

*Estudio del coeficiente de escasez del recurso hídrico
superficial y subterráneo en la subcuenca del río
Quilichao departamento del Cauca.*



**ESTUDIO DEL COEFICIENTE DE ESCASEZ DEL RECURSO HÍDRICO
SUPERFICIAL Y SUBTERRANEO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
QUILICHAO DEPARTAMENTO DEL CAUCA.**

TRABAJO DE PASANTÍA

HUGO FERNANDO IBARRA FERNÁNDEZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA EN CONVENIO CON LA CORPORACIÓN
AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA CRC
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2009**

**ESTUDIO DEL COEFICIENTE DE ESCASEZ DEL RECURSO HÍDRICO
SUPERFICIAL Y SUBTERRANEO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
QUILICHAO DEPARTAMENTO DEL CAUCA.**

**EN MODALIDAD DE PASANTÍA PARA LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL DEL CAUCA CRC Y OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**



**Pasante:
HUGO FERNANDO IBARRA FERNÁNDEZ**

**Director Universidad del Cauca:
ING. LUÍS JORGE GONZÁLEZ MUÑOZ**

**Interventor CRC:
ING. FRANCISCO VIDAL GIRALDO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA EN CONVENIO CON LA CORPORACIÓN
AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA CRC
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2009**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Popayán, Febrero de 2009

*Dedicado a mis seres queridos por su constante apoyo,
a la Universidad del Cauca por mi formación académica
y a la CRC por su soporte profesional.*

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE ANEXOS	xii
GLOSARIO	xiii
RESUMEN	xv
INTRODUCCION	1
1. ALCANCE	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. MARCO REFERENCIAL	6
3.1 MARCO TEORICO	6
3.2 MARCO LEGAL	7
4. ANTECEDENTES	9
5. OBJETIVOS	10
5.1 OBJETIVO GENERAL	10
5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
6. METODOLOGIA	11
6.1 CALCULO DEL INDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUPERFICIALES	14
6.1.1 Dominio espacial para el cálculo	16
6.1.2 Componentes del Índice de Escasez	16
6.1.2.1 Oferta hídrica total superficial	16
6.1.2.2 Factores de reducción para mantener el régimen de estiaje “Re”.	18
6.1.2.3 Factor de reducción para protección de fuentes frágiles “Rf”.	19
6.1.2.4 Demanda hídrica.	20
6.2 CALCULO DEL INDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUBTERRANEAS	23
6.3 CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCASEZ	23
7. EMPRESA RECEPTORA	27
8. PLAN DE TRABAJO	28
8.1 ACTIVIDADES A CUMPLIR	28
8.2 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	28
8.3 EJECUCIÓN DE TRABAJO	30
8.4 HORARIO DE TRABAJO	30

8.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	31
9. RECURSOS DISPONIBLES	32
9.1 RECURSOS HUMANOS	32
9.2 RECURSOS FÍSICOS	32
9.2.1 Equipos y materiales.	32
9.2.2 Locativos.	33
9.3 RECURSOS FINANCIEROS	33
10. CARACTERIZACION HIDROGRÁFICA	34
10.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	34
10.1.1. Cartografía.	34
10.1.2. Hidrometeorología.	34
10.1.3. Reglamentación por uso del agua.	35
10.2. ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA	35
10.2.1. Localización.	35
10.2.2. Clima.	35
10.2.3. Uso actual y potencial del suelo.	36
10.2.4. Hidrografía.	36
10.2.5. Geología.	37
10.2.6. Red Vial.	37
10.2.7. Servicios Públicos.	37
10.2.8. Aspectos sociales municipales.	38
10.2.9. Zonas críticas.	38
10.3. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA	39
10.3.1. Forma de la cuenca.	39
10.3.2. Elevación de la cuenca.	40
10.3.3. Pendiente de la cuenca.	43
10.3.4. Red de Drenaje.	46
10.3.5. Densidad de Drenaje.	47
10.3.6. Tiempo de concentración.	48
10.4. CARACTERIZACION HIDROCLIMATOLOGICA	48
10.4.1 Clima.	48
10.1.1. Precipitación media.	50
11. OFERTA HIDRICA SUPERFICIAL	56
11.1. Caudales medios.	56
11.2. Balance hídrico.	59
11.3. Registros de caudal in situ.	61

12. DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL	65
12.1. DEMANDA POR USO DOMÉSTICO	65
12.2. DEMANDA POR USO AGRÍCOLA	70
12.3. DEMANDA POR USO PECUARIO	75
12.3.1. Demanda hídrica por consumo bovino.	75
12.3.2. Demanda hídrica por consumo porcino.	79
12.3.3. Demanda hídrica por consumo de otras especies pecuarias.	81
12.4. DEMANDA POR USO INDUSTRIAL	84
13. ÍNDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUPERFICIALES	85
14. ÍNDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUBTERRANEAS	90
15. COEFICIENTE DE ESCASEZ	92
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFIA	97

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Escala de valoración del Índice de Escasez.	15
Cuadro 2. Escala de reducciones para protección de fuentes frágiles.	20
Cuadro 3. Escala de valoración del Coeficiente de escasez.	23
Cuadro 4. Descripción de Actividades Metodológicas.	29
Cuadro 5. Cronograma de Actividades.	31
Cuadro 6. Costos Del Proyecto por parte de la Universidad del Cauca.	33
Cuadro 7. Costos Del Proyecto por parte de la “CRC”.	33
Cuadro 8. Costos Del Proyecto Totales.	33
Cuadro 9. Estaciones climáticas requeridas.	34
Cuadro 10. Aspectos sociales municipales	38
Cuadro 11. Caracterización morfométrica	39
Cuadro 12. Tamaño relativo de los sistemas hidrológicos	39
Cuadro 13. Forma de la cuenca	40
Cuadro 14. Áreas entre curvas de nivel en la cuenca.	41
Cuadro 15. Elevación media por el método Área - Elevación.	43
Cuadro 16. Pendiente media por el método Alvord.	44
Cuadro 17. Pendiente media por el método Horton.	45
Cuadro 18. Orden de las corrientes.	47
Cuadro 19. Tiempo de concentración.	48
Cuadro 20. Zonas climáticas	49
Cuadro 21. Precipitaciones medias mensuales por estación.	52
Cuadro 22. Precipitación media anual calculada con Isoyetas para la microcuenca.	54
Cuadro 23. Precipitación media anual calculada con Isoyetas por zonas.	55
Cuadro 24. Oferta hídrica neta calculada con caudales medios mensuales.	58
Cuadro 25. Parámetros de calidad de agua del rio Quilichao.	59
Cuadro 26. Escorrentía superficial total en la microcuenca.	60
Cuadro 27. Oferta hídrica total en la microcuenca.	60
Cuadro 28. Oferta hídrica neta calculada con el balance hídrico.	61
Cuadro 29. Registros de aforo en el rio Quilichao.	62
Cuadro 30. Ponderación de la oferta hídrica por zonas de la microcuenca.	63
Cuadro 31. Ponderación de la oferta hídrica mensual en la microcuenca.	64
Cuadro 32. Estadísticas censales.	66

