el desarrollo de este criterio se aplicó a las poblaciones urbanas de las poblaciones de Istmina, Tadó, Condoto y Santa Rita de Iró, en el área de influencia que incluye estas poblaciones. Para el caso de las poblaciones rurales, se tomaron los reportes de población de los centros nucleados más importantes ubicados en

las diferentes cuencas, las cuales luego se intersectaron con las áreas de influencia de cada estación.

Tabla 27. Número de habitantes asentados en las cuencas o sub-cuenca.

CUENCAS	ESTACIONES	COORDENADAS DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO		POBLACION ASENTADA EN LA CUENCA		
		N	W	Hab.	PUNTAJE	VALOR
Directos Río San Juan	Antes de las bocas del río Tacito (antes de Tado)	5°26'19"	76°31'39,9"	5470	50	5,50
	Desembocadura del río Mungarrá	5°15'43,6"	76°34'41,9"	19043	75	8,25
	Profundo después de la desembocadura del río Mungarrá (después de Tado)	5°11'29,8"	76°36'49,5"	4849	25	2,75
	Mojarra (antes de Estmina)	5°09'31,7"	76°39'28,7"	1828	25	2,75
	Desembocadura Quebrada San Pablo	5°09'12"	76°41'15,8"	25686	75	8,25
	San Antonio (después de Estmina)	5°07'58"	76°41'23,2"	850	0	0,00
	Pringamó (antes de Andagoya)	5°06'23,3"	76°41'52,9"	829	0	0,00
	Desembocadura del río Condoto	5°05'33,1"	76°41'48,7"	32062	100	11,00
Río Iró	Santa Rita	5°10'10,6"	76°28'11"	10042	50	5,50
	Santa Barbara	5°09'24,1"	76°30'23"	1708	25	2,75
	Viri Viro	5°07'21,9"	76°36'10,6"	3066	25	2,75
	Encharcazon	5°06'17,6"	76°39'17,1"	2901	25	2,75
Río Condoto	Santa Ana	5°06'57,267"	76°29'54.407"	11385	50	5,50
	Acosó	5°06'0,484"	76°33'3,123"	3733	25	2,75
	La Unión	5°05'8,317"	76°34'9,787"	548	0	0,00
	Aguacate	5°05'8,933"	76°37'29,704"	7298	50	5,50
	La Muriña	5°05'42,172"	76°38'5,856"	162	0	0,00
Río Suruco	La Honda	5°07'17.579"	76°44'33.485"	1111	25	2,75
	Desembocadura del Suruco (Después de Andagoya)	5°04'44,9"	76°42'59,7"	5525	50	5,50
				138096		

Fuente: propia del estudio

A partir de esta información (Tabla 27) y la valoración hecha con este criterio para cada área aferente a los puntos de monitoreo, se elaboró un mapa que responde a la situación actual de población en la CMRSJ. Ver figura 18

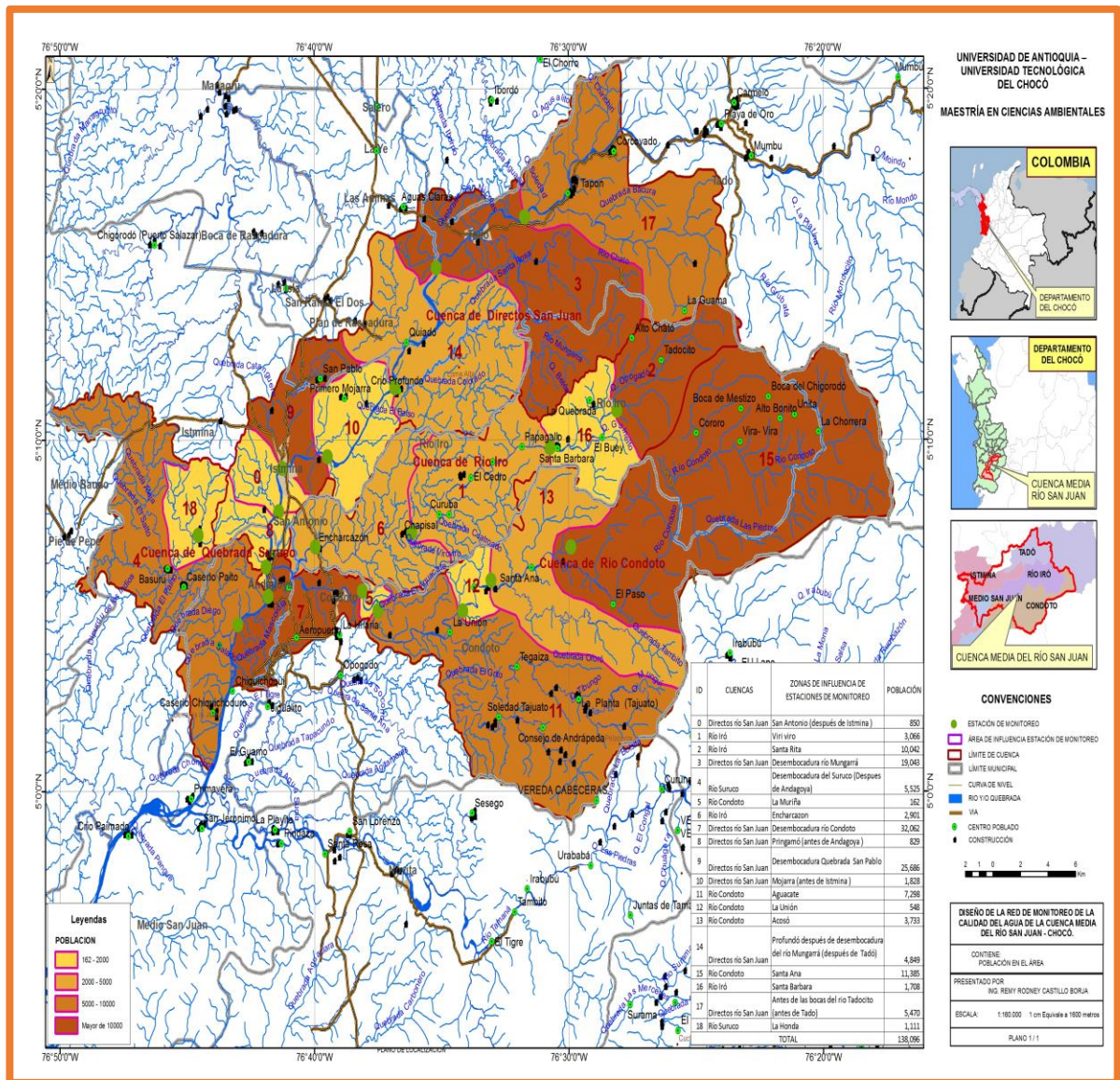


Figura 18. Mapa de cuencas hidrográficas con sus estaciones y número de habitantes ubicados por cuenca.

Las áreas más densamente pobladas son las que contienen los centros urbanos de Istmina, Tadó y Condoto y le sigue Santa Rita. Igualmente existen algunos centros nucleados que presentan una cantidad apreciable de habitantes, en atención a la ubicación en los mismos de entables mineros y zonas de aprovechamiento forestal (en menor escala).

7.1.6. Índices de calidad del agua - ICA

Se procedió a desarrollar la puntuación para cada área de influencia y luego el valor de acuerdo con el peso asignado para este criterio. A partir de allí se elaboró la siguiente Tabla 28, para el criterio de calidad del agua.

Tabla 28. Valor del ICA calculado para cada estación

CUENCAS	ESTACIONES	COORDENADAS DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO		ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA		
		N	W	ADIMENSIONAL	PUNTAJE	VALOR
Directos Río San Juan	Antes de las bocas del río Tadó (antes de Tadó)	5°26'19"	76°31'39,9"	51,84	50	3,00
	Desembocadura del río Mungarrá	5°15'43,6"	76°34'41,9"	52,81	50	3,00
	Profundó después de desembocadura del río Mungarrá (después de Tadó)	5°11'29,8"	76°36'49,5"	50,67	50	3,00
	Mojarra antes de Istmina	5°09'31,7"	76°39'28,7"	53,07	50	3,00
	Desembocadura Quebrada San Pablo	5°09'12"	76°41'15,8"	47,83	75	4,50
	San Antonio después de Istmina	5°07'58"	76°41'23,2"	53,13	50	3,00
	Pringamó antes de Andagoya	5°06'23,3"	76°41'52,9"	54,42	50	3,00
	Desembocadura del río Condoto	5°05'33,1"	76°41'48,7"	53,49	50	3,00
Río Iró	Santa Rita	5°10'10,6"	76°28'11,1"	78,52	25	1,50
	Santa Barbara	5°10'17,1"	76°30'13,3"	73,33	25	1,50
	Viri Viro	5°10'12,9"	76°36'10,6"	70,7	25	1,50
	Encharcazon	5°10'17,6"	76°39'17,1"	71,93	25	1,50
Río Condoto	Santa Ana	5°06'57,267"	76°29'54,407"	54,1	50	3,00
	Acosó	5°06'0,484"	76°33'3,123"	55,34	50	3,00
	La Unión	5°05'8,317"	76°34'9,787"	69,87	50	3,00
	Aguacate	5°05'8,933"	76°37'29,704"	68,39	50	3,00
	La Muriña	5°05'42,172"	76°38'5,856"	67,75	50	3,00
Río Suruco	La Honda	5°07'17,579"	76°44'33,485"	56,53	50	3,00
	Desembocadura del Suruco (Después de Andagoya)	5°04'44,9"	76°42'59,7"	56,53	50	3,00

Fuente: propia del estudio

En general los resultados obtenidos con el índice de calidad del agua, muestran que estos ríos oscilan de mediana calidad a buena calidad en sus aguas. Solamente en la estación de la desembocadura de la Quebrada San Pablo, ubicada en el área urbana del municipio de Istmina, se encontró que de acuerdo a este criterio sus aguas se pueden calificar de mala calidad. Esto es explicable ya que los residuos líquidos del alcantarillado sanitario son vertidos de manera directa a esta fuente, así como gran parte de los residuos sólidos que no son presentados por la ciudadanía a la empresa de aseo.

Esta quebrada urbana, se ha visto afectada de manera considerable, por la explotación de material de playa y los vertimientos sin tratamiento que se realizan a la misma.

Con esta información y luego de calcular los valores para las áreas de influencia, se elaboró el mapa temático que se presenta en la figura 19.

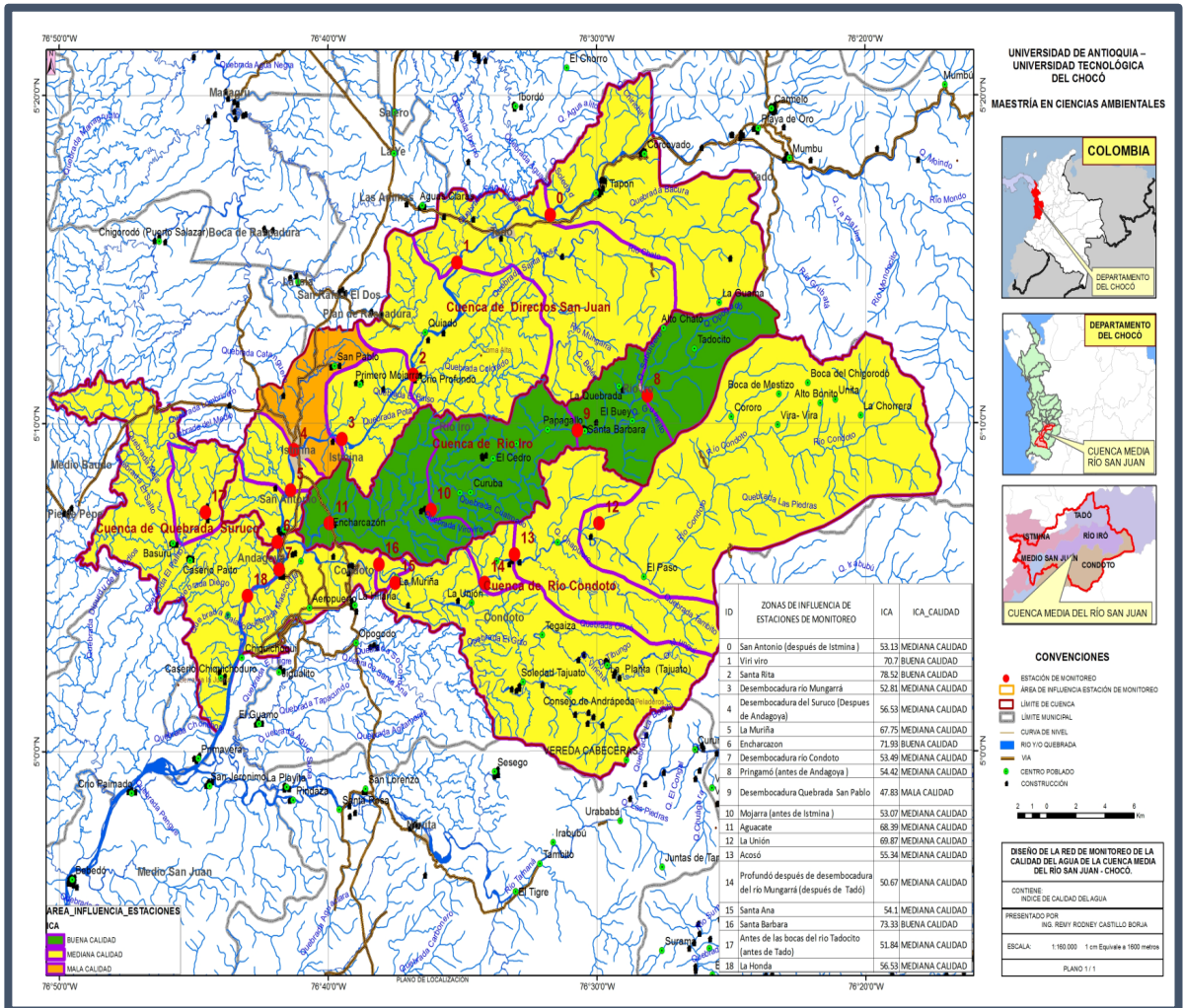


Figura 19. Mapa de cuencas hidrográficas con sus estaciones y los índices de calidad para cada estación de monitoreo.