Cuadro 33. Proyección de la población según métodos de cálculo.	67
Cuadro 34. Estimación de la población y densidad futura municipal.	68
Cuadro 35. Estimación de la población y demanda en la microcuenca Quilichao.	68
Cuadro 36. Estimación de la demanda hídrica doméstica D_{UD} .	69
Cuadro 37. Estimación de la Evapotranspiración potencial.	71
Cuadro 38. Uso del suelo en la microcuenca del río Quilichao.	73
Cuadro 39. Uso del suelo que demanda agua en la microcuenca.	73
Cuadro 40. Demanda hídrica agrícola en la microcuenca.	74
Cuadro 41. Clasificación bovina en Santander de Quilichao.	75
Cuadro 42. Factor de consumo de agua diario (FCA).	76
Cuadro 43. Rangos de peso y edades para ganado bovino.	77
Cuadro 44. Demanda de agua por consumo bovino.	78
Cuadro 45. Clasificación porcina en Santander de Quilichao.	79
Cuadro 46. Relaciones entre etapas de crecimiento y factor de consumo de agua diario del ganado porcino.	80
Cuadro 47. Demanda de agua por consumo porcino.	80
Cuadro 48. Otras especies pecuarias en Santander de Quilichao.	81
Cuadro 49. Factores de consumo de agua (FCA) de otras especies pecuarias.	81
Cuadro 50. Demanda de agua por otras especies pecuarias.	82
Cuadro 51. Demanda de agua por uso pecuario 2007.	82
Cuadro 52. Demanda de agua por uso pecuario anual.	82
Cuadro 53. Índice de escasez "IES" para el año 2009.	86
Cuadro 54. Índice de escasez "IES" temporal para el año 2009.	87
Cuadro 55. Índice de escasez "IES" para aguas subterráneas.	90
Cuadro 56. Coeficiente de escasez "CE" mensual, para aguas superficiales.	92
Cuadro 57. Coeficiente de escasez "CE" anual, para aguas superficiales.	92
Cuadro 58. Coeficiente de escasez "CE" anual, para aguas subterráneas.	93
Cuadro 59. Valores del coeficiente de cultivo "Kc".	100
Cuadro 60. Horas de iluminación diaria en función de la latitud del lugar.	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema general de cálculo del Índice de Escasez.	11
Figura 2. Diagrama general de cálculo de la Demanda Hídrica.	12
Figura 3. Diagrama general de cálculo de la Oferta Hídrica.	13
Figura 4. Organigrama de la Corporación Autónoma regional del Cauca “CRC”.	27
Figura 5. Curva Hipsométrica.	42
Figura 6. Malla para el cálculo de la pendiente media por el método de Horton.	46
Figura 7. Zonas climáticas e Isoyetas en la microcuenca del río Quilichao.	50
Figura 8. Precipitación media mensual	51
Figura 9. Isoyetas anuales sobre la microcuenca del río Quilichao.	53
Figura 10. Curva de duración de caudales del río Quilichao.	57
Figura 11. Oferta hídrica superficial por zonas de la microcuenca.	63
Figura 12. Oferta hídrica superficial mensual en la microcuenca.	64
Figura 13. Demanda hídrica domestica por zonas.	69
Figura 14. Uso del suelo en la microcuenca del río Quilichao.	72
Figura 15. Demanda hídrica agrícola por zonas.	74
Figura 16. Relación de peso y edades en ganado bovino.	77
Figura 17. Relación de consumo de agua en bovinos según la temperatura y crecimiento.	78
Figura 18. Demanda pecuaria por especies.	83
Figura 19. Demanda pecuaria por zonas.	83
Figura 20. Demanda hídrica por zonas.	85
Figura 21. Demanda hídrica por uso.	86
Figura 22. Índice de escasez mensual para aguas superficiales, año 2009.	88
Figura 23. Índice de escasez mensual para aguas superficiales, año 2010.	88
Figura 24. Índice de escasez anual en la microcuenca.	89
Figura 25. Curva real y teórica del coeficiente de cultivo “Kc”.	99
Figura 26. Determinación de los periodos de estiaje o de aguas bajas.	101
Figura 27. Cálculo de la reducción para mantener el régimen de estiaje.	101

	Pág.
Figura 1. Esquema general de cálculo del Índice de Escasez.	11
Figura 2. Diagrama general de cálculo de la Demanda Hídrica.	12
Figura 3. Diagrama general de cálculo de la Oferta Hídrica.	13
Figura 4. Organigrama de la Corporación Autónoma regional del Cauca “CRC”.	27
Figura 5. Curva real y teórica del coeficiente de cultivo “Kc”.	35
Figura 6. Determinación de los periodos de estiaje o de aguas bajas.	37
Figura 7. Cálculo de la reducción para mantener el régimen de estiaje.	37

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Coeficiente de cultivo.	99
Anexo B. Determinación del periodo de estiaje.	101
Anexo C. Promedio diario mensual de la duración astronómica posible de brillo solar en horas y décimos "N".	102
Mapas.	103

GLOSARIO

Acuífero: Unidad de roca o sedimento, capaz de almacenar o transmitir agua en cantidades significativas.

Caudal Disponible de un Acuífero: Caudal que se podría extraer continuamente de un acuífero, sin que se reduzcan sus reservas.

Caudal Explotable de un Acuífero: Caudal que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

Coefficiente de Escasez “CE”: parámetro de cálculo del factor regional en la tasa por uso del agua, varía de acuerdo con la escasez del recurso hídrico considerando si la captación se realiza sobre agua superficial o subterránea.

Cuenca Hidrográfica: Área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un páramo o directamente en el mar.

Demanda de Agua: representa el volumen de agua utilizado por las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinado y corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales.

Evapotranspiración: pérdida de agua por evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de las plantas.

Factor Regional: parámetro de cálculo de la “TUA” que integra factores de disponibilidad, necesidades de inversión en recuperación de la cuenca hidrográfica y condiciones socioeconómicas de la población.

Índice de Escasez “IE”: relación porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades socioeconómicas y la oferta hídrica disponible en las fuentes abastecedoras.

Índice de Escasez para Aguas Subterráneas: relación entre la sumatoria de los caudales captados en el acuífero y los caudales explotables del mismo.

Oferta Hídrica Superficial Total: es la porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar.

Oferta Hídrica Neta: define la cantidad de agua que ofrece la fuente luego de haber tomado en cuenta la cantidad de agua que debe quedar en ella para efectos de mantener la dinámica de aguas bajas (de estiaje o caudales mínimos) y para proteger las fuentes frágiles.

Periodo de Estiaje: Periodo de Aguas Bajas.

Tasa Retributiva: es un mecanismo o instrumento económico creado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial, que cobrarán las Corporaciones Autónomas Regionales por la utilización directa e indirecta de los recursos naturales.

Tasa por uso del agua “TUA”: tasa retributiva específica para el uso de agua.

Unidad Hidrológica de Análisis: Área natural de concentración y recolección de aguas superficiales o subterráneas que tiene connotación principalmente hidrológica en la cuantificación, distribución y utilización de los recursos hídricos disponibles.

RESUMEN

El agua es la base de la vida y contribuye al desarrollo social, económico, ambiental y cultural de cualquier nación. Debido a la influencia y presión de la sociedad humana sobre el recurso hídrico, alterándolo progresivamente debido al aumento en la concentración urbana y en la actividad agraria e industrial, se percibe la necesidad de regular y controlar su uso mediante programas efectivos de manejo y aplicación de instrumentos económicos basados en estándares regionales y fijados por las autoridades ambientales competentes, liderando la planificación y ordenación del recurso hídrico sin alterar los intereses socio-ambientales.

Las tasas retributivas, establecidas por el estado y destinadas a la protección y renovación de los recursos hídricos, aplicadas por la Corporación Autónoma Regional del Cauca "CRC", como autoridad ambiental del Departamento, recauda la tasa por uso del agua "TUA"¹ la cual integra factores socioeconómicos y ambientales para su calculo, entre los que se encuentran el Coeficiente de Escasez e Índice de Escasez, que relacionan la oferta y demanda del recurso hídrico.

Mediante el Coeficiente e Índice de Escasez se logra establecer la presión social sobre la fuente hídrica, su explotación, mecanismos de recuperación y condición ambiental. También proporciona conocimiento de los peligros a que están expuestos los sistemas hídricos, tomando plenamente en cuenta las exigencias e interacciones sociales y elaborando enfoques adecuados para su adecuada gestión racional.

Es esencial para la sociedad humana y para la biosfera disponer de un abastecimiento seguro, controlado y sustentable de agua pura, con lo cual se debe tener en cuenta y evaluar con precisión los recursos hídricos en reacción ante los principales agentes del cambio mundial como el efecto invernadero y la variabilidad del clima, los cambios en la cobertura vegetal, la industrialización, la agricultura, el crecimiento demográfico, entre otros.

Con éste estudio se busca aportar una noción en la conducta del índice y coeficiente de escasez, en la subcuenca del río Quilichao, municipio de Santander de Quilichao en el Departamento del Cauca y así establecer, según la presión sobre el recurso hídrico superficial y subterráneo por parte de la

¹ TUA Reglamentada con el decreto 155 del 22 de enero de 2004, Art. 43 Ley 99 de 1993, expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial MAVDT.

comunidad, una base para su respectiva gestión ambiental, ordenamiento y recuperación de las fuentes afectadas.

Se pretenden recopilar registros climatológicos, datos sociodemográficos, información de caudales hídricos, tipos de uso del agua (agrícola, doméstico, industrial, pecuario), entre otros, para conocer el Índice y Coeficiente de Escasez en aguas superficiales y subterráneas, necesarios en los cálculos de la tasa tributaria asociada a la zona, como la "TUA".

INTRODUCCIÓN

El agua es la base fundamental de la vida y contribuye al desarrollo, consumo y bienestar de los seres vivos, actúa como medio de producción de los distintos sectores socioeconómicos de cualquier nación.

Colombia en la necesidad de velar por la conservación, renovación, uso racional y manejo eficiente de los elementos del sistema hídrico, según el concepto de desarrollo sustentable y debido a la influencia y presión de la sociedad humana sobre el mismo, ha forzado al gobierno a establecer programas efectivos en cuanto al manejo y protección de los recursos naturales, principalmente a través de Instrumentos de orden, control, y económicos que integran la planificación y ordenación de los recursos hídricos abarcando tanto las aguas superficiales como subterráneas.

A nivel departamental la entidad encargada de la gestión ambiental es la Corporación Autónoma Regional del Cauca “CRC” que aplica vigilancia y control, como autoridad ambiental competente.

Debido a la creciente necesidad por el recurso hídrico y escasez del mismo es muy importante contar con un indicador que refleje no solo la magnitud de la oferta de agua disponible, sino también una relación entre oferta y demanda de agua en las distintas fuentes abastecedoras o unidades hidrológicas.

Esta relación es usualmente denominada Índice de Escasez y es una proporción porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades socioeconómicas y la oferta hídrica disponible en las fuentes abastecedoras superficiales y subterráneas. El índice permite implementar acciones de gestión del recurso hídrico que reconozcan el desarrollo sostenible del área en análisis además de priorizar y afinar su ordenamiento.

EL Índice de Escasez es útil en el cálculo de tasas ambientales como la Tasa por uso del agua “TUA”¹, la cual es aplicada por el programa de administración de los recursos hídricos de la subdirección de gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Cauca “CRC”.

¹ TUA Reglamentada con el decreto 155 del 22 de enero de 2004, Art. 43 Ley 99 de 1993, expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial MAVDT.

Con éste estudio se busca aportar una noción en la conducta del índice y coeficiente de escasez, sobre la subcuenca del río Quilichao en la cuenca Cauca, municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca y así establecer, según la presión sobre el recurso por parte de la comunidad, una base para su respectiva gestión ambiental, ordenamiento, cálculo de la tasa por uso del agua y recuperación de las fuentes y acuíferos afectados.

1. ALCANCE

Según el Decreto 155 del 22 enero de 2004, Artículo 43 Ley 99 de 1993 la corporación Autónoma Regional del Cauca, en ejercicio de autoridad ambiental competente aplica y recauda la tasa por uso del agua "TUA", que integra factores como el Índice de Escasez "IE" establecido según resolución 865 del 4 agosto de 2004 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial "MAVDT", la cual debe evaluar las condiciones del recurso hídrico en su área de jurisdicción para poder otorgar concesiones, según acto administrativo, para el uso del agua y hacer efectivos los respectivos recaudos.

En efecto el estudio a realizar se enmarca en los cálculos del Coeficiente de Escasez "CE", el cual depende del Índice de Escasez "IE", necesario para el cálculo de la "TUA". El estudio tendrá el firme propósito de evaluar, cuantificar y caracterizar la oferta y demanda hídrica, de agua superficial y subterránea, en la subcuenca del río Quilichao del Departamento del Cauca, estableciendo el tipo de uso hídrico requerido por la comunidad (Doméstico, agrícola, industrial, institucional, pecuario, ecológico) y conjuntamente generando una visión de la situación actual de la zona y de su disponibilidad de agua, para determinar la manera más eficiente de gestionar el recurso hídrico, según los planes de ordenamiento y manejo sostenible de las cuencas hidrográficas a nivel regional, con el soporte y monitoreo de la "CRC".

2. JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico en el Departamento del Cauca presenta una gran supremacía tanto para la economía regional, como para la Departamental, otorga un ecosistema estratégico para el desarrollo del Cauca y abarca algunas de las principales cuencas hidrográficas de elemental oferta hídrica y biológica en Colombia.

Debido a la gran presión y procesos de apropiación de la cobertura vegetal para actividades de transformación y adecuación de tierras para la agricultura, ganadería y cultivos ilícitos, se ha generado en los últimos años su degradación acelerada, acentuando los procesos de fragmentación de los ecosistemas y recursos vegetales, potenciando procesos erosivos y afectando la oferta hídrica ambiental, lo que pone en peligro la sostenibilidad de esta gran región.

La insuficiencia de agua, junto con los elevados índices de crecimiento demográfico, es una causa a menudo de graves crisis, situación que probablemente sea mucho peor en los próximos años, lo cual traería conflictos sociales, sobre todo en los casos en que se comparte el recurso hídrico. En efecto se debe predecir este comportamiento y asumir estrategias de control, regulación y prevención, para evitar los graves problemas de escasez del agua.

En el Departamento del Cauca podría haber una tendencia a la escasez del recurso hídrico en las zonas con mayor presión sobre el mismo, especialmente en municipios y cabeceras municipales de las regiones Andina y Caribe. Igualmente para la oferta hídrica, que está sufriendo una fuerte influencia de la actividad humana concentrada en los Departamentos del centro del país hasta el Caribe, presentándose una alta influencia sobre el recurso, en las cuencas Alto Cauca, Alto Magdalena y Patía.

En nuestros días es necesario efectuar estudios de la dinámica de las cuencas de drenaje, que representen conjuntamente cambios antropogénicos y sus respectivas consecuencias sobre el recurso hídrico, para estimar y elaborar estrategias hidrológicas y de gestión del agua que se requieren en la sustentabilidad ecológica, económica y social, así como hacer razonable la explotación del recurso, mejorar el conocimiento del ciclo hídrico y proteger el medio ambiente.

La relación oferta y demanda de agua expresada como el Índice de Escasez es un indicador adecuado para perfeccionar los procesos de gestión del recurso hídrico superficial con miras a enfrentar los retos planteados por el constante aumento de la población mundial.

Teniendo en cuenta el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Este Índice constituye la principal herramienta para evaluar si el recurso hídrico de un país, área hidrográfica, región, municipio o cabecera es suficiente o deficitario y aún más importante además, es agregar el ingrediente de calidad de agua al concepto de disponibilidad, esta relación calcula para condiciones hidrológicas medias y secas dando una visión general de la situación de la disponibilidad de agua actual y con las proyecciones futuras del abastecimiento a nivel nacional y regional de tal manera que las entidades del Estado involucradas en la gestión ambiental y de los recursos hídricos, tomen las medidas necesarias para que los planes de ordenamiento del uso de los recursos naturales y manejo sostenible de las cuencas hidrográficas, tengan en cuenta zonas que presentan índices de escasez con niveles preocupantes y otras características desfavorables. Inicialmente el Índice de Escasez se estimará anualmente y en la medida en que se obtenga la información mensual de oferta hídrica y demanda de las actividades socioeconómicas para cada sector, se estimará igualmente el Índice de Escasez en el nivel mensual”².

² Resolución 865 del 4 agosto de 2004, establecida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. MARCO TEORICO

La disponibilidad de agua dulce de una fuente, cuenca o región hidrológica se ve afectada por constantes factores naturales y antrópicos, la interacción hombre naturaleza no sólo afecta la cantidad del agua disponible, sino que también altera las condiciones de calidad de la misma y de su funcionalidad en un ambiente ecosistémico. Por ello y debido a múltiples factores provocados por el hombre que han generado efectos en los componentes del ciclo hidrológico se recurre a la aplicación de instrumentos económicos de control establecidos por el Ministerio del Ambiente, Viviendo y Desarrollo Territorial “MAVDT” como la tasa por utilización de agua “TUA”³, la “TUA” compone variables relacionadas con factores socioeconómicos, regionales y de escasez hídrica necesarios para su recaudo.

El Índice de Escasez establecido por “MAVDT” según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales “IDEAM”, evalúa distintos dominios de aplicación y señala la forma de interpretación del recurso hídrico en función de la disponibilidad del recurso hídrico y cuenta con información hidrográfica y socioeconómica. El índice es utilizado para implementar medidas de gestión hídrica y se define como la relación porcentual entre la demanda y la oferta hídrica disponible, incluye advertencias sobre la disponibilidad total de agua con miras a mantener la funcionalidad ecosistémica y salud de las fuentes abastecedoras de agua.

Los lineamientos de estudio se enmarcan en el proceso metodológico del “IDEAM”, sobre la problemática de generación de indicadores de escasez para la gestión del recurso hídrico, que encierra una estrategia para aumentar la viabilidad de aplicación del Índice de Escasez aún en aquellos dominios espaciales que carecen de mediciones hidroclimáticas.

³ Decreto 4742 de 2005: Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.

3.2. MARCO LEGAL

Los instrumentos legales por parte del gobierno, aplicados a nivel nacional y departamental por las "CARS", se resumen de forma general con las siguientes normas, leyes y decretos, que entre otros son:

Ley 99 de 1993: tiene por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como el cumplimiento y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ley 99 de 1993, Artículo 43: "La utilización de aguas por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, dará lugar al cobro de tasas fijadas por el Gobierno Nacional".

Ley 768 de 2.002, Artículo 13: (Autoridades competentes para recaudar). Corporaciones Autónomas Regionales o Autoridades Ambientales Urbanas.

Decreto 155 de 2.004 - Reglamenta Artículo 43 ley 99 de 1993: base actual para el cobro de la tasa por utilización de agua, en él se encuentran definiciones, fórmulas de cálculo y fijación de tarifas.

Decreto 4742 de 2005: Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas, se refiere a el valor a pagar por cada usuario que estará compuesto por el producto de la tarifa unitaria anual de la tasa por utilización de agua "TUA", y el volumen captado, corregido por el factor de costo de oportunidad.

Decreto 1323 de 19 abril de 2007: Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico "SIRH" como parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia "SIAC". El "SIRH" promoverá la integración de otros sistemas que gestionen información sobre el recurso hídrico en los ámbitos institucional, sectorial, académico y privado.

Resolución 865 de 2004: Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del Índice de Escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.