La figura 19 muestra claramente que desde el punto de vista de calidad de las aguas, solo se presenta una estación con resultados de mala calidad. Es importante hacer notar que la cuenca del río Iró presenta una condición en sus aguas buena calidad, a pesar de que en la localidad de Santa Rita, no existe sistema de tratamiento de las aguas residuales y de que existen algunos entables mineros en la misma.

7.1.7. Sumatoria de criterios y resultados finales

Luego de analizar y calificar cada uno de los criterios seleccionados y ser afectados por los pesos que se le dieron a cada uno de ellos, se procedió a realizar la

sumatoria de valores para cada área de influencia de las estaciones de monitoreo, obteniéndose así una clasificación de cada una de las estaciones y permitiendo poder sugerir a la autoridad ambiental regional la pertinencia de las mismas, de acuerdo con el objetivo propuesto para la red de monitoreo.

En la tabla 29, se muestran los resultados de la sumatoria de cada criterio en cada estación de monitoreo (área de influencia); de otra parte se elaboró con estos resultados un mapa de las estaciones de monitoreo y su área de influencia, la cual se presenta en la figura 20.

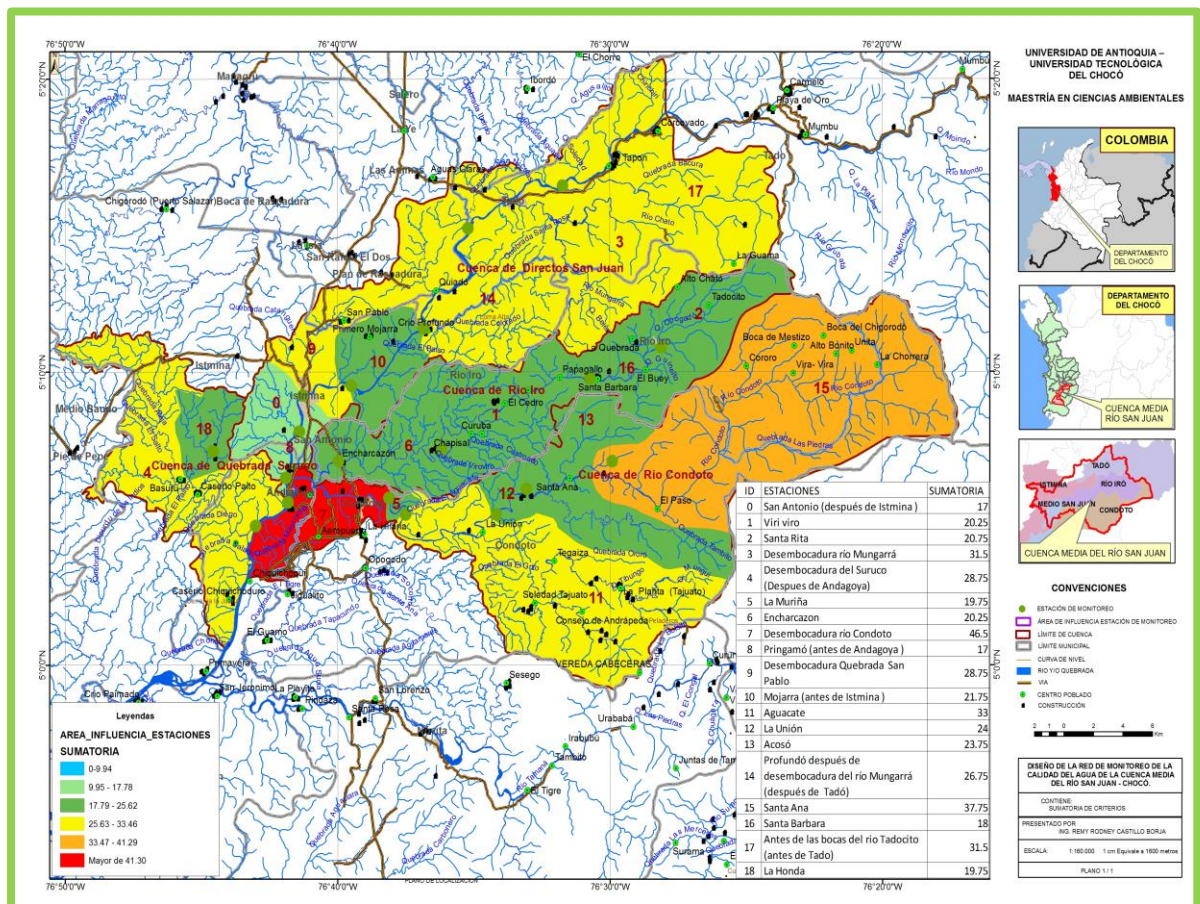


Figura 20. Mapa de cuencas hidrográficas con sus estaciones y su valoración definitiva, de acuerdo a la metodología propuesta

Tabla 29 Calificación y valoración de criterios por estaciones

ITEM	CUENCAS	ESTACIONES	COORDENADAS DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO		AREA			POBLACION ASENTADA EN LA CUENCA			PUNTOS DE CONTAMINACIÓN			PENDIENTE			USO DEL SUELO			INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			SUMATORIA DE VALORES
			N	W	Km2	PUNTAJE	VALOR	Hab.	PUNTAJE	VALOR	NÚMERO	PUNTAJE	VALOR	%	PUNTAJE	VALOR	%	PUNTAJE	VALOR	ADIMENSIONAL	PUNTAJE	VALOR	
1	San Juan	Antes de las bocas del río Tadó (antes de la adó)	5°26'19"	76°31'39,9"	97,46	25	4,25	5470	50	5,50	10	25	9,25	20-35%	50	4,50	63,9	25	5,00	51,84	50	3,00	31,50
2		Desembocadura del río Mungarrá	5°15'43,6"	76°34'41,9"	100,74	50	8,50	19043	75	8,25	3	0	0,00	7-20%	75	6,75	61,3	25	5,00	52,81	50	3,00	31,50
3		Profundidad después de la desembocadura del río Mungarrá (después de la adó)	5°11'29,8"	76°36'49,5"	86,40	25	4,25	4849	25	2,75	0	0	0,00	7-20%	75	6,75	39,8	50	10,00	50,67	50	3,00	26,75
4		Mojarrá (antes de la estmina)	5°09'31,7"	76°39'28,7"	32,58	25	4,25	1828	25	2,75	0	0	0,00	7-20%	75	6,75	67,7	25	5,00	53,07	50	3,00	21,75
5		Desembocadura de la quebrada San Pablo	5°09'12"	76°41'15,8"	29,78	25	4,25	25686	75	8,25	0	0	0,00	7-20%	75	6,75	59,3	25	5,00	47,83	75	4,50	28,75
6		San Antonio (después de la estmina)	5°07'58"	76°41'23,2"	15,14	0	0,00	850	0	0,00	0	0	0,00	0-7%	100	9,00	59,6	25	5,00	53,13	50	3,00	17,00
7		Pringamó (antes de la Andagoya)	5°06'23,3"	76°41'52,9"	14,78	0	0,00	829	0	0,00	2	0	0,00	0-7%	100	9,00	65	25	5,00	54,42	50	3,00	17,00
8		Desembocadura del río Condoto	5°05'33,1"	76°41'48,7"	34,76	25	4,25	32062	100	11,00	10	25	9,25	0-7%	100	9,00	36,5	50	10,00	53,49	50	3,00	46,50
9	Río Iró	Santa Rita	5°00'00,6"	76°28'00,1"	39,47	25	4,25	10042	50	5,50	0	0	0,00	20-35%	50	4,50	58,3	25	5,00	78,52	25	1,50	20,75
10		Santa Barbara	5°00'07,1"	76°28'00,3"	30,42	25	4,25	1708	25	2,75	0	0	0,00	20-35%	50	4,50	42,1	25	5,00	73,33	25	1,50	18,00
11		Viriúiro	5°07'01,9"	76°26'00,6"	54,62	25	4,25	3066	25	2,75	0	0	0,00	7-20%	75	6,75	44,6	25	5,00	70,7	25	1,50	20,25
12		Encharcazon	5°00'07,6"	76°29'07,1"	51,68	25	4,25	2901	25	2,75	1	0	0,00	7-20%	75	6,75	69,3	25	5,00	71,93	25	1,50	20,25
13	Río Condoto	Santa Ana	5°06'57,267"	76°29'54,407"	202,82	75	12,75	11385	50	5,50	7	25	9,25	35-50%	25	2,25	67,1	25	5,00	54,1	50	3,00	37,75
14		Acosó	5°06'0,484"	76°33'3,123"	66,51	25	4,25	3733	25	2,75	9	25	9,25	20-35%	50	4,50	95,4	0	0,00	55,34	50	3,00	23,75
15		La Unión	5°05'8,317"	76°34'9,787"	9,76	0	0	548	0	0,00	6	25	9,25	7-20%	75	6,75	59,9	25	5,00	69,87	50	3,00	24,00
16		Aguacate	5°05'8,933"	76°37'29,704"	130,03	50	8,5	7298	50	5,50	8	25	9,25	7-20%	75	6,75	83,8	0	0,00	68,39	50	3,00	33,00
17		La Muriña	5°05'42,172"	76°38'5,856"	2,88	0	0	162	0	0,00	0	0	0,00	7-20%	75	6,75	23	50	10,00	67,75	50	3,00	19,75
18	Río Suruco	La Honda	5°07'17,579"	76°44'33,485"	19,79	0	0	1111	25	2,75	2	0	0,00	0-7%	100	9,00	66,5	25	5,00	56,53	50	3,00	19,75
19		Desembocadura del Suruco (Después de la Andagoya)	5°04'44,9"	76°42'59,7"	98,44	25	4,25	5525	50	5,50	7	25	9,25	7-20%	75	6,75	75,2	0	0,00	56,53	50	3,00	28,75

Fuente: propia del estudio

Tabla 30. Reclasificación de los resultados del modelo

0-9,94	1	0	0%
9,94-13,86	2	0	0%
13,86-17,78	3	2	11%
17,78-21,70	4	6	32%
21,70-25,62	5	3	16%
25,62-29,54	6	3	16%
29,54-33,46	7	3	16%
33,46-37,37	8	0	0%
37,37-41,29	9	1	5%
>41,29	10	1	5%
		19	100%

Fuente: propia del estudio

7.2. ANALISIS DE RESULTADOS

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se evidencia que las estaciones propuestas para la quebrada Santa Ana y la desembocadura del río Condoto, son las que presentan las mayores calificaciones, por tanto son ellas las que deben ser consideradas de carácter prioritario, por los impactos generados sobre el recurso hídrico, en seguida debemos tener en cuenta las estaciones propuestas en el río Suruco, la estación El Aguacate en el río Condoto y las estaciones ubicadas en las desembocaduras de la Quebrada San Pablo, río Mungarrá, río Tadocito y la ubicada en profundo, después de la desembocadura del río Mungarrá; a estas estaciones se les debe realizar un seguimiento permanente a fin de mantener información de las condiciones de la calidad de las corrientes y se pueden tomar decisiones rápidas y eficaces cuando se evidencia deterioro de las mismas.

Las restantes estaciones presentan calificaciones más bajas, es necesario realizarles seguimiento, ya que sirven de control de la calidad del agua y usualmente allí se ubican los sitios de captación de aguas para los acueductos locales, sobre todo las que se encuentran en la parte alta de las cuencas.

Cada una de estas estaciones debe responder a los criterios de calidad propuestos por la autoridad ambiental para la cuenca o tramo de la cuenca.

- **Cuenca del río Iró:** Esta sub-cuenca presenta calificaciones intermedias. Si bien las estaciones de Santa Rita y Santa Bárbara, muestran resultados muy similares, es pertinente dejar las dos estaciones de monitoreo, para tener control ante las posibles incursiones de nuevos entables mineros, ante la presión del gobierno en otros lugares, como control a la minería ilegal. Las estaciones de Viro-viro y Encharcazón, responden a la presencia de dos de

los poblados más importantes del Municipio del Río Iró. En el caso de Encharcazón, y dado este poblado se encuentra ubicado sobre la vía que conduce de Istmina a Condoto, siendo el puerto de acceso al municipio, es necesaria la permanencia de esta estación.

En la eventualidad que se considere, disminuir algunos puntos de la red, se podría considerar la eliminación de la estación de monitoreo en Santa Bárbara, ya que se encuentra ubicada en la parte alta de esta cuenca y presenta los menores valores y por tanto es menor la probabilidad de contar con generadores de contaminación.