Resolución 872 de 2006: Por la cual se establece la metodología para el cálculo del Índice de Escasez para aguas subterráneas a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.

4. ANTECEDENTES

La evaluación del Índice de Escasez requiere de un sistema de seguimiento hidrológico que provea información en tiempo y espacio sobre el ciclo hidrológico del territorio. De igual forma es necesario contar con estadísticas consolidadas sobre la utilización del recurso hídrico superficial y subterráneo de los distintos sectores productivos. La interrelación entre demanda y oferta de agua produce algunas confusiones conceptuales debido a la diferencia entre los dominios para los cuales se establece una y otra variable. La oferta de agua de una región es una variable netamente hidrológica que se establece para cuencas, dado que estas entidades geográficas conforman un dominio espacial que controla los flujos de masa y energía que son activados por la interacción suelo, cobertura vegetal, relieve, atmósfera e hidrosfera y a su vez la demanda de agua es una variable socioeconómica, que se define para los ámbitos administrativos a niveles territoriales (municipios, Departamentos, corredores económicos e industriales, etc.). Este análisis entre oferta y demanda es aplicable mediante técnicas de generalización, regionalización, interpolación y estudios de registros, empleadas en los cálculos hidrológicos, determinados por el "IDEAM".

El Índice de Escasez puede ser aplicado desde a un simple tramo de río hasta a una cuenca o región hidrológica y sólo la disponibilidad y la calidad de las mediciones hidrológicas determinan sus niveles de precisión y alcance. En esencia el cálculo más preciso de este índice se realiza en aquellos puntos donde se tienen registros históricos de caudales y se cuenta con la información detallada de la demanda de agua para las actividades socioeconómicas. Esto no impide que el índice sea calculado en aquellos lugares donde se posee escasa información o se carece totalmente de la misma. Para estos sitios son válidos los principios de generalización, regionalización y espacialización de información hidrometeorológica, los cuales son avalados por organizaciones internacionales (OMM, UNESCO, etc.) que juegan el papel de autoridad en la estandarización de cálculos para la evaluación del recurso hídrico.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Cuantificar la oferta y demanda del recurso hídrico, superficial y subterráneo, en la subcuenca del río Quilichao, municipio de Santander de Quilichao, del Departamento del Cauca para el cálculo del Coeficiente de Escasez “CE”, inmerso en la tasa de uso del agua “TUA”.

5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Comprobar y actualizar información sobre la oferta hídrica superficial y subterránea en la subcuenca del río Quilichao del Departamento del Cauca.
- ✓ Determinar la demanda hídrica superficial y subterránea en la subcuenca del río Quilichao del Departamento del Cauca, según los tipos de uso del agua.
- ✓ Calcular el Coeficiente de Escasez, según el Índice de Escasez, para la subcuenca del río Quilichao del Departamento del Cauca, necesario en el cálculo de la “TUA”.
- ✓ Establecer las condiciones de la fuente hídrica y presión sobre el recurso, en la subcuenca del río Quilichao.

6. METODOLOGÍA

Se pretenden seguir los lineamientos establecidos por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales “IDEAM” y previos estudios hidroclimáticos, para el cálculo del Índice de Escasez, según Resolución 865 de 2004 de “MAVDT”. Se seguirá un procedimiento o modelo conceptual de valoración del Índice de Escasez, que enumera sistemas proveedores de datos y técnicas para la generalización de la oferta y demanda de agua.

Conociendo el Índice de Escasez “IE”, se determina el Coeficiente de Escasez “CE”, descrito según el Artículo 10 del Decreto 155 de 2004, para conocer la tasa por uso del agua “TUA”, recaudada por la corporación autónoma regional del Cauca “CRC”.

En la Figura 1 se muestra un diagrama general para la obtención del “IE”.

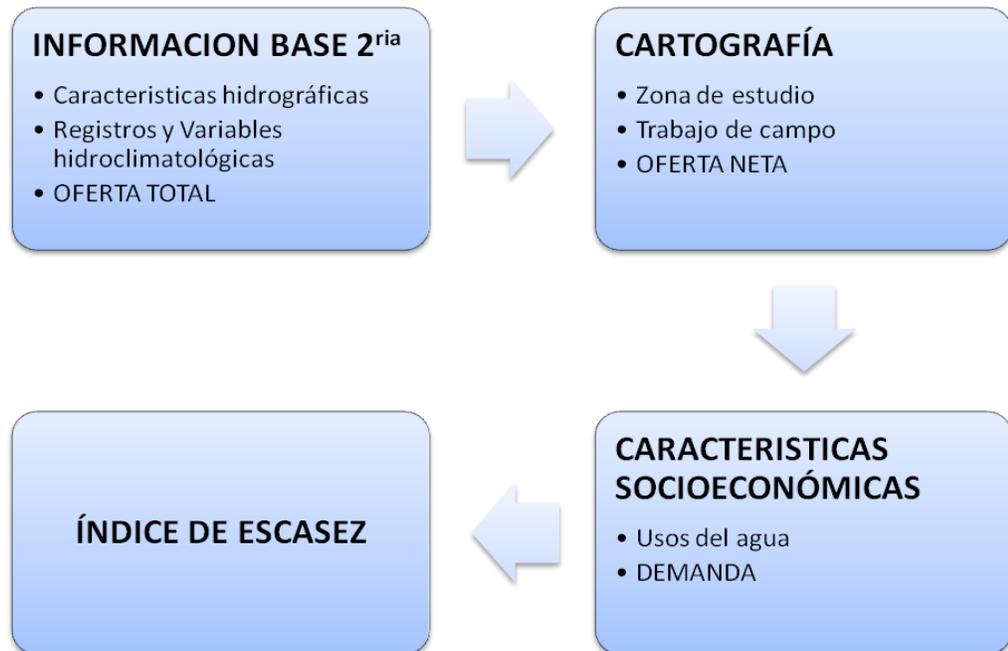


Figura 1. Esquema general de cálculo del Índice de Escasez.

En la Figura 2 se puede observar un esquema básico en la determinación de la demanda hídrica.

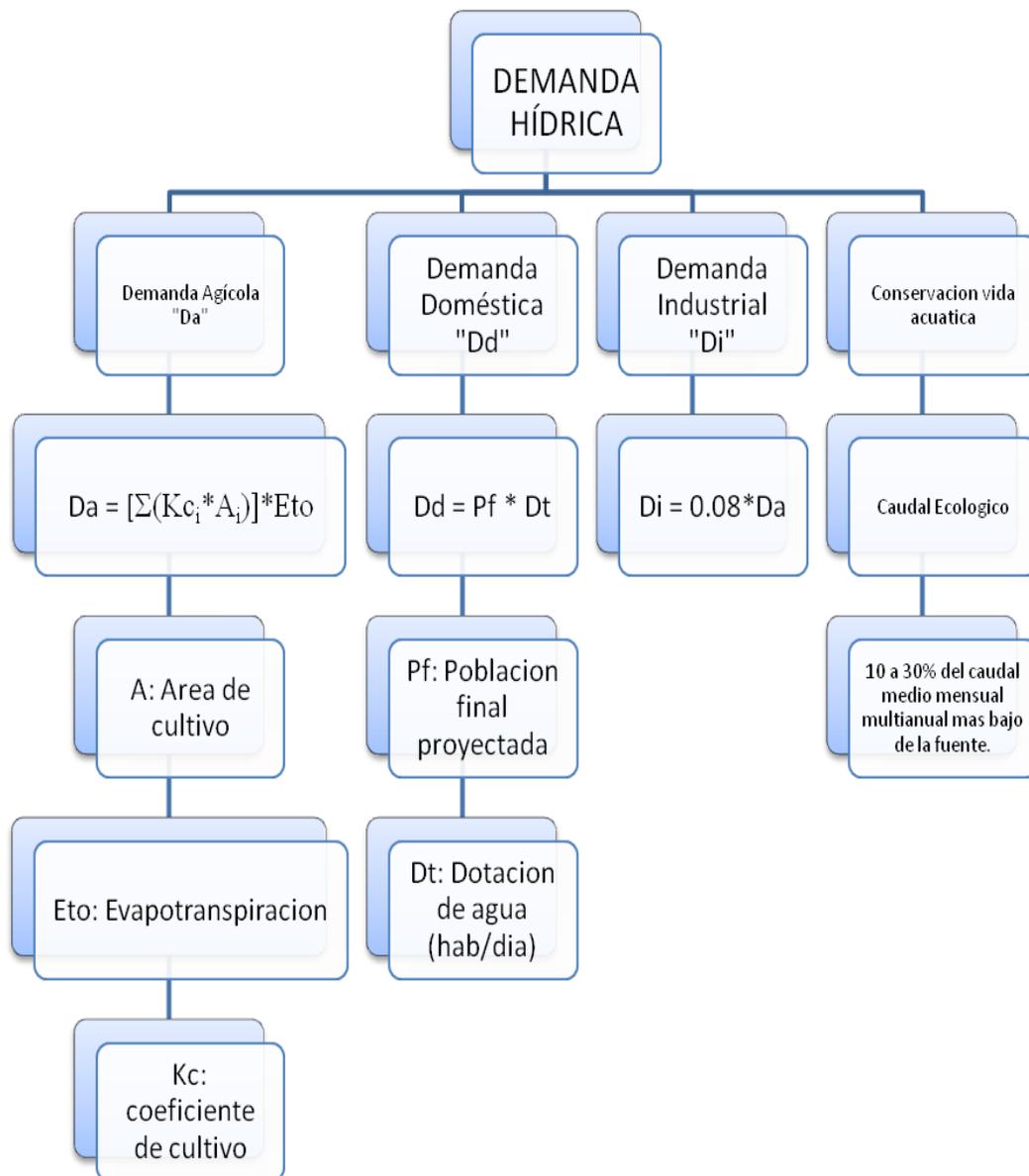


Figura 2. Diagrama general de cálculo de la Demanda Hídrica⁴.