Frecuencia de Monitoreo: semestral (se incluyen épocas de sequía y de invierno)

- **Cuenca del río Condoto:** es la sub-cuenca con las más grandes variaciones en las sumatorias de los valores analizados, entre una y otra estación, como se dijo antes el investigador esperaba este resultado, porque en este río, se desarrolla la mayor cantidad de actividad minera de todo el departamento del Chocó, es pertinente mantener las estaciones propuestas y en la eventualidad que se considere necesario, se puede considerar el establecimiento de otra estación entre las estaciones de Acosó, el Aguacate y la Muriña.

Frecuencia de Monitoreo: bimensual, para la estación de la desembocadura del río Condoto y Trimestral para las estaciones de Santa Ana, Acosó, la Unión y la Muriña.

- **Cuenca del río Suruco:** esta cuenca presenta valores bajos en la estación de la Honda (la cual se podría eliminar) y valores intermedios en la estación propuesta y ubicada en la desembocadura del río Suruco al río San Juan, esto responde principalmente a la actividad minera que se desarrolla en esta sub-cuenca.

Frecuencia de Monitoreo: semestral (se incluyen épocas de sequía y de invierno)

- **Directos al río San Juan:** estas han sido las tradicionales estaciones de CODECHOCÓ, ubicadas sobre las desembocaduras de las fuentes que vierten de manera directa sobre el río San Juan, obtuvieron resultados intermedios en la metodología propuesta. Los mismos son explicables en atención a que los caudales aportados por el río San Juan son importantes y por tanto, se entiende que esta cuenca tiene una alta capacidad de dilución de los parámetros contaminantes. Se propone mantener las estaciones y en la medida que se encuentren cambios en la tendencia, establecer otras estaciones sobre dicha corriente.

Frecuencia de Monitoreo: trimestral (se incluyen épocas de sequía y de invierno).

Se propone las siguientes frecuencias de monitoreo y los parámetros a monitorear, aunque ello es del resorte total de la autoridad ambiental, quien autónomamente decidirá, el número de estaciones, la frecuencia y el tipo de parámetros a muestrear.

Tabla 31. FRECUENCIA DE MONITOREO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES PROPUESTAS

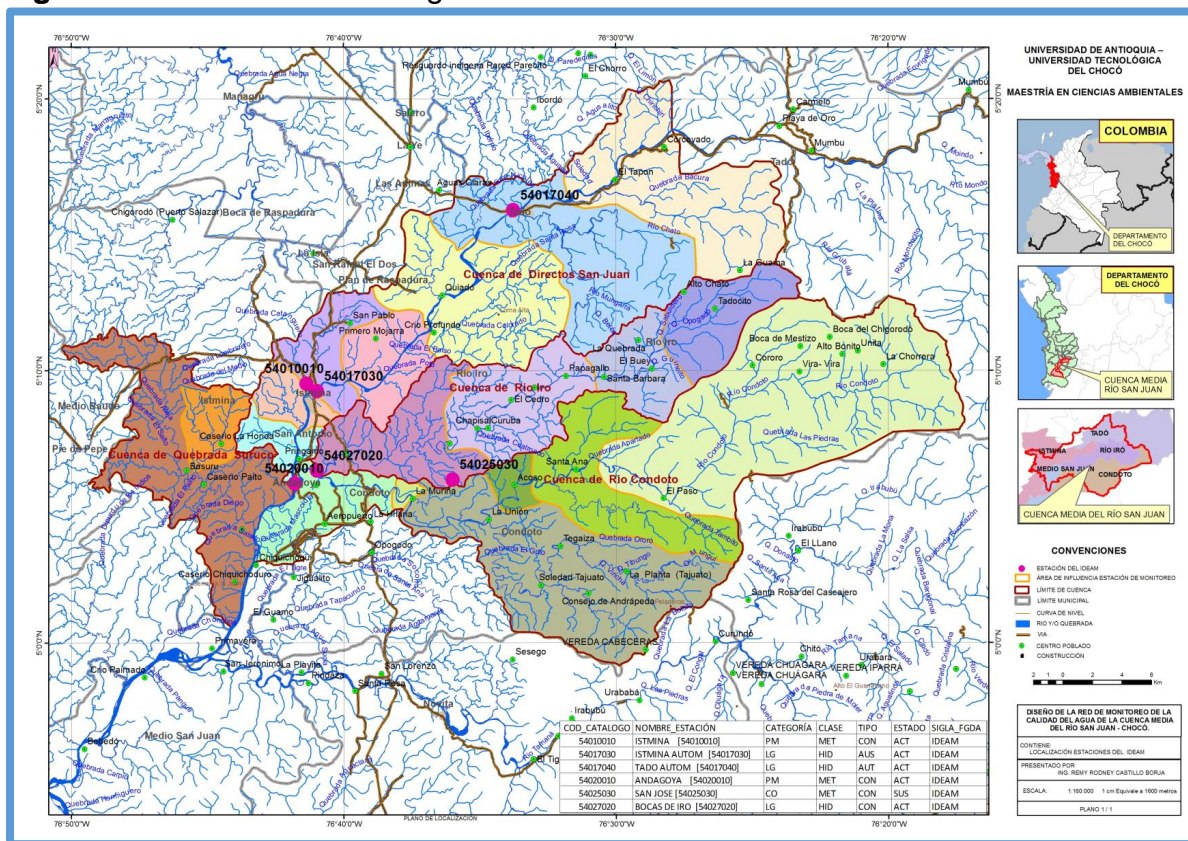
ITEM	CUENCAS	ESTACIONES	OD (mg/l)	OD (% Satu)	Turbiedad (NTU)	Conductividad (μS/cm)	pH	T (°C)	DBO5 (mg/l)	Solidos totales (mg/l)	Solidos Suspendidos (mg/l)	Alcalinidad (mg/l)	Coli T. (NMP/100ml)	E-Coli (NMP/100ml)	Fosfatos (mg/l)	Nitratos (mg/l)
1	Directos río San Juan	Antes de las bocas del río Tadocito (antes de Tado)	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
2		Desembocadura río Mungarrá	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
3		Profundó después de desembocadura del río Mungarrá (después de Tadó)	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
4		Mojarra (antes de Istmina)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
5		Desembocadura Quebrada San Pablo	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
6		San Antonio (después de Istmina)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
7		Pringamó (antes de Andagoya)	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
8		Desembocadura río Condoto	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual
9	Río Iró	Santa Rita	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	
10		Santa Barbara	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	
11		Viri viro	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	
12		Encharcazon	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	
13	Río Condoto	Santa Ana	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	mensual	
14		Acosó	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	
15		La Unión	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	
16		Aguacate	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	
17		La Muriña	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	
18	Río Suruco	La Honda	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral		
19		Desembocadura del Suruco (Después de Andagoya)	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual	bimensual		

Fuente: propia del estudio

Además de las estaciones que tiene CODECHOCÓ en el área de estudio, se encontró que existen, estaciones hidrológicas del IDEAM, lo cual podría ser considerado como una oportunidad de trabajo interinstitucional y de desarrollo de la red propuesta.

En la figura 21, se muestran las estaciones que tiene el IDEAM y que se encuentran ubicadas en las áreas de influencia de las estaciones de monitoreo desarrollada en este trabajo.

Figura 21: Estaciones hidrológicas del IDEAM en el área de estudio.



Fuente: IDEAM

CAPITULO IV

8. CONCLUSIONES

Este estudio propone una metodología de diseño utilizando análisis multicriterio por el método de las jerarquías analíticas (MJA) y de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), haciendo uso de criterios previamente concertados y bajo un marco matemático sencillo, permitiendo la selección de los sitios de localización de las estaciones de monitoreo y la consecución de los objetivos de la red de vigilancia (control y seguimiento a fuentes contaminantes). Se pudo concluir en el desarrollo de la investigación, que la metodología de multicriterio, permite aprovechar la experticia de los funcionarios de la autoridad ambiental para el establecimiento de los criterios y sus pesos, en atención a las condiciones particulares de cada cuenca; tomando en cuenta el grado de detalle y la cantidad de información que se tenga en la entidad de las diferentes cuencas, bajo su área de jurisdicción.

Es necesario desarrollar un plan de monitoreo bien estructurado, con protocolos, procedimientos y manuales, que permitan en todo momento y a cualquier funcionario adscrito a la Subdirección de Calidad y Control Ambiental y al Laboratorio de Calidad Ambiental de CODECHOCÓ, poder desarrollar las actividades y procedimientos contemplados en el plan. De otra parte se hace necesario disminuir de manera drástica el número de estaciones de monitoreo en el área de estudio de este proyecto y ser más rigurosos y sistémicos en la colección de los analitos, su procesamiento, guarda y/o almacenamiento y en la generación de documentos para la alta gerencia, para la gestión y administración del recurso hídrico en el área de jurisdicción de la autoridad ambiental regional.

A pesar de la dificultad asociada a la poca información disponible, para alimentar el modelo, la aplicación realizada, permitió identificar sitios críticos a partir de los criterios relacionados con aspectos fisiográficos, socioeconómicos y ambientales.

La metodología propuesta dio lugar a una red de monitoreo de la calidad del agua con apenas 19 estaciones de vigilancia y permite de manera ágil y sencilla el establecimiento de nuevas estaciones, además el modelo tiene en cuenta las condiciones de accesibilidad, que en muchos casos se convierte en una limitante de tipo logístico, para realizar los muestreos.

En la medida que la información sea más detallada, los resultados del modelo serán mucho mejores, ya que la delimitación de las zonas potenciales de ubicación de las estaciones de monitoreo, será más precisa.

9. RECOMENDACIONES

Se le recomienda a la autoridad ambiental (CODECHOCO), implementar el modelo propuesto en el presente trabajo de investigación, en otros tramos del río San Juan y en otras cuencas de su jurisdicción, ya que en el desarrollo del proceso investigativo, se pudo evidenciar que en otras cuencas, se cuenta con igual o mejor información que la dispuesta para el desarrollo del modelo propuesto aquí, además que se cuenta con un equipo calificado en el manejo del SIG, para el departamento del Chocó.

Se evidenció además que se tiene información en otras cuencas, de otras dinámicas de aprovechamiento del recurso hídrico dentro del departamento del Chocó, que hacen interesante la aplicación del modelo en esos otros escenarios, (zonas de aprovechamiento forestal, áreas protegidas, ambientes marino – costero, etc.), lo que le permitiría a la autoridad ambiental ser más ágil, en la toma de decisiones respecto al manejo y gestión del recurso hídrico.

Se pone de manifiesto que la metodología desarrollada es fácil de implementar, siempre y cuando se cuente con una estructura básica mínima (laboratorio ambiental básico, software y hardware SIG, equipo humano calificado), que permita alimentar el modelo con la información suficiente, ello implica que se debe tener desarrollado los protocolos y procedimientos, que estén asociados a la captura del datos y su posterior procesamiento y adecuado almacenamiento.

Por último, se recomienda a la Universidad Tecnológica del Chocó “D.L:C.”, seguir apoyando este tipo de esfuerzos de investigación, ya que los mismos redundan en el fortalecimiento de la investigación y resolución de problemas y conflictos ambientales en el departamento, además de la cualificación de la planta docente de la misma.

BIBLIOGRAFIA.

Andrade A. 2004. Con la colaboración de Fabián Navarrete Le Blass. Lineamientos para la aplicación del enfoque eco sistémico a la gestión integral del recurso hídrico. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, p. 111.

Cano L y Escobar JF. 2011. Diseño de Redes de Monitoreo apoyadas por Herramientas SIG y Modelación Geoespacial. Montevideo: Aqua-LAC Revista del programa hidrológico internacional para América Latina y el Caribe de la UNESCO, 3: 18-25

CODECHOCO. 1998. Informe final del proyecto de capacitación en técnicas de explotación y alternativas de producción sostenible en el departamento del Chocó. Convenio 0051 CODECHOCÓ – SENA.

Dannisøe J. y Larsen H., 1997. The use de models in monitoring strategies. Monitoring Tailor-Made II: Information Strategies in Water Management. Nunspeet, September 1997: 247-252.

Debels P., Figueroa R., Urrutia R., Barra R. y Niel X. 2005. Evaluation of water quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. Environmental Monitoring and Assessment: Vol. 110, N° 1-3: 301-322

Defensoría del Pueblo. 2009. INFORME DIAGNÓSTICO DEL CUMPLIMIENTO DEL DERECHO HUMANO AL AGUA EN EL DEPARTAMENTO DE CHOCÓ: Análisis de Políticas Públicas con Perspectiva de Derechos Humanos. Bogotá D.C.

Dixon W., Smyth G. y Chiswell B., Optimized selection of river sampling sites. Water Resources. Vol. 33, N° 4: 971 – 978.

Dourojeanni A [Internet]. 2004. Manejo integral de aguas por cuencas: una forma de gobernabilidad. Disponible en: http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/manejo_integral_cuencas.pdf (Fecha de acceso: 26 de abril de 2014)

Dourojeanni A, Jouraviev A, Chávez G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Santiago de Chile: CEPAL división de recursos naturales. P. 83.

Eslava R y Jesús A. 1994. Climatología del Pacífico Colombiano. Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Geofísicas. 79p.

Fall C., Hinojosa-Peña A. y Carreño-de-León M. 2006. Design of a monitoring network and assessment of the pollution on the Lerma River and its tributaries by wastewater disposal. *Science of Total Environment*, N° 373: 208-219.

Fernández, N., Ramírez, A., y Solano, F. 2005. Dinámica Fisicoquímica y Calidad del Agua en la Microcuenca el Volcán, Municipio de Pamplona, Colombia. *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS*, Vol. 3, N° 1: 5-17.

Gómez M y Barredo J. 2006. *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio*. Alfa-omega. México: 279p.

Harmancioglu N., Icaza Y. y Gul A., 2004. The Use of an Optimization Method in Assessment of Water Quality Sampling Sites. *European Water*. N° 5/6: 25-34.

Heno S. 1988. *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá: Ed. Universidad de Santo Tomás, Centro de Enseñanza Desescolarizada, 398 p.

Herrera M y Walschbuerger T. 1999. *El estudio de la biodiversidad regional: Aportes al conocimiento y a la práctica investigativa. Proyecto Biopacífico. Informe final. Tomo VI*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente, GEF, PNUD.

IDEAM, 2002. *Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC - Tomo 1. Conceptos, Definiciones e Instrumentos de la Información Ambiental de Colombia*. Bogotá D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

IDEAM. 2004. *Guía de Monitoreo y Seguimiento del Agua*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 17p.

IDEAM. 2007. *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 131-146

IGAC, 2011. *Estudio general de suelos y zonificación de tierras : departamento del Chocó, anexos*. Bogotá D. C.: INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC, 2011.

IGAC. 1996. *Diccionario Geográfico de Colombia. Tomo 1*. Bogotá: INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI. 638 p.

IIAP. 2013. *Informe final: Plan Estratégico de la Macrocuena del Pacífico*. Quibdó: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, 487p.

Ilker K, Jiabao M. 2009. Optimal water quality monitoring network design for river systems. *Atlanta: Journal of Environmental Management*, 90: 2987 – 2998.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC S.F. Planchas: 203, 204, 222 y 223

INVEMAR. 2001. Red de Monitoreo de la Calidad de Aguas Marinas y Costeras de Colombia REDCAM. Santa Marta: INVEMAR Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andreis".

Karamouz M., Karami M. y Kerachian R., 2004. Design of Water Quality Monitoring Network of River Systems. World Water Congress. ASCE. 9p.

Lo S., Kuo J. y Wang M., 2002. The influence of artificial cutoff on a monitoring system and the Water Quality of the Keelung River. Water Science and Technology. Vol. 46, N° 11-12: 231-236.

Martínez AG. 2010. Vertientes Hidrográficas de Colombia. Disponible en: <http://www.todacolombia.com/geografia-colombia/vertientes-colombia.html#1> (Fecha de acceso: 31 de mayo de 2016.)

Mejía F, Mesa O, Poveda G. et al. 1999. Distribución espacial y ciclos anual y semi-anual de la precipitación en Colombia. Medellín: DYNA Revista de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 127/66: p9.

Mendoza G y Martins H. 2006. Multicriteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. Forest Ecology and Management, 230: 1-22.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT. 2010. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia.

Montoya C, Loaiza D, Cruz C, Torres P, Escobar JC y Delgado LG. 2009. Propuesta metodológica para la localización de estaciones de monitoreo en redes de distribución utilizando sistemas de información geográfica. Medellín: Revista Facultad de Ingenierías Universidad de Antioquia, 49: 129-140.

Moreno A, Toro M, Carvajal L. 2008. Revisión de criterios y metodologías de diseño de redes para el monitoreo de la calidad del agua en ríos. Medellín: Avances en Recursos Hidráulicos, 18: 57-68.

Municipio de Istmina. 2005. Esquema de Ordenamiento Territorial Istmina Chocó 2005. Istmina: Alcaldía Municipal de Istmina, 137p.

Olsen R. y Robertson D., 2003. Monitoring Design. Water Resources Impact AWRA. Vol. 5, N° 5: 14-16.

- Ouyang Y., 2005. Evaluation of river monitoring stations by principal component analysis. *Water Resources*. N° 39: 2621-2635.
- Park S.-Y, Choi J, Wang S. 2006. Design of Water Quality Monitoring River using the Genetic Algorithm. Seoul: Science Direct.
- PDA Chocó. 2016. Plan General Estratégico y de Inversiones PGEI 2016 – 2019. Quibdó: Plan Departamental de Agua del Chocó – PDA Chocó,
- Pérez G. 1996. Metodología de la investigación educacional. La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 139p .
- Poveda G. 2004. La hidro-climatológica de Colombia: una síntesis desde la escala inter- decadal hasta la escala diurna. Bogotá: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, 28: 201-222.
- Ramírez A., Fernández N. y Solano F. (2005). Dinámica fisicoquímica y calidad del agua en la microcuenca el volcán, municipio de Pamplona, Colombia. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona. 5-16
- Redmond KT., Koch RW. 1991. Surface climate and stream- flow variability in the western United States and their relationship to large-scale circulation indices. *Water Resource Res.* 27: 2381-99.
- Saloranta T. 2006. Highlighting the model code selection and application process in policy-relevant water quality modeling. *Ecological modelling* 194 1-3: 316–327.
- Sánchez L, Félix D. 2006. Guía y protocolos del monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Sander T., Adrian D. y Berger B., 1976. Design a River Basin Sampling System. Water Resources Research Center University of Massachusetts at Amherst. Publication N° 62, report FY-76-9. 88 p.
- Sander T., Ward R., Loftis J., Steele T., Adrian D. y Yevjevich V., 1983. Design of Network for Monitoring Water Quality. Water Resources Publications, Littleton, Colorado. 328 p.
- Segura S., Vargas V. y Galvis A., 2003. Metodología Geoestadística para proponer estaciones de muestreo en el Río Cauca en el tramo Salvajina-La Virginia. Seminario Internacional: Hidroinformática en la gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Universidad del Valle/Instituto CINARA: 142-150.

Sharp W., 1970 Stream Order as a Measure of Simple Source Uncertainty. Water Resources Research. Vol. 6, N° 3: 919-926.

Smith D. y Maasdam R., 1994. New Zealand's Nacional River Water Quality Network: I. Design and Physic-chemical Characterization. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. The Royal Society of New Zealand. Vol. 28: 19-35.

Steele T., 1987. Water quality monitoring strategies. Hydrological Sciences Journal. Vol. 32, N° 2-6: 207-213.

Strobl R., Robillard P., Shannon R., Day R. y Mcdonnell A. 2006. A Water Quality Monitoring Network Design, Methodology for the Selection of Critical Sampling Points: Part I. Enviromental Monitoring and Assessment. N° 112: 137-158.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2003. Informe control de la calidad del agua en Colombia. Superintendencia. Bogotá D.C.: Dirección técnica de gestión de acueducto y alcantarillado.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2005. Informe control de la calidad del agua en Colombia 2004.


Superintendencia. Bogotá D.C.: Dirección técnica de gestión de acueducto y alcantarillado. SSPD 2007

Todorov AV. 1985. Compendio de apuntes de meteorología agrícola para la formación del personal meteorológico de la Clase IV. Ginebra: OMM, 593: 149 p.

Vieux B y Farajalla N. 1994. Capturing the essential spatial variability in distributed hydrological modelling: Hydraulic roughness. Hydrological Processes 83: 221-236.

ANEXOS

ANEXO 1. Censo minero en la cuenca media del río San Juan

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CHOCO						
CODECHOCO						
LOCALIZACION DE MINAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ (AÑO 20015 - 2016)						
ZONA DEL SAN JUAN						
No	PROPIETARIO	SECTOR/ VEREDA	COORDENADAS PLANAS		FUENTE HIDRICA AFECTADA	
			X	Y	CAPTACION	VERTIMIENTO
MUNICIPIO DE ISTMINA						
1	ORLANDO	SURUCO	1.032.080	1.063.176	Q/DA SURUCO	Q/DA SURUCO
2	HAMID CHAVEZ RIBON	SURUCO	1.034.301	1.064.759	Q/DA SURUCO	Q/DA SURUCO
3	JAIRO GIL MONTOYA	PERADO	1.038.082	1.062.901	Q/DA PERADO	Q/DA PERADO
4	CARLOS BENAVIDES	PERADO	1.040.262	1.063.793	Q/DA PERADO	Q/DA PERADO
5	DARIO ESPINAL	PERADO	1.037.953	1.062.858	Q/DA PERADO	Q/DA PERADO
6	JOSE CONCEPCIÓN MURILLO	BASURU	1.057.812	1.037.968	Q/DA HONDA	Q/DA HONDA
7	FAUNIER VINASCO GARCIA	BASURU	1.058.291	1.038.306	Q/DA ISIDRA	Q/DA ISIDRA
8	JAIRO GIL MONTOYA	BASURU	1.058.344	1.038.553	Q/DA ISIDRA	Q/DA ISIDRA
9	JAVIER NOYA	BASURU			Q/DA HONDA	Q/DA HONDA
10	BORIS ARTURO CHAVEZ	BASURU	1.061.240	1.031.744	Q/DA HONDA	Q/DA HONDA
11	ENEIVI BARRIOS	BASURU			Q/DA HONDA	Q/DA HONDA
12	DIEGO GIRALDO	BASURU	1.058.815	1.034.659	Q/DA SURUCO	Q/DA SURUCO
13	HARBAY Y LIBARDO VELEZ	BASURU	1.059.368	1.034.536	Q/DA SURUCO	Q/DA SURUCO
14	JAVIER VELASQUEZ	PERADO-MATRACA	1.061.212	1.036.937	Q/DA PERADO	Q/DA PERADO
15	BERNARDO TRUJILLO - MARCIAL CORTEZ	SURUCO-SAN JOSE	1.059.336	1.033.304	Q/DA SURUCO	Q/DA SURUCO
16	GERMAN GIL	SURUCO-SAN JOSE	1.061.456	1.034.658	Q/DA SURUCO	Q/DA SURUCO
17	JAIRO LOPEZ	SURUCO-SAN JOSE	1.063.759	1.032.686	Q/DA SURUCO	Q/DA SURUCO
18	LUIS FERNANDO ARIAS	PERADO EL 9	1.064.682	1.034.625	Q/DA PERADO	Q/DA PERADO
19	HOLMAN CHAVEZ	PERADO EL 9	1.065.112	1.034.225	Q/DA PERADO	Q/DA PERADO
20	OSCAR BLANDON	PERADO	1.064.684	1.038.752	Q/DA PERADO	Q/DA PERADO
21	BENITO SOTO	PERADO	1.066.555	1.032.654	Q/DA PERADO	Q/DA PERADO
No	PROPIETARIO	SECTOR/ VEREDA	COORDENADAS PLANAS		FUENTE HIDRICA AFECTADA	
			X	Y	CAPTACION	VERTIMIENTO
MUNICIPIO DE TADO						
1	YENNY MOSQUERA	HUECO OSCURO			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
2	DOMINGO FUENTES	LA CANDELARIA			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
3	HUGO CHAVEZ	LA CANDELARIA			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
4	DANILO GOMEZ	LA UNION			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
5	DANILO GOMEZ	LA UNION			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
6	MARCELIANO ARRIETA	LA UNION			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
7	HENRY GOMEZ	PLAYA DE ORO			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
8	JOSE ONEL MORENO MONTOYA	ANGOSTURA			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
9	ALBEIRO TORRES	ANGOSTURA			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
10	MIGUEL ANGEL Y GABRIEL GOMEZ	ANGOSTURA			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
11	CARLOS ARRIETA	CORCOBADO			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
12	JAIRO GONZALES	CORCOBADO			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
13	FERNANDO ARRIETA	EL TAPON			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
14	CARLOS ARRIETA	CORCOBADO			RIO SAN JUAN	RIO SAN JUAN
No	PROPIETARIO	SECTOR/ VEREDA	COORDENADAS PLANAS		FUENTE HIDRICA AFECTADA	
			X	Y	CAPTACION	VERTIMIENTO
MUNICIPIO DEL MEDIO SAN JUAN						
1	ROGER CABRERA	GUARAPITO	1.056.316	1.043.177	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
2	EDGAR REZA	GUARAPITO	1.055.883	1.043.270	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
No	PROPIETARIO	SECTOR/ VEREDA	COORDENADAS PLANAS		FUENTE HIDRICA AFECTADA	
			X	Y	CAPTACION	VERTIMIENTO