En la Figura 3 se puede observar un esquema básico en la determinación de la Oferta hídrica.

⁴ Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle "CVC", 2002.



Figura 3. Diagrama general de cálculo de la Oferta Hídrica⁵.

⁵ Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle "CVC", 2002.

6.1. CALCULO DEL INDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUPERFICIALES

El cálculo del Índice de Escasez consiste en aplicar una serie de ecuaciones definidas de la siguiente forma⁶.

El Índice de Escasez se establece como la siguiente relación:

$$I_e = \frac{D}{O_n} \times 100\%$$

Ec. 1

Donde:

- I_e : Índice de Escasez [%].
- D : Demanda de agua [m³].
- O_n : Oferta hídrica superficial neta [m³].

A su vez la oferta hídrica superficial neta resulta de la siguiente expresión:

$$O_n = O_t \times R_e \times R_f$$

Ec. 2

Donde:

- O_t : Oferta hídrica superficial total [m³].
- R_e : Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje.
- R_f : Factor de reducción para protección de fuentes frágiles.

La reducción en la oferta hídrica significa tener en cuenta la demanda por caudal ambiental para en el cálculo del índice de escasez, este caudal requiere cuantificar un factor de reducción por calidad de agua, para su recuperación de carga contaminante producto de las actividades antrópicas y por caudal ecológico, necesario para el sostenimiento del ecosistema, la reducción se estima en un 25% del caudal medio mínimo mensual multianual de la fuente de estudio⁶ para calidad y caudal ecológico cada una.

⁶ Según resolución 865 del 22 de julio de 2004, del MAVDT.

Para el análisis del Índice de Escasez se establece una escala de valoración porcentual (Cuadro 1.) donde su rango varía entre alto, medio, moderado y bajo.

Cuadro 1. Escala de valoración del Índice de Escasez.

Categoría del Índice de Escasez	Porcentaje de la oferta hídrica utilizada	Color	Explicación
Alto	> 40 %	Rojo	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico.
Medio	20 – 40%	Naranja	Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y el 40% de la oferta hídrica disponible es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es menester asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para su existencia. Se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos.
Moderado	10 – 20%	Amarillo	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo
Bajo	<10%	Verde	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico

Fuente IDEAM

6.1.1. Dominio espacial para el cálculo

Se intentan cuantificar los elementos de entrada y salida de agua potencialmente aprovechable en la subcuenca del río Quilichao en el municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca, establecidos mediante cartografía, registros hidrométricos, mediciones directas y aproximaciones.

6.1.2. Componentes del Índice de Escasez

Se detallan las componentes de la Ecuación 1, requeridas para el cálculo del "IE".

6.1.2.1. Oferta hídrica total superficial

La oferta hídrica superficial total es una porción de agua que escurre por los cauces de los ríos y corrientes superficiales, también denominada por los hidrólogos como escorrentía superficial y su cuantificación conforma el elemento principal de medición en las redes de seguimiento hidrológico existentes en los distintos países.

La escorrentía puede determinarse experimentalmente mediante mediciones de caudal en la fuente y precipitación en la cuenca o aproximando valores según formulas empíricas y métodos analíticos⁷. En la cuantificación de la oferta hídrica se tendrá en cuenta caudales aforados en el río Quilichao y registros calculados en estudios previos, suministrados por la CRC. Para el cálculo de la escorrentía superficial se aplican ecuaciones empíricas como la de Turc.

Formula de Turc:

$$Esc = P - \frac{P}{\left(0.9 + \left(\frac{P^2}{(300 + 25 * Ta + 0.05 * Ta^3)^2}\right)\right)^2}$$

Ec. 3

⁷ Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

Donde:

Esc: Escorrentía superficial [mm].

P: Precipitación media [mm].

Ta: Temperatura media [°C].

La precipitación y temperatura media se obtienen de datos o registros climáticos obtenidos en estaciones cercanas⁸, ya sean media mensual o anual, los datos de precipitación se analizan con polígonos de Thiessen o Isoyetas. La escorrentía superficial se puede obtener en términos de rendimiento hídrico, que refleja la cantidad de agua escurrida durante un periodo estimado o el caudal de agua escurrido en un área de análisis.

Teniendo en cuenta la evapotranspiración en la cuantificación de la escorrentía, se calcula directamente por datos hidrométricos o con aproximaciones de formulas empíricas como la de Thornthwaite entre otras:

Formula de Thornthwaite:

$$Eto = 1.6 * \left[\frac{10 * Ta}{J} \right]^a$$

Ec. 4

Donde:

Eto: Evapotranspiración [cm/mes].

Ta: Temperatura media [°C].

J: Índice calórico anual, suma de los 12 índices mensuales.

$$Ji = \left(\frac{Ta}{5} \right)^{1.514}$$

Ec. 5

a: Constante función de J.

$$a = (675 * 10^{-9}) * J^3 - (771 * 10^{-7}) * J^2 + (179 * 10^{-4}) * J + 0.492$$

Ec. 6

⁸ Subministro de datos por el IDEAM.

La ecuación 4 se obtuvo para meses de 30 días, por lo que debe ajustarse para los otros meses mediante:

$$Eto_{(ajustada)} = \frac{Eto * n * N}{360}$$

Ec. 7

Donde:

Eto: Evapotranspiración [cm/mes].

n: Días del mes diferente a 30.

N: Horas de iluminación diaria, en función de la latitud del lugar⁹.

6.1.2.2. Factores de reducción para mantener el régimen de estiaje “Re”.

El factor de reducción para mantener el régimen de estiaje se establece con base en las características del régimen de estiaje de la fuente abastecedora. Para ello se establece el valor modal de los caudales durante el periodo de estiaje o de aguas bajas.

Inicialmente se construye la curva de duración de caudales de cada año, de la cual se extrae el caudal promedio del periodo de aguas bajas. Este caudal se calcula como el promedio aritmético de los caudales que son superados el 75% del tiempo durante el año. Con los caudales promedios extraídos de los periodos de estiaje de cada año se conforma el conjunto estadístico que caracteriza al régimen de estiaje de la fuente abastecedora.

Este conjunto estadístico se caracteriza por su función de distribución empírica, la cual se obtiene, al ordenar los caudales mínimos promedios de mayor a menor. Para ello se utilizan diferentes expresiones empíricas donde una de las más utilizadas es la de Weibull.

Según Weibull la probabilidad de excedencia “P” esta dada por:

$$P = \left(\frac{m}{n+1} \right) \times 100$$

Ec. 8

⁹ Anexo C.

Donde:

m: Número de orden del caudal en la serie ordenada;

n: Longitud de la serie de caudales mínimos.

La función de distribución empírica se le debe ajustar una función de distribución teórica que cumpla por lo menos con dos de los criterios de bondad de ajuste como: Criterio de Kolmogorov “λ”; Criterio de Smirnov “ω²”; Criterio de Pearson “χ²”.

La hipótesis nula sobre la concordancia de las funciones de distribución empírica y teórica se debe aprobar como mínimo con niveles de significancia del 5 y 10%. De la función de distribución teórica se extrae el caudal con probabilidad de excedencia del 97.5%¹⁰. Utilizando este caudal Q_{97.5%} se determina la reducción para mantener el régimen de estiaje de la fuente abastecedora de agua mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$R_e [\%] = 100 \times \frac{Q_{97.5\%}}{Q}$$

Ec. 9

6.1.2.3. Factor de reducción para protección de fuentes frágiles “Rf”.

El Factor de reducción para protección de fuentes frágiles es una función de los Coeficientes de variación (Cv) y de asimetría de los caudales promedio anuales (Cs) y persistencia de los caudales diarios (D). Este último representa la memoria temporal del régimen de caudales. En ríos de planicie la persistencia es mayor que en los ríos de montaña. La mayor reducción “Rf” tiene lugar en las corrientes en las que el caudal anual modal es bajo, el Coeficiente de variación es alto y la persistencia tendiente a 0. Por el contrario en los ríos donde Cv→0, Cs≪0, D>>0 y el caudal anual modal es alto, está reducción será mínima. La reducción varía de 0 hasta 50%.