ANEXO 1. Continuación Censo minero en la cuenca media del río San Juan

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CHOCO						
CODECHOCO						
LOCALIZACION DE MINAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ (AÑO 20015 - 2016)						
ZONA DEL SAN JUAN						
MUNICIPIO DE CONDOTO						
1	ALEXANDER PIEDRAHITA	LA TRAMPA	1.053.999	1.047.786	POZA	Q. LOS NEGROS
2	ALUVIONES DE COLOMBIA	LA HILARIA	1.056.704	1.049.999	POZA	Q. LA HILARIA
3	ALUVIONES DE COLOMBIA	ESPANTA MUERTO	1.054.368	1.046.868	POZAS	RIO CONDOTO
4	ALUVIONES DE COLOMBIA	LA HILARIA	1.053.256	1.047.467	POZAS	Q. LOS NEGROS
5	ALVARO GOMEZ ROBAYO	JIGUALITO			Q. LOS NEGROS	RIO OPOGODO
6	ANDRES FELIPE GÓMEZ	BABILLERO	1.052.635	1.055.418	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
7	ANTONIO ARIAS	EL AGUACATE	1.053.202	1.050.033	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
8	ANTONIO ARIAS	EL PASO	1.055.188	1.066.659	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
9	ARGENIS OSORIO	SANTANA	1.057.466	1.061.929	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
10	AURELIO PIEDRAHITA RIBON	LA TRAMPA	1.054.520	1.044.826	POZA	Q. LOS NEGROS
11	AURELIO RIBON	OPOGODO	1.051.578	1.046.350	RIO OPOGODO	RIO OPOGODO
12	BENJAMIN GÓMEZ	ACOSÓ	1.054.679	1.057.548	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
13	CARLOS ESCOBAR	SANTANA	1.055.544	1.062.380	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
14	CARLOS GALLEGU BERMUDEZ	ACOSÓ	1.055.119	1.058.062	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
15	DORIAN PINEDA	SANTANA	1.056.295	1.060.984	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
16	DORIAN ALBERTO PINEDA	EL PASO	1.055.429	1.065.999	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
17	DORIAN ALBERTO PINEDA	SANTANA	1.055.544	1.062.491	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
18	ELIECER ECHAVARRIA	SANTANA	1.055.327	1.060.415	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
19	ENEVIS JOSE BARRIOS	LA PEÑA	1.056.390	1.063.922	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
20	EZEQUIEL HINESTROZA	SANTANA	1.055.378	1.058.930	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
21	FERNANDO MINA SILVA	PLATINERO	1.053.999	1.047.753	POZA	Q. PLATINERO
22	FERNANDO RODRIGUEZ	LA FLORIDA	1.052.159	1.051.728	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
23	FIDEL ARENAS Y FERNANDO GIL	ACOSO	1.054.652	1.057.579	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
24	GERMAN ESPINAL	LA HILARIA	1.052.402	1.048.123	POZA	Q. LOS NEGROS
25	GILBERTO MONTOYA	SANTANA	1.055.646	60.091	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
26	GUILLERMO FRANCO	SANTARITA	1.053.232	1.048.431	POZA	RIO CONDOTO
27	GUILLERMO PEREZ	LA PEÑA	1.056.421	1.064.320	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
28	GUSTAVO FRANCO M	SANTARITA	1.053.754	1.047.907	POZA	RIO CONDOTO
29	HAROL PINEDA	EL AGUACATE	1.053.387	1.050.248	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
30	HAROLD PINEDA	SANTANA	1.055.157	1.059.472	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
31	HUMBERTO GARCIA	LA HILARIA	1.081.615	1.046.718	POZA	Q. LA HILARIA
32	JAVIER ANAYA	LA TRAMPA	1.048.872	1.050.806	POZA	Q. LA HILARIA
33	JAVIER ANAYA	MURIÑA	1.052.760	1.053.699	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
34	JAVIER GIRALDO	ACOSÓ	1.054.854	1.057.452	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
35	JORGE FRANCO	LA HILARIA	1.053.293	1.047.876	POZAS	Q. LOS NEGROS
36	JORGE LUIS GONZALEZ	PLATINERO	1.050.188	1.044.028	POZA	Q. PLATINERO
37	JUAN GOMEZ	LA HILARIA	1.052.310	1.047.547	POZAS	Q. LOS NEGROS
38	JUAN LANCE	ACOSÓ	1.053.794	1.056.378	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
39	LIBARDO GOMEZ	LA HILARIA			POZAS	Q. LOS NEGROS
40	LUIS CAÑAS	ACOSO	1.055.082	1.057.732	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
41	LUIS CAÑAS	SANTANA	1.056.488	1.063.679	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
42	LUIS FERNANDO TRUJILLO	LA TRAMPA	1.052.553	1.043.688	POZA	Q. LA HILARIA
43	LUIS GABRIEL VALDERRAMA	PLATINERO	1.051.047	1.042.549	POZA	Q. PLATINERO
44	LUIS PAJARO	EL PASO	1.055.510	1.066.061	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
45	MANUEL ANTONIO MONTES	SANTANA	1.055.428	1.060.196	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
46	MARCOS FRANCO M	SANTARITA	1.053.293	1.047.876	POZA	RIO CONDOTO
47	MIGUEL ANGEL LOPEZ	SANTANA	1.056.611	1.063.562	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
48	NOE PALACIOS	LA TRAMPA	1.055.382	1.047.321	POZA	Q. LOS NEGROS
49	NOE PALACIOS	CONDOTO	1.055.289	1.047.197	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
50	NORIS CARCAMO	LA MURIÑA	1.052.468	1.054.284	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
51	NORIS DEL C. DUEÑAS	LA HILARIA	1.052.909	1.048.459	POZAS	Q. LOS NEGROS
52	RAFAEL HERNANDEZ	LA TRAMPA	1.048.133	1.048.373	POZA	Q. LA HILARIA
53	RAUL CARRILLO	SANTANA	1.056.259	1.061.400	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
54	RODRIGO ECHEVERRY	LA FLORIDA	1.052.132	1.052.436	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO
55	VICENTE JIMENEZ	OPOGODO	1.053.166	1.041.202	Q/DA SANTA ANA	Q/DA SANTANA
56	VICENTE JIMENEZ	JIGUALITO	1.051.412	1.046.562	Q. LOS NEGROS	RIO OPOGODO
57	WILLIAN Y HERMES MENDOZA	JIGUALITO	1.051.139	1.041.779	POZA	Q. MARCOS DIAZ
58	ZAMIR RODRIGUEZ	BABILLERO	1.052.583	1.055.221	RIO CONDOTO	RIO CONDOTO

Fuente: CODECHOCÓ

ANEXO 2. Coberturas y usos del suelo en el área de estudio

Item	ESTACIONES	Latitud	Longitud	CODIGO	NomClase	Área,Ha	PORCENTAJEBOSQUE
1	Acosó	5°06'0,484"	76°33'3,123"	233	PastosEnmalezados	1,71	0,02577645
				243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	65,17	2,483536932
				244	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	24,87	0,073227434
				333	TierrasDesnudasyDegradadas	54,46	0,818901488
				411	ZonasPantanosas	8,61	0,279753142
				511	Ríos	99,96	0,751151055
				3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	238,50	3,586071085
				3221	ArbustalDenso	90,89	0,013353258
				3231	VegetaciónSecundariaAlta	94,87	0,073172867
				31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	111,61	91,89505629
				233	PastosEnmalezados	0,00	5,78375E-06
				242	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	06,06	0,815695108
243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	61,56	6,626122014				
244	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	85,98	1,430320591				
333	TierrasDesnudasyDegradadas	71,13	1,316098258				
411	ZonasPantanosas	80,41	2,925688839				
511	Ríos	90,96	0,699579553				
3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	001,05	7,698909956				
3221	ArbustalDenso	237,70	1,828090154				
3231	VegetaciónSecundariaAlta	61,75	0,474943831				
31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	905,93	76,18454631				
3	Antes de las bocas del río Tadó (Antes de Tado)	5°26'19"	76°31'39,9"	231	PastosEmpios	01,87	1,049960041
				233	PastosEnmalezados	28,96	0,298533067
				242	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	13,62	3,232494172
				243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	44,06	14,88405297
				244	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	67,52	0,695946134
				333	TierrasDesnudasyDegradadas	81,05	0,835426768
				411	ZonasPantanosas	69,35	1,745482211
				511	Ríos	87,36	1,931184341
				3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	089,76	21,53944782
				3221	ArbustalDenso	548,21	6,681193924
				3231	VegetaciónSecundariaAlta	52,28	4,661723825
				31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	117,98	42,44455472
4	Desembocadura del Surucó (Después de Andagoya)	5°04'44,9"	76°42'59,7"	243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	92,08	7,150837002
				333	TierrasDesnudasyDegradadas	403,69	14,50349777
				511	Ríos	38,67	1,432767783
				3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	74,20	10,06583235
				3221	ArbustalDenso	54,63	0,471512994
				3231	VegetaciónSecundariaAlta	17,56	1,21467956
31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	306,45	65,16087255				
Item	ESTACIONES	Latitud	Longitud	CODIGO	NomClase	Área,Ha	PORCENTAJEBOSQUE
5	Desembocadura de Quebrada San Pablo	5°09'12"	76°41'15,8"	111	TejidoUrbanoContinuo	123,23	7,51021926
				243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	61,87	19,78915608
				244	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	66,73	2,350427818
				333	TierrasDesnudasyDegradadas	34,34	8,253505499
				511	Ríos	21,49	0,757052134
				3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	20,93	4,25933639
				3221	ArbustalDenso	6,04	0,212730143
				3231	VegetaciónSecundariaAlta	47,10	1,658840207
				31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	426,32	50,23577686
				31122	BosqueDensoBajoInundable	41,20	4,972955603
				112	TejidoUrbanoDiscontinuo	3,82	2,699303619
				233	PastosEnmalezados	0,15	0,004380233
243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	12,33	6,109230288				
333	TierrasDesnudasyDegradadas	153,83	33,19870275				
411	ZonasPantanosas	59,32	1,706748559				
511	Ríos	71,77	2,065059016				
3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	69,31	2,56973777				
3132	BosqueFragmentadoConVegetaciónSecundaria	12,76	11,87612454				
3221	ArbustalDenso	55,28	1,590475321				
3231	VegetaciónSecundariaAlta	61,59	16,1582551				
31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	710,65	20,4472154				
31112	BosqueDensoAltoInundable	54,73	1,574767401				
7	Desembocadura de Mungarrá	5°15'43,6"	76°34'41,9"	111	TejidoUrbanoContinuo	03,48	1,028636946
				231	PastosEmpios	7,68	0,374516287
				242	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	74,89	0,744427226
				243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	154,76	11,47888272
				244	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	58,76	0,584150273
				333	TierrasDesnudasyDegradadas	78,30	3,760466428
				411	ZonasPantanosas	68,51	0,681008097
				511	Ríos	233,99	2,325963535
				512	Lagunas,lagosyCiénagasNaturales	3,04	0,527284837
				3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	93,70	7,889754764
				3221	ArbustalDenso	15,52	6,118604569
				3231	VegetaciónSecundariaAlta	03,76	5,007656717
3232	VegetaciónSecundariaBaja	03,86	6,002682827				
31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	379,61	53,47596478				

ANEXO 2. Continuación Coberturas y usos del suelo en el área de estudio

Item	ESTACIONES	Latitud	Longitud	CODIGO	NomClase	Área, Ha	PORCENTAJE BOSQUE				
8	Encharcazon	5°05'37.6"	76°08'07.1"	242	Mosaico de Pastos y Cultivos	0,305530917					
				243	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	16,64340823					
				244	Mosaico de Pastos y Espacios Naturales	2,060639191					
				333	Tierras desnudas y degradadas	5,850310797					
				411	Zonas Pantanosas	1,767955392					
				511	Rios	0,920239041					
				3131	Bosque Fragmentado y Pastos y Cultivos	12,35581283					
				3132	Bosque Fragmentado y Vegetación Secundaria	0,007146473					
				3221	Arbustal denso	2,999943202					
				3231	Vegetación Secundaria Alta	0,141717997					
				31111	Bosque Denso y Tierra Firme	56,94729593					
				9	La Honda	5°07'17.579"	76°44'33.485"	243	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	3,763700172	
								333	Tierras desnudas y degradadas	27,34762488	
333	Tierras desnudas y degradadas	0,051798558									
3131	Bosque Fragmentado y Pastos y Cultivos	0,389228576									
3231	Vegetación Secundaria Alta	2,285394211									
31111	Bosque Denso y Tierra Firme	66,16185526									
31111	Bosque Denso y Tierra Firme	0,000398342									
10	La Muriña	5°05'42,172"	76°38'5,856"	243	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	21,09915475					
				333	Tierras desnudas y degradadas	45,56377474					
				411	Zonas Pantanosas	8,911551612					
				3131	Bosque Fragmentado y Pastos y Cultivos	16,36252365					
				3221	Arbustal denso	1,397636566					
				31111	Bosque Denso y Tierra Firme	6,66535868					
				11	La Unión	5°05'8,317"	76°34'9,787"	233	Pastos enmalezados	0,981050354	
242	Mosaico de Pastos y Cultivos	3,525593352									
243	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	30,44114576									
333	Tierras desnudas y degradadas	1,705363624									
511	Rios	3,416931168									
3131	Bosque Fragmentado y Pastos y Cultivos	15,44257969									
31111	Bosque Denso y Tierra Firme	44,48733605									
12	Mojarra antes de la Estmina	5°09'31,7"	76°39'28,7"	231	Pastos limpios	1,151128765					
				233	Pastos enmalezados	0,234684856					
				243	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	8,19266034					
				244	Mosaico de Pastos y Espacios Naturales	0,20469372					
				333	Tierras desnudas y degradadas	7,447108097					
				511	Rios	1,360110964					
				3221	Arbustal denso	13,51937053					
				3231	Vegetación Secundaria Alta	0,216072446					
				31111	Bosque Denso y Tierra Firme	67,67417028					
				13	Pringamón (antes de Andagoya)	5°06'23,3"	76°41'52,9"	112	Tejido Urbano discontinuo	0,066735083	
242	Mosaico de Pastos y Cultivos	4,506811941									
243	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	14,28304194									
323	Vegetación Secundaria y Transición	0,016500717									
333	Tierras desnudas y degradadas	6,619194843									
511	Rios	4,422601154									
3131	Bosque Fragmentado y Pastos y Cultivos	9,729137448									
3221	Arbustal denso	0,656931838									
3231	Vegetación Secundaria Alta	4,347723982									
31111	Bosque Denso y Tierra Firme	55,35132106									
14	Profundón después de la desembocadura de Mungarrá (después de Tadó)	5°11'29,8"	76°36'49,5"					231	Pastos limpios	4,547578782	
								242	Mosaico de Pastos y Cultivos	1,017255086	
								243	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	28,32219066	
				244	Mosaico de Pastos y Espacios Naturales	13,46795171					
				333	Tierras desnudas y degradadas	6,483641342					
				411	Zonas Pantanosas	0,356770209					
				511	Rios	1,714869899					
				512	Lagunas, lagos y rías naturales	0,171541642					
				3131	Bosque Fragmentado y Pastos y Cultivos	18,67357732					
				3221	Arbustal denso	4,050399504					
15	San Antonio (después de la Estmina)	5°07'58"	76°41'23,2"	3231	Vegetación Secundaria Alta	0,062028303					
				31111	Bosque Denso y Tierra Firme	21,13219555					
				111	Tejido Urbano Continuo	5,688694893					
				242	Mosaico de Pastos y Cultivos	2,849147014					
				243	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	15,94808801					
				323	Vegetación Secundaria y Transición	2,477916793					
				333	Tierras desnudas y degradadas	5,388491737					
16	Santa Ana	5°06'57,267"	76°29'54,407"	333	Tierras desnudas y degradadas	0,067422628					
				511	Rios	1,909920825					
				3131	Bosque Fragmentado y Pastos y Cultivos	5,717726396					
				3231	Vegetación Secundaria Alta	6,058908069					
				31111	Bosque Denso y Tierra Firme	53,89316514					
				31111	Bosque Denso y Tierra Firme	0,000518494					
				233	Pastos enmalezados	0,013833378					
				242	Mosaico de Pastos y Cultivos	0,234786726					
				243	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	4,194634793					
				244	Mosaico de Pastos y Espacios Naturales	10,11948945					
333	Tierras desnudas y degradadas	0,215966938									
411	Zonas Pantanosas	0,053887037									
511	Rios	1,074039886									
3131	Bosque Fragmentado y Pastos y Cultivos	0,841460251									
3221	Arbustal denso	13,39166716									
3231	Vegetación Secundaria Alta	3,563079037									
31111	Bosque Denso y Tierra Firme	66,29715534									

ANEXO 2. Continuación Coberturas y usos del suelo en el área de estudio

Item	ESTACIONES	Latitud	Longitud	CODIGO	NomClase	Área, Ha	PORCENTAJE BOSQUE
17	SantaBarbara	5°0'7.1"	76°30'33"	233	PastosEnmalezados	34,19	15,91528724
				243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	50,13	4,934625736
				244	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	95,49	6,42552802
				333	TierrasDesnudasyDegradadas	17,32	3,856432346
				511	Ríos	34,88	1,146366561
				3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	6,20	0,532583963
				3221	ArbustalDenso	47,75	21,29137988
				3231	VegetaciónSecundariaAlta	29,42	4,25397297
				31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	266,93	41,6437985
				18	SantaRita	5°0'50.6"	76°28'5.1"
233	PastosEnmalezados	45,23	1,145966008				
242	MosaicoDePastosyCultivos	93,66	4,906206875				
243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	01,40	10,16889614				
244	MosaicoDePastosyEspaciosNaturales	34,18	1,093964944				
511	Ríos	53,01	1,342863051				
3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	027,62	26,03341746				
3221	ArbustalDenso	32,13	8,414061605				
3231	VegetaciónSecundariaAlta	40,16	13,68425395				
31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	274,94	32,29887851				
19	Viriviro	5°7'12.9"	76°36'9.6"	242	MosaicoDePastosyCultivos	284,44	5,207180111
				243	MosaicoDeCultivos,PastosyEspaciosNaturales	396,64	25,56812012
				244	MosaicoDePastosyEspaciosNaturales	04,09	0,074869
				333	TierrasDesnudasyDegradadas	96,47	9,088737801
				511	Ríos	08,47	1,985655251
				3131	BosqueFragmentadoConPastosyCultivos	967,34	17,70892706
				3221	ArbustalDenso	74,48	8,686174144
				3231	VegetaciónSecundariaAlta	96,51	1,76677586
				31111	BosqueDensoAltoDeTierraFirme	634,01	29,91356066

Fuente: CODECHOCÓ

ANEXO 4. Población y área de la zona de estudio

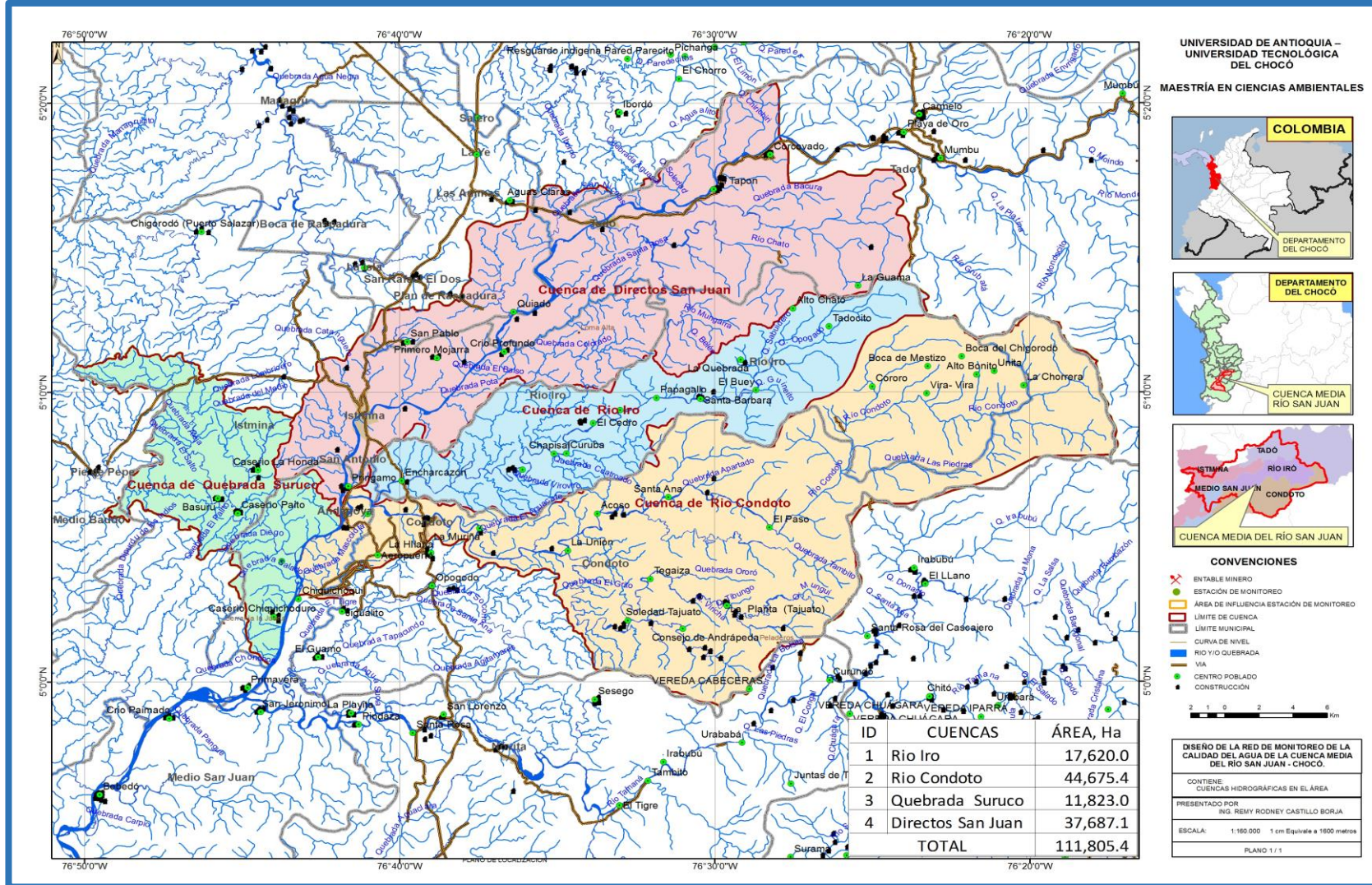
MUNICIPIOS Y POBLACIONES DE LA CUENCA				
ITEM	MUNICIPIO	POBLACIÓN		
		URBANA	RURAL	TOTAL
1	TADÓ	19043	12414	31457
2	ISTMINA	25686	20448	46134
3	CONDOTO	14991	10577	25568
4	RÍO RÓ	10042	1657	11699
5	MEDIO SAN JUAN	17071	6168	23239
6	TOTAL	86833	51264	138097
		Fuente: DANE		
ITEM	CUENCAS	AREA	AREA	DENSIDAD POBLACIONAL
		Km2	Ha	Hab./Ha
1	Directos Río San Juan	376,87	37687,08	2,51
2	Río Ró	176,20	17619,95	0,66
3	Río Condoto	446,75	44675,36	0,57
4	Río Suruco	118,23	11823,02	0,52
		Fuente: Propia del estudio		

ANEXO 5. Datos de los diferentes criterios por área de influencia, usado en el proyecto.

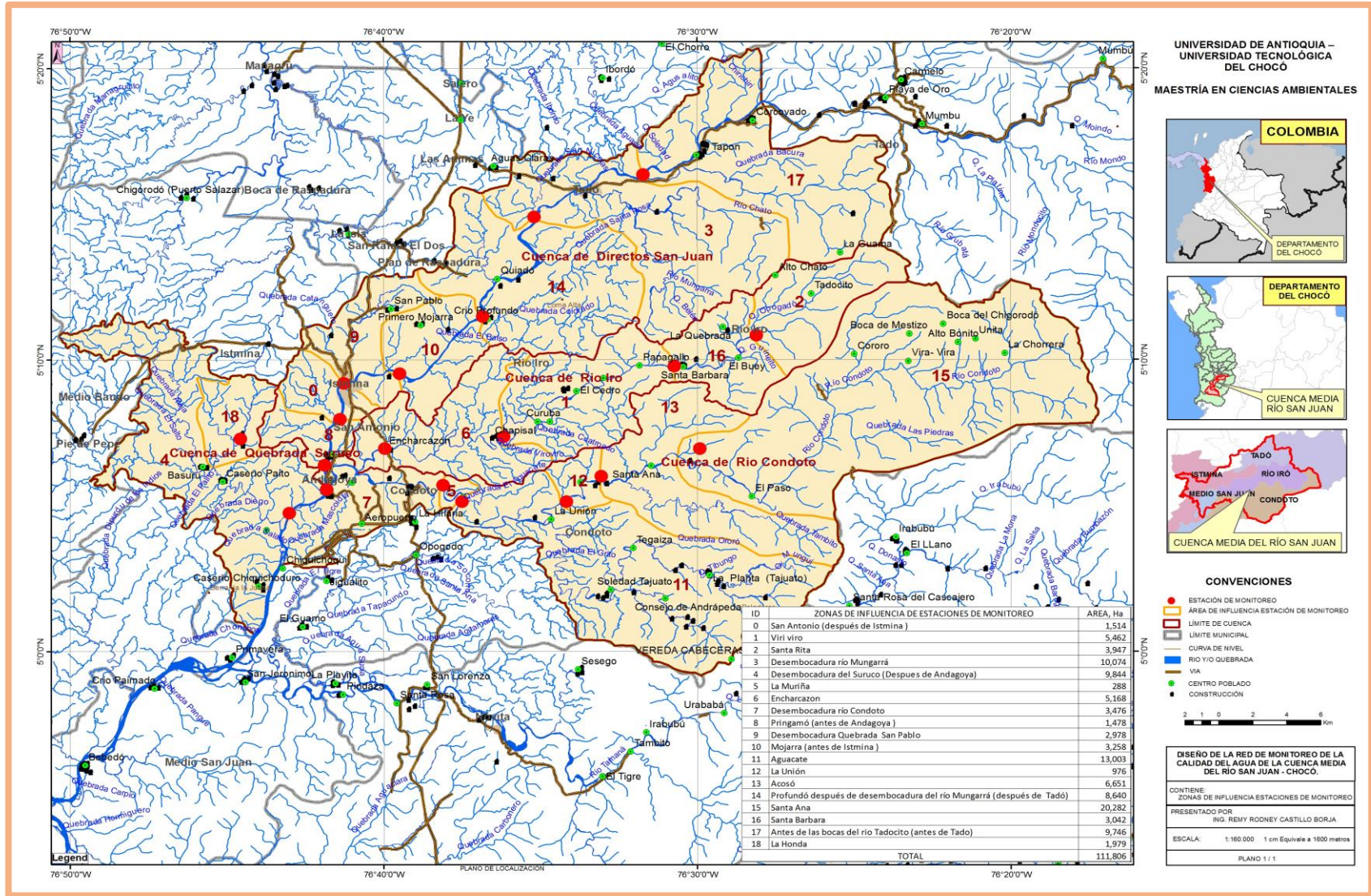
ID	CUENCAS	ESTACIONES	Latitud	Longitud	AREA_Ha	POBLACION	NoMINAS	PEND_%	COB_BOS%	ICA	ICA_CALID
0	Directos Río San Juan	San Antonio (después de Estmina)	5°07'58"	76°41'23,2"	1513,93	850	0	0-7%	59,6	53,13	MEDIANA CALIDAD
1	Río Iró	Viriviro	5°07'12,9"	76°36'0,6"	5462,44	3066	0	7-20%	44,6	70,7	BUENA CALIDAD
2	Río Iró	Santa Rita	5°07'00,6"	76°28'1,1"	3947,31	10042	0	20-35%	58,3	78,52	BUENA CALIDAD
3	Directos Río San Juan	Desembocadura Río Mungarrá	5°15'43,6"	76°34'41,9"	10074,34	19043	3	7-20%	61,3	52,81	MEDIANA CALIDAD
4	Río Suruco	Desembocadura del Suruco (Después de Andagoya)	5°04'44,9"	76°42'59,7"	9843,64	5525	7	7-20%	75,2	56,53	MEDIANA CALIDAD
5	Río Condoto	La Muriña	5°05'42,172"	76°38'5,856"	287,98	162	0	7-20%	23	67,75	MEDIANA CALIDAD
6	Río Iró	Encharcazon	5°06'17,6"	76°39'17,1"	5167,90	2901	1	7-20%	69,3	71,93	BUENA CALIDAD
7	Directos Río San Juan	Desembocadura Río Condoto	5°05'33,1"	76°41'48,7"	3475,54	32062	10	0-7%	36,5	53,49	MEDIANA CALIDAD
8	Directos Río San Juan	Pringamó (antes de Andagoya)	5°06'23,3"	76°41'52,9"	1477,66	829	2	0-7%	65	54,42	MEDIANA CALIDAD
9	Directos Río San Juan	Desembocadura Quebrada San Pablo	5°09'12"	76°41'15,8"	2978,26	25686	0	7-20%	59,3	47,83	MALA CALIDAD
10	Directos Río San Juan	Mojarra (antes de Estmina)	5°09'31,7"	76°39'28,7"	3258,26	1828	0	7-20%	67,7	53,07	MEDIANA CALIDAD
11	Río Condoto	Aguacate	5°05'8,933"	76°37'29,704"	13002,55	7298	8	7-20%	83,8	68,39	MEDIANA CALIDAD
12	Río Condoto	La Unión	5°05'8,317"	76°34'9,787"	976,18	548	6	7-20%	59,9	69,87	MEDIANA CALIDAD
13	Río Condoto	Acosó	5°06'0,484"	76°33'3,123"	6650,64	3733	9	20-35%	95,4	55,34	MEDIANA CALIDAD
14	Directos Río San Juan	Profundo (después de desembocadura del río Mungarrá (después de Adó))	5°11'29,8"	76°36'49,5"	8639,63	4849	0	7-20%	39,8	50,67	MEDIANA CALIDAD
15	Río Condoto	Santa Ana	5°06'57,267"	76°29'54,407"	20282,48	11385	7	35-50%	67,1	54,1	MEDIANA CALIDAD
16	Río Iró	Santa Barbara	5°07'17,1"	76°30'1,3"	3042,31	1708	0	20-35%	42,1	73,33	BUENA CALIDAD
17	Directos Río San Juan	Antes de las bocas del río Adocito (antes de Adó)	5°26'19"	76°31'39,9"	9746,03	5470	10	20-35%	63,9	51,84	MEDIANA CALIDAD
18	Río Suruco	La Honda	5°07'17,579"	76°44'33,485"	1979,38	1111	2	0-7%	66,5	56,53	MEDIANA CALIDAD