Sin embargo, ante limitaciones como la corta longitud de las series de caudales anuales y de estiaje (30 años en promedio) y la complejidad del parámetro “D”, como primera aproximación para obtener “Rf” se recomienda aplicar la tabulación presentada en el Cuadro 2. Estas reducciones se aplican si se cuenta con la información requerida.

¹⁰ Anexo B.

Cuadro 2. Escala de reducciones para protección de fuentes frágiles.

Cv	Rf, (%)
0 - 0,2	15
0,2 - 0,3	25
0,3 - 0,4	35
0,4 - 0,6	40
>0,6	50

Fuente: Estudio nacional del agua un compendio sobre el recurso hídrico en Colombia.

6.1.2.4. Demanda hídrica.

Se debe cuantificar el agua usada de las fuentes superficiales y subterráneas¹¹.

El volumen de agua usada para el desarrollo de actividades socioeconómicas, debe ser el resultado de mediciones efectuadas, en un espacio y tiempo determinado, o reportado a las instituciones relacionadas y autoridades ambientales regionales.

La demanda hídrica corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales.

$$D_T = D_{UD} + D_{UI} + D_{US} + D_{UA} + D_{UP}$$

Ec. 10

Donde:

- D_T: Demanda Total de agua (m³).
- D_{UD}: Demanda de Agua para Uso Doméstico.
- D_{UI}: Demanda de Agua para uso Industrial.
- D_{US}: Demanda de Agua para el Sector Servicios.
- D_{UA}: Demanda de agua por uso Agrícola.
- D_{UP}: Demanda de agua por uso Pecuario.

Se realiza la sumatoria de cada una de las demandas por sectores, expresada en millones de metros cúbicos. La información requerida será solicitada a empresas prestadoras del servicio público, oficinas de planeación y "CRC". Cuando no hay la suficiente información se debe estimar potencialmente el volumen de agua demandada a nivel sectorial.

¹¹ El cálculo en la demanda subterránea se guiará en información de pozos, suministrada por la CRC.

Estas estimaciones se basan principalmente en la asociación de dos variables, el volumen de producción sectorial y un factor de consumo de agua por tipo de bien, con el limitante de que estas estimaciones no contemplan las pérdidas de los sistemas de conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución del agua en el suministro de agua potable y a nivel de la industria, tampoco tienen en consideración el nivel tecnológico, los métodos de producción limpia y el uso que del agua hace la industria extractiva.

Demanda de Agua por uso domestico¹² “D_{UD}”:

$$D_{UD} = D_{\text{per cápita urbana}} * h_{\text{habitantes urbanos}} + D_{\text{per cápita rural}} * h_{\text{habitantes rurales}}$$
Ec. 11

Demanda de Agua para uso Industrial “D_{UI}”:

$$D_{UI} = \sum_{i=1}^n V_{pi} \times F_{ci}$$
Ec. 12

Donde:

- D_{UI}: Demanda de Agua para uso Industrial.
- V_p: Volumen de producción según sector económico.
- F_c: Factor de consumo según sector económico.
- n: Numero de sectores industriales considerados.

Demanda de Agua para el Sector Servicios “D_{US}”:

Es la cantidad de agua consumida por el sector servicios que incluye entre otros: comercio, transporte y almacenamiento, comunicaciones, bancos, seguros y servicios a empresas, alquileres de vivienda, servicios personales y servicios del gobierno.

$$D_{US} = \sum_{i=1}^n N_i \times F_{csi}$$
Ec. 13

Donde:

- D_{US}: Demanda de agua para el sector servicios.
- N: Número de establecimientos por tipo de servicio.
- F_{cs}: Factor de consumo por tipo de servicio.

¹² Según título B del manual RAS 2000 y registros del DANE.

Demanda de Agua para Uso Agrícola “D_{UA}”:

La principal fuente de agua para la agricultura es la precipitación, los volúmenes adicionales necesarios para el desarrollo de cultivos, deben ser previstos por sistemas de riego. Cuando la precipitación es menor que el uso consuntivo de un cultivo (ETP*kc) el agua debe ser suministrada a través de sistemas de riego lo cual representa una deficiencia en la oferta hídrica y determina la demanda agrícola.

Con el uso de sistema de información SIG, se asocian los datos fisiográficos del área de estudio sobre cultivos, precipitación y evapotranspiración. A estos valores se adiciona el Coeficiente de uso de agua por tipo de cultivo obtenido teóricamente del informe de la FAO 33. Una vez construida una tabla de valores de variables asociadas, se estima la demanda de agua a partir de la expresión:

$$D_{UA} = [P - (ETP * kc)] * ha \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

- D_{UA}: Demanda de agua para el sector agrícola, si [P - (ETP*kc)] < 0.
- P: Precipitación.
- ETP: Evapotranspiración potencial.
- K_C: Coeficiente de uso de agua del cultivo¹³.
- Ha: Número de hectáreas cultivadas.

Demanda de agua para uso pecuario “D_{UP}”:

Es el resultado de multiplicar el volumen de producción de animales de importancia comercial, por un factor de consumo promedio aproximado, el cual está determinado teniendo en cuenta el tipo de animal, el tipo de producción y el consumo de materias seca y alimento requerido. Como tipo de animales de importancia comercial se clasifican: bovinos carne, leche y doble propósito, aves de corral y porcinos.

$$D_{UP} = \sum_{i=1}^n V_{pa\ i} \times F_{ca} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

- D_{UP}: Demanda de agua para uso pecuario.

¹³ K_c es el Coeficiente de cultivo, un valor adimensional que asigna a cada etapa de un cultivo un valor. La FAO informe N° 33 presenta un cuadro de kc para diferentes cultivos en áreas tropicales, Anexo A.

Vpa: Volumen de producción por tipo de animal industrial.
 Fca: Factor de consumo según la producción animal.

6.2. CALCULO DEL INDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUBTERRANEAS

$$I_{EG} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_C i}{Q_E}$$

Ec. 16

Donde:

I_{EG} : Índice de Escasez para aguas subterráneas.
 Q_C : Caudales captados en el acuífero.
 Q_E : Caudal del recurso hídrico explotable del acuífero.

La información necesaria, para agua superficial y subterránea, será adquirida mediante censos, conteos, mediciones previas, registros hidroclimáticos y datos suministrados por la "CRC".

6.3. CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCASEZ

El Coeficiente de Escasez presenta una variación de acuerdo al Índice de Escasez, la cual se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Escala de valoración del Coeficiente de Escasez¹⁴.

INTENSIDAD DE PRESIÓN	INDICE DE ESCASEZ (x100%)	COEFICIENTE DE ESCASEZ (Superficial)	COEFICIENTE DE ESCASEZ (Subterránea)
Baja	<10%	0	0
Moderada – mediana alta	11-50%	1 - 5	1 - 10
Alta	>50%	5	10

Fuente Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Para valores del Índice de Escasez, superiores a 0.5, implica necesariamente la intervención de la autoridad ambiental competente, con el propósito de tomar acciones de comando y control. En caso de superar éste valor, se debe estudiar la

¹⁴ ONU. Global Change and Sustainable Development: Critical Trends. Report of the Secretary General. 1997.

reasignación de las concesiones otorgadas en la cuenca ó unidad hidrológica de análisis, de tal manera que se disminuya la presión sobre el recurso.

La función matemática que define el comportamiento del Índice de Escasez, corresponde a una función de tipo escalonado. Para determinar la función del Coeficiente de Escasez en función del Índice de Escasez, se presentan las siguientes características para aguas superficiales:

- ✓ Cuando el Índice de Escasez tome el valor de 0.1 el Coeficiente de Escasez tomará el valor de 1.
- ✓ Cuando el Índice de Escasez tome el valor de 0.5 el Coeficiente de Escasez tomará el valor de 5.
- ✓ El Coeficiente de Escasez será una función creciente del Índice de Escasez. Esto implica que la función debe ser creciente con pendiente positiva en el tramo comprendido entre 0.1 y 0.5 para el Índice de Escasez.
- ✓ A medida que aumente el Índice de Escasez y se acerque a 0.5, el Coeficiente de Escasez crecerá en una mayor proporción. Esto implica que la pendiente de la función no es constante; es decir la pendiente es una función creciente del Índice de Escasez.
- ✓ De acuerdo con lo expuesto anteriormente, esto implica que la función en el tramo comprendido entre 0.1 y 0.5 debe ser cóncava.

Con la ayuda del Software Curve Expert, se buscó entre 454 tipos diferentes de funciones, aquella que cumpliera las características anteriores y que con base en la información conocida, se pudiera determinar su forma funcional explícita. Por esto se propuso la siguiente expresión:

$$C_E = \frac{\alpha}{1 + \beta * I_E}$$

Ec. 17

Donde:

- α, β : Corresponden a constantes específicas para aguas superficiales.
- I_E : Corresponde al Índice de Escasez, entre 0.1 y 0.5.
- C_E : Corresponde al Coeficiente de Escasez, que ésta acotado entre 1 y 5 para agua superficial y entre 1 y 10 para aguas subterráneas.