Fuente: CODECHOCÓ

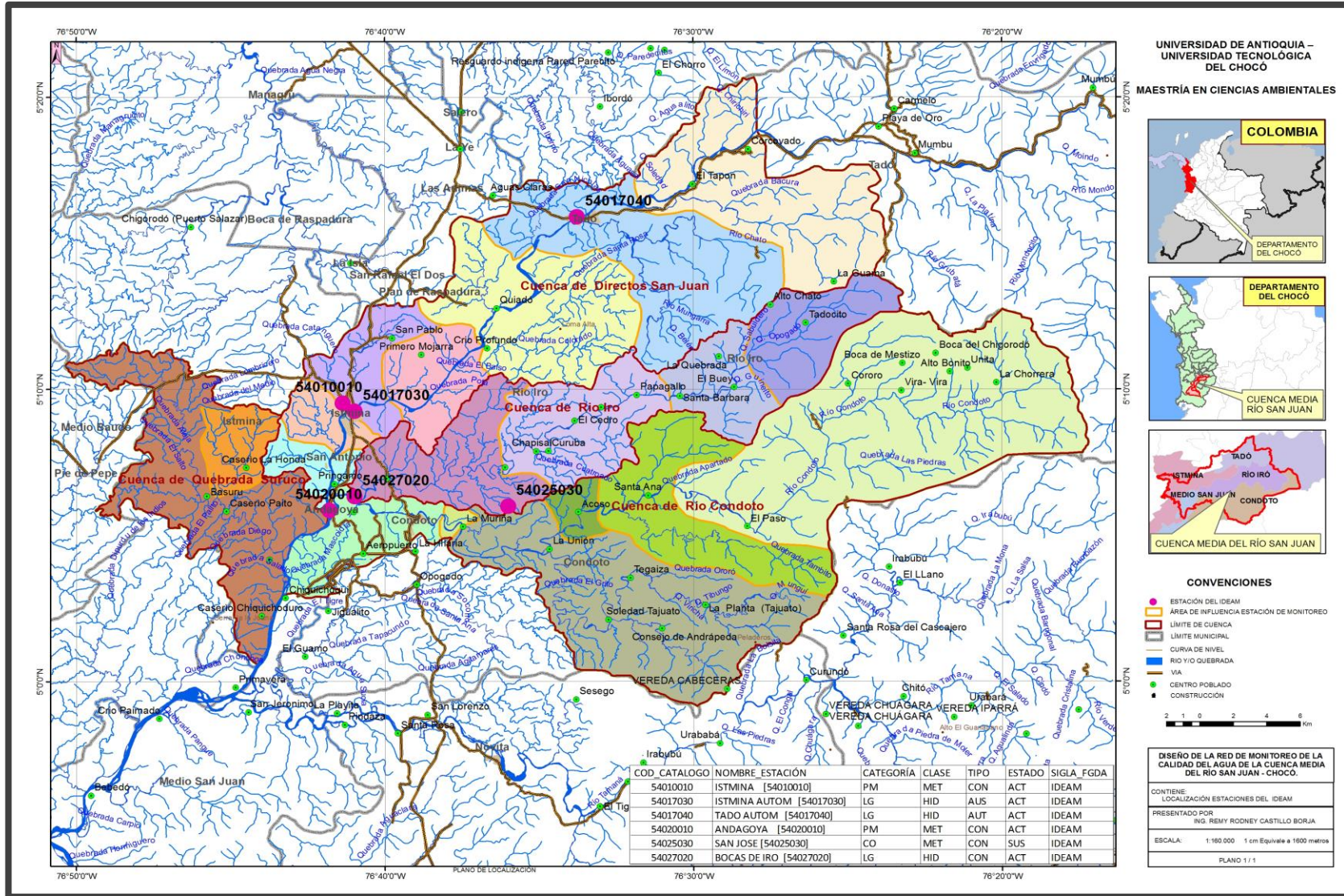
ANEXO 6 Mapa de localización de la cuenca y sub-cuencas del proyecto



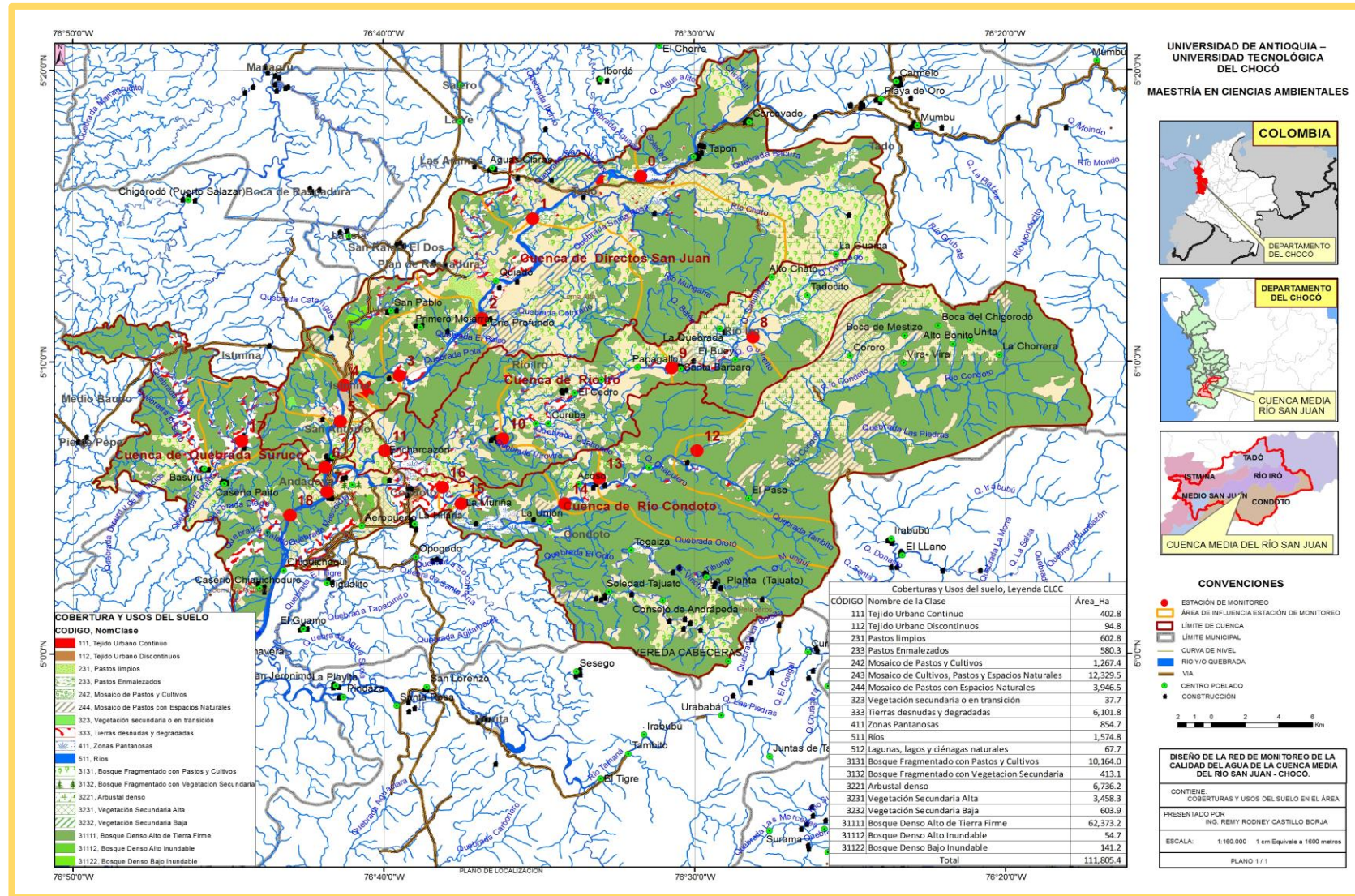
ANEXO 7. Mapa de localización de las estaciones de monitoreo en la cuenca y las sub-cuencas



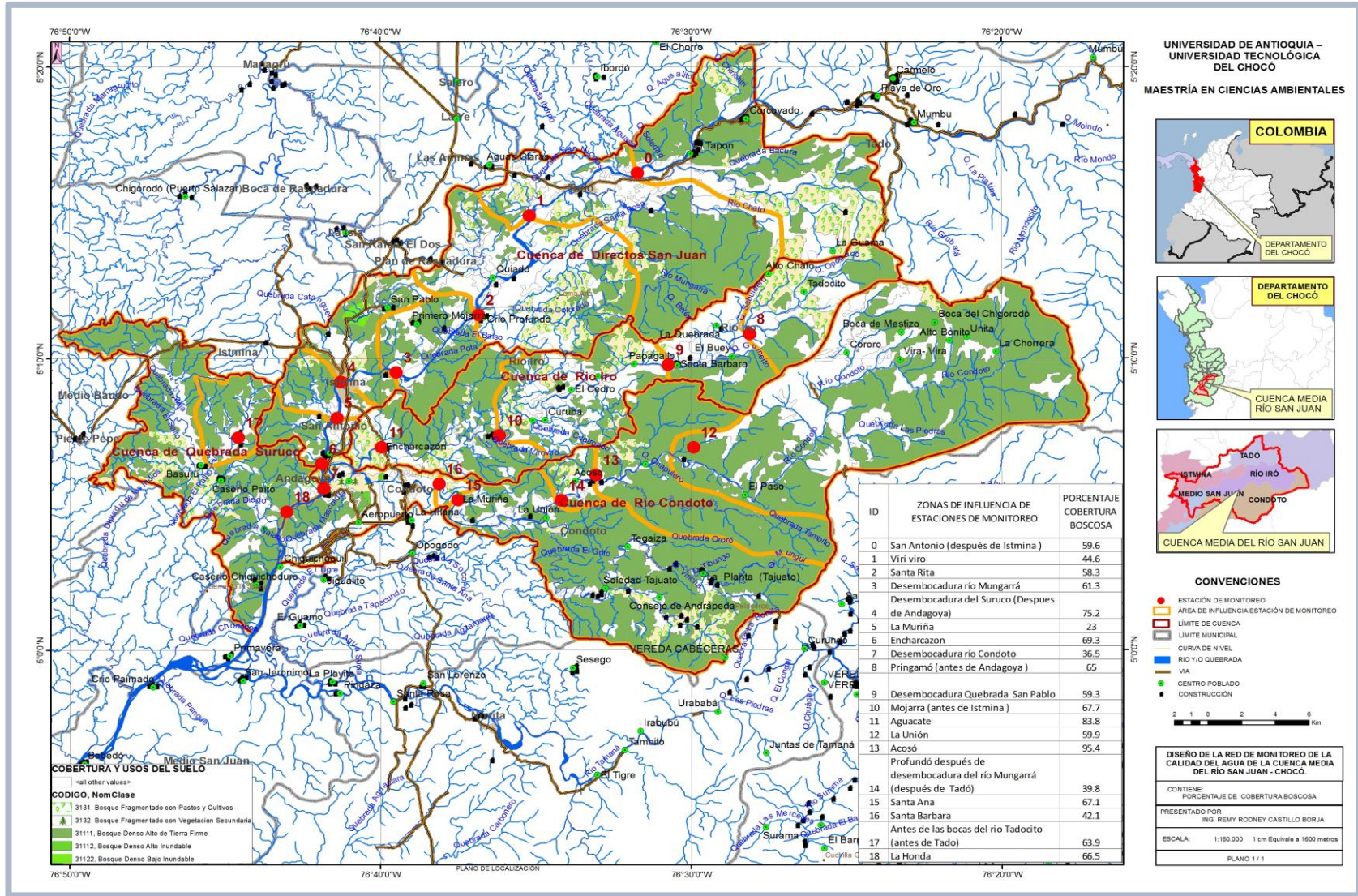
ANEXO 8. Mapa de localización estaciones del IDEAM y subdivisión de las sub-cuencas



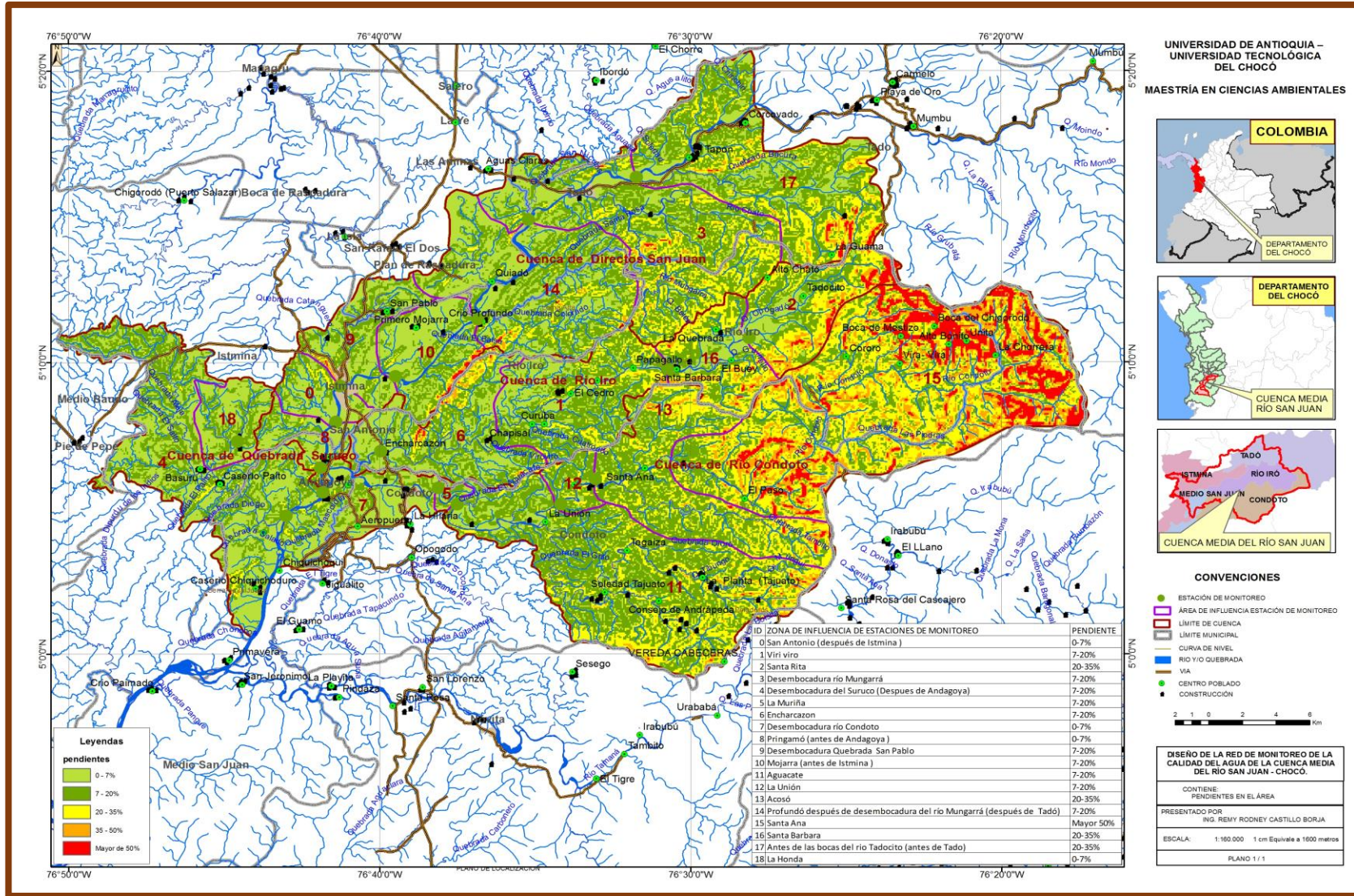
ANEXO 9. Mapa de cobertura y usos del suelo



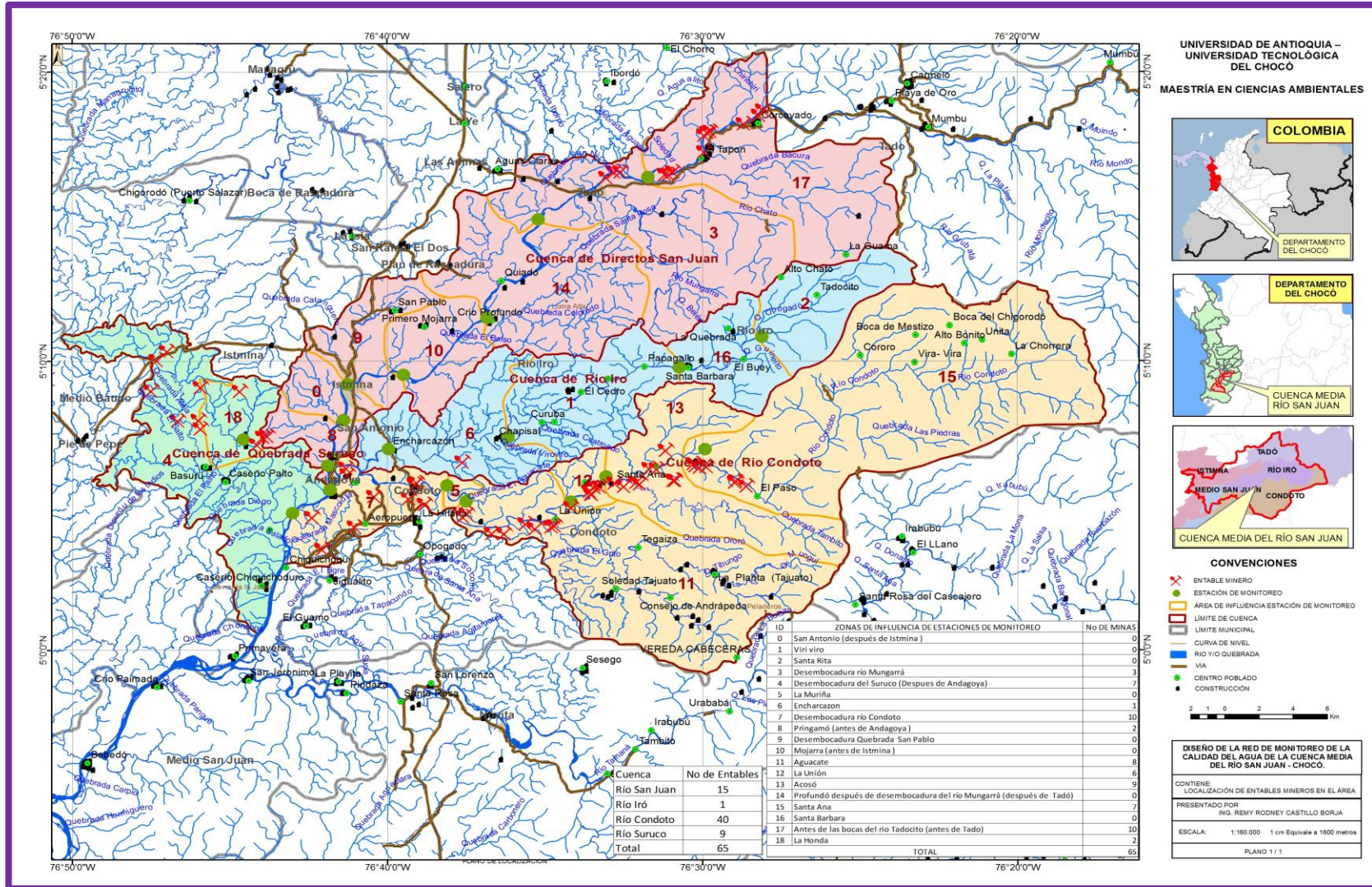
ANEXO 10. Mapa de porcentaje de cobertura boscosa en el área de estudio



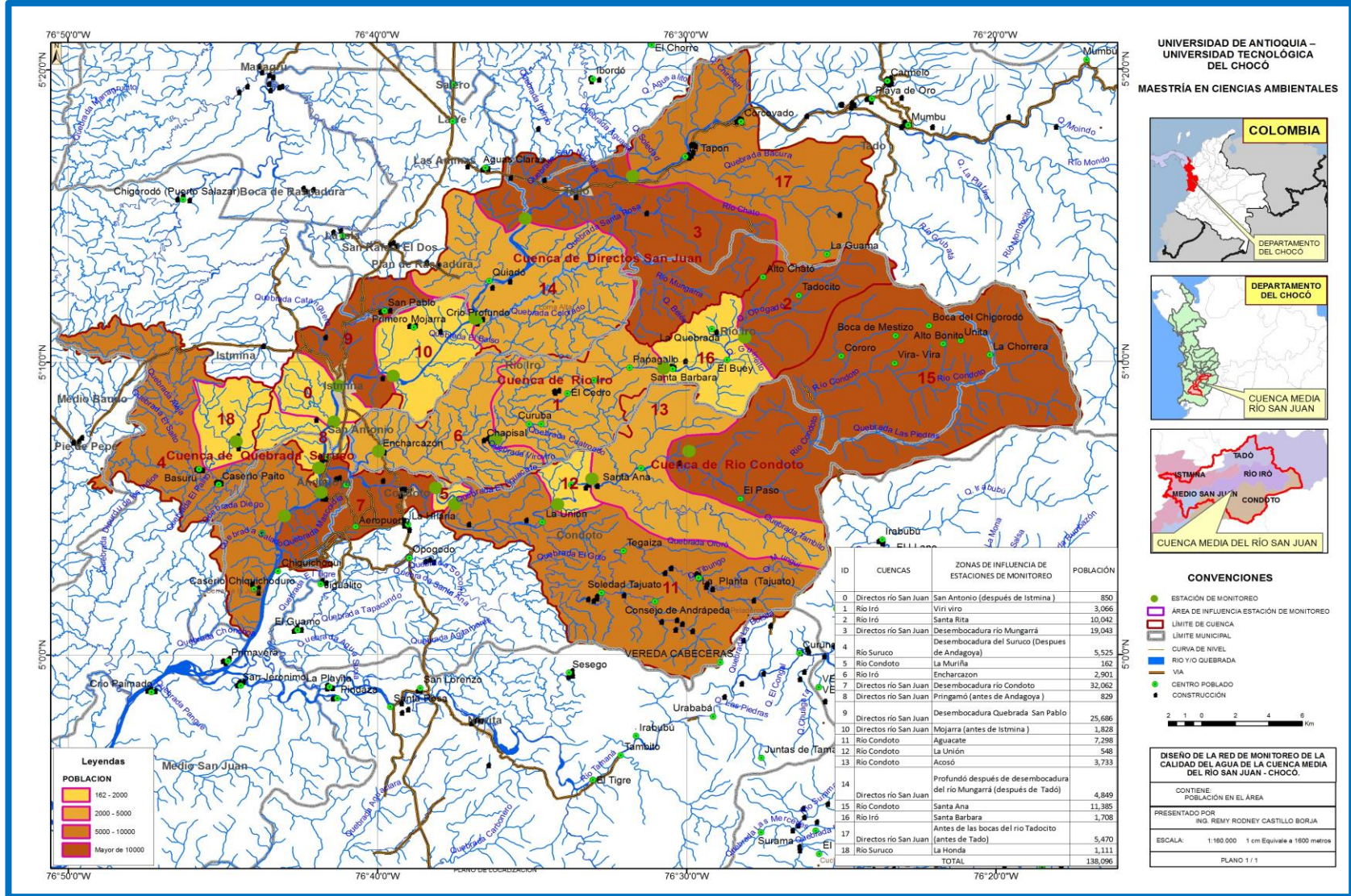
ANEXO 11. Mapa de pendientes en el área de estudio



ANEXO 12. Mapa de localización entables mineros



ANEXO 13. Mapa con datos de población en la cuenca y sub-cuencas



ANEXO 14. Mapa de los índices de calidad del agua – ICA, en el área de estudio.