Para aguas superficiales se tiene:

$$1 = \frac{\alpha}{1 + \beta * 0.1}$$

$$5 = \frac{\alpha}{1 + \beta * 0.5}$$

Lo cual implica que se tenga un sistema no lineal de dos ecuaciones con dos incógnitas “ α ” y “ β ”:

$$\alpha = \frac{5}{6} \cong 0.833333$$

$$\beta = -\frac{5}{3} \cong -1.666666$$

Esto implica que el Coeficiente de Escasez para aguas superficiales es:

$$C_E = \frac{\left(\frac{5}{6}\right)}{\left[1 - \left(\frac{5}{3}\right) * I_E\right]}$$

Ec. 18

Para aguas subterráneas se tiene:

$$1 = \frac{\alpha}{1 + \beta * 0.1}$$

$$10 = \frac{\alpha}{1 + \beta * 0.5}$$

Despejando de igual forma se tiene:

$$\alpha = \frac{40}{49} \cong 0.816326$$

$$\beta = -\frac{90}{49} \cong -1.836735$$

Esto implica que el Coeficiente de Escasez para aguas subterráneas es:

$$C_E = \frac{\left(\frac{40}{49}\right)}{\left[1 - \left(\frac{90}{49}\right) * I_{EG}\right]}$$

Ec. 19

Simplificando esta expresión tenemos entonces que:

$$C_E = \frac{40}{49 - 90 * I_{EG}}$$

Ec. 20

Donde:

I_{EG} : corresponde al Índice de Escasez para aguas subterráneas.

7. EMPRESA RECEPTORA

El trabajo que se pretende llevar a cabo en conjunto con la Corporación Autónoma Regional del Cauca, está apoyado por la Subdirección de Gestión Ambiental en el programa “Gestión en administración, Regulación y Ordenamiento del recurso agua”.

La Subdirección de Gestión Ambiental tiene como misión coordinar las acciones corporativas tendientes a administrar y ordenar los recursos naturales y desarrollar acciones de manejo ambiental a través del otorgamiento de licencias, permisos, concesiones y autorizaciones ambientales con el fin de propiciar el uso sostenible de los ecosistemas forestales, acuáticos, continentales, costeros y marinos y de la biodiversidad.

En la Figura 4, se muestra el organigrama de la “CRC”.

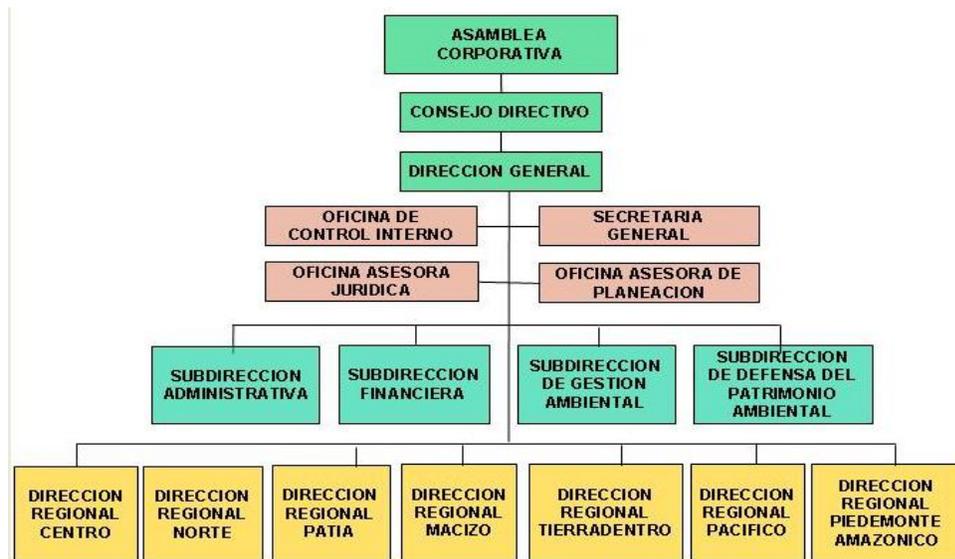


Figura 4. Organigrama de la Corporación Autónoma regional del Cauca “CRC”

8. PLAN DE TRABAJO

8.1. ACTIVIDADES A CUMPLIR

Para llevar a cabo con los objetivos establecidos se diseñan las siguientes actividades, con las que se desea conocer el Índice de Escasez hídrico, según su relación oferta – demanda, que se presente en la subcuenca del río Quilichao en el departamento del Cauca.

- ✓ Recopilar información primaria por parte de entidades prestadoras del servicio y de la corporación “CRC” (información de la cuenca a estudiar, datos hidroclimáticos de la zona, información de población, tipos de uso del agua y suelos, cartográficos base y bibliografía adicional).
- ✓ Identificar y clasificar los tipos de uso del agua principales en la zona de estudio (Doméstico, agrícola, industrial, institucional y pecuario).
- ✓ Cuantificar los usuarios directos en cada cuerpo de agua, para aguas superficiales y subterráneas, según el uso.
- ✓ Georeferenciar las fuentes abastecedoras de agua, topografía, geomorfología, fisiografía y clima del área, análisis gráfico.
- ✓ Relacionar la oferta y demanda hídrica establecida por zonas de influencia, según las fuentes a considerar.
- ✓ Calcular el Índice de Escasez en cada fuente hídrica y determinar el Coeficiente de Escasez.
- ✓ Establecer un análisis regional del Coeficiente de Escasez y conocer las fuentes con mayor presión del recurso hídrico.

8.2. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

Se plantean y exponen, en el Cuadro 4, las actividades metodológicas a realizar para cumplir con los objetivos.

Cuadro 4. Descripción de Actividades Metodológicas.

ACTIVIDAD	OBJETIVO	METODOLOGÍA	ALCANCE
Recopilación de información.	Extender y afianzar el conocimiento sobre las zonas de estudio.	Revisar información requerida e importante para el desarrollo del tema, suministrada por entidades prestadoras del servicio como: "CRC", IDEAM, Alcaldía, consultores Técnicos, Asesores y usuarios.	Apoyar y referenciar el estudio del Índice de Escasez, con fuentes confiables. Conocer lineamientos y procesos básicos para la ejecución del estudio. Obtener información actual y veraz sobre cartografía base, usos del agua, usuarios, variables de cálculo y claridad de conceptos.
Establecer los usos del agua.	Concretar los tipos de uso del agua, de la comunidad adyacente a las fuentes hídricas.	Establecer medidas de cuantificación de la población y sus respectivos usos ya sean doméstico, agrícola, industrial, institucional y pecuario, utilizando encuestas, conteos, aproximaciones, entrevistas. Recurrir a Sistemas de Información Geográfica	Conocer un balance general del uso hídrico cotidiano y cuantitativo de la población. Determinar la Demanda Hídrica.
Georeferenciación.	Especificar y delimitar la zona de estudio. Conocer áreas de influencia y usos.	Conocer Mediante sistemas de información geográfica, cartografía, topografía y visualización directa, el lugar de análisis.	Conseguir un conocimiento gráfico, documentado y específico de cada zona de estudio, para evaluar la disposición y flujo hídrico. Determinar la Oferta Hídrica.
Determinar el Índice de Escasez.	Relacionar cuantitativamente la Oferta y Demanda Hídrica. Comprobar el estado natural de las fuentes.	Calcular con previa información temática, constantes, variables y factores, el Índice de Escasez.	Obtener la clasificación del índice y conocer la influencia humana sobre el recurso hídrico.
Estimar el Coeficiente de Escasez.	Definir la escasez del recurso hídrico superficial y subterráneo. Calcular el Coeficiente de Escasez.	Calcular el Coeficiente de Escasez implementado en la tasa por el uso del agua, en función del Índice de Escasez para agua subterránea y superficial.	Establecer un análisis ambiental de presión sobre el recurso hídrico, para tomar las respectivas medidas de control y protección de la unidad hidrológica estudiada.
Seguimiento y evaluación.	Definir estrategias y acciones de control, prevención y manejo del recurso hídrico.	Asesorías y conceptos técnicos, revisiones bibliográficas	Complementar medidas y técnicas de gestión ambiental del recurso hídrico y estimular su buen manejo, en el desarrollo sustentable de la región.

Fuente: Elaboración propia

8.3. EJECUCIÓN DE TRABAJO

El estudio que se pretende realizar, para la determinación del índice de Escasez y teniendo en cuenta las actividades a realizar, estará dirigido y acompañado por personal profesional capacitado en la materia, donde cada actividad se proyectará en un tiempo estipulado para su ejecución.

Los recursos necesarios estarán a cargo de la Corporación Autónoma Regional del Cauca "CRC", como transporte, software, material pedagógico, papelería y cartografía. Se seguirán controles de tiempo requeridos para las actividades a realizar.

La revisión y evaluación del trabajo, se desarrollará mensualmente mediante informes del avance presentados por el pasante, a cargo de la Subdirección de gestión Ambiental y Administración del Recurso Hídrico de la "CRC" y por los ingenieros asesores, se certificarán las horas de asistencia de la pasantía.

8.4. HORARIO DE TRABAJO

El horario de trabajo para la ejecución de las actividades, corresponde a la disponibilidad de tiempo con que se cuente, por lo tanto el control de asistencia que se tenga, será registrado por el funcionario de la corporación teniendo en cuenta las actividades realizadas.

El tiempo programado es estimado a 6 meses, para cumplir con 6 actividades principales y necesarias en la determinación del Coeficiente de Escasez.

8.5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Cuadro 5. Cronograma de Actividades.

ACTIVIDADES SEMANALES	1° Mes				2° Mes				3° Mes				4° Mes				5° Mes				6° Mes			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recopilación de información.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Establecer los usos del agua.					■	■	■	■	■	■	■	■												
Georeferenciación.											■	■	■	■	■	■	■							
Determinar el Índice de Escasez.																	■	■	■	■				
Estimar el Coeficiente de Escasez.																			■	■	■	■		
Seguimiento y evaluación.																						■	■	■

Fuente: Elaboración propia

9. RECURSOS DISPONIBLES

9.1. RECURSOS HUMANOS

Para llevar a cabo el estudio planteado se contará con el soporte personal de:

- ✓ Director del trabajo en la modalidad de Pasantía y profesor de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca:

ING. LUÍS JORGE GONZÁLEZ MUÑOZ.

- ✓ Asesor Técnico del Trabajo a realizar y funcionario de la “CRC”:

ING. FRANCISCO VIDAL GIRALDO.

- ✓ Estudiante del programa de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil y ejecutante del Trabajo en modalidad de Pasantía:

HUGO FERNANDO IBARRA FERNANDEZ.

- ✓ Personal vinculado a la “CRC” que trate la temática y colabore en el desarrollo de las actividades.

9.2. RECURSOS FÍSICOS

9.2.1. Equipos y materiales

- ✓ Material logístico.
- ✓ Recurso Hardware y Software.
- ✓ Cartografía base y documentos.

9.2.2. Locativos

- ✓ Instalaciones de la Corporación Autónoma Regional del Cauca.

9.3. RECURSOS FINANCIEROS

Cuadro 6. Costos del Proyecto por parte de la Universidad del Cauca

RECURSO	UNIDAD	CANT.	VALOR UNIT \$	TOTAL \$
INGENIERO ASESOR UNICAUCA	Hora asesoría	40	40.000	1'600.000
PASANTE	Hora asesoría	640	9.000	5'760.000
EQUIPOS COMPUTACIONALES	Alquiler mes	4	150.000	600.000
TOTAL COSTOS				7'960.000

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 7. Costos del Proyecto por parte de la "CRC".

RECURSO	UNIDAD	CANT.	VALOR UNIT \$	TOTAL \$
INGENIERO INTERVENTOR "CRC"	Hora asesoría	40	40.000	1'600.000
TRANSPORTE	Salida	6	100.000	600.000
PAPELERIA	Dotación Mes	4	50.000	200.000
EQUIPOS COMPUTACIONALES	Alquiler Mes	4	150.000	600.000
TOTAL COSTOS				3'000.000

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 8. Costos del Proyecto Totales.

COSTOS POR ENTIDAD	TOTAL \$
Costos Del Proyecto por parte de la Universidad del Cauca	7'960.000
Costos del Proyecto por parte de la "CRC"	3'000.000
TOTAL COSTOS	10'960.000

Fuente: Elaboración propia

10. CARACTERIZACION HIDROGRÁFICA

10.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

- ✓ Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC
- ✓ Empresas Municipales de Santander de Quilichao – EMQUILICHAO
- ✓ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM
- ✓ Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE

10.1.1. Cartografía

La CRC suministró información cartográfica, en medio digital (*.dwg), a escala 1:50.000 del área de estudio, con curvas de nivel y planchas catastrales del IGAC, para su posterior análisis gráfico.

10.1.2. Hidrometeorología

La CRC solicitó información y registros climáticos al IDEAM y a la CVC, de las estaciones cercanas al área de estudio, para obtener parámetros pluviométricos e hidrométricos. En el Cuadro 9 se muestran las estaciones seleccionadas para el análisis hidrológico.

Cuadro 9. Estaciones climáticas requeridas.

ESTACIONES	COORDENADAS		ELEV.	ENTIDAD
	NORTE	ESTE	MSNM	
CIAT QUILICHAO	828723	1064580	990	CVC
EL AMPARO	810293	1066443	1850	IDEAM
LOMITAS	834247	1055313	1205	IDEAM
JAPIO	825039	1068288	1015	IDEAM
LA BALSA	834247	1053460	986	CVC
MANDIVA	819506	1060879	1250	CVC
CALOTO	826,885	1,073,846	1115	IDEAM
EL AGUILA	812,146	1,083,120	1805	CVC

Fuente: Elaboración propia

10.1.3. Reglamentación por uso del agua

La CRC suministró documentos de la reglamentación vigente y distribución del río Quilichao, que fue expedida mediante Resolución N° 0745 del 28 de Septiembre de 2001, además de las concesiones de agua otorgadas en la zona.

10.2. ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA

10.2.1. Localización

El municipio de Santander de Quilichao está ubicado en la República de Colombia, en el sector norte del Departamento del Cauca, A 97 Km. al norte de Popayán y 45Km al sur de Santiago de Cali, limitado al norte con los municipios de Villarica y Jamundí, al occidente con el municipio de Buenos Aires, al oriente con los municipios de Caloto y Jambaló y al sur con el municipio de Caldonó.

Su posición geográfica es 3°00'47" latitud Norte y 76°29'12" longitud Oeste; su altura media sobre el nivel del mar es de 1.075 m.s.n.m.

La cuenca del río Quilichao se encuentra localizada al norte del departamento del Cauca, sobre el flanco occidental de la cordillera central, entre las elevaciones 960 y 2.600 msnm, y las coordenadas 2° 33' y 3° 02' de latitud norte, y 76° 15' y 76° 18' de longitud oeste. Drena al río Japio el cual, a su turno, entrega sus aguas al río Quinamayó y éste, a su vez, al río Cauca. Tiene una extensión de 2291 has, que en su totalidad se encuentran en el municipio de Santander de Quilichao¹⁵.

10.2.2. Clima

Temperatura: Con base a la información del IDEAM, se puede concluir que la temperatura promedio mensual es de 23.5°C en la cabecera municipal, variando hasta los 12°C en las zonas más altas de la cuenca.

Precipitación: El promedio anual es 1.362 mm, el promedio anual máximo es 3.435 mm, y el promedio anual mínimo es 279 mm. En el territorio se presenta

¹⁵ Informe: Evaluación de la Oferta y Demanda de agua de las subcuencas de los ríos Japio y Quilichao, zona norte del departamento del cauca, Contrato de 2000, Subdirección de Gestión Ambiental, CRC.

una distribución del régimen de lluvias bimodal, con dos períodos de lluvia y dos de verano. Esto arrojado por el estudio de las curvas de variación estacional de las estaciones climáticas de “el Amparo” y “Lomitas”.

Humedad relativa: De acuerdo a estudios aislados de tipo agronómico adelantados por el CIAT y CVC, se ha reportado como humedad relativa con valores entre el 60 y 70%, dentro del territorio municipal, considerada como moderadamente alta.

10.2.3. Uso actual y potencial del suelo.

El municipio de Santander de Quilichao tiene una gran diversidad en su cobertura vegetal y usos del suelo favorecidos por contar con tres pisos térmicos, por lo cual se puede decir que su vocación es agropecuaria. En su territorio hay cultivos agrícolas y praderas utilizadas en ganadería doble propósito, ceba y producción de leche, hay terrenos ubicados en zona de laderas, que han sufrido procesos erosivos especialmente por el mal uso dado con algunos cultivos limpios como yuca y maíz, estos suelos en la actualidad son de escaso uso agropecuario. Se encuentra rastrojos y matorrales, una porción está en bosques primarios, secundarios y plantados, presenta área de parques, zonas industriales y área urbana.

Adicionalmente se adquirieron en la CRC, planos en formato *.dwg de previos estudios en la zona a escala 1:50.000, para el total de la cuenca.

10.2.4. Hidrografía.

El territorio de Santander de Quilichao, posee una red hidrográfica que satisface las necesidades hoy requeridas, por sus pobladores y para las respectivas actividades productivas. Sin embargo se hace necesario continuar y estimular los programas de conservación de microcuencas que surten acueductos que desarrolla el municipio en convenio con EMQUILICHAO y aquellos programas que adelanta la UMATA en materia de conservación de suelos agrícolas de ladera. La pérdida de regulación de cauces en los ríos entre la época de lluvias y época de verano es bastante preocupante, y es el efecto directo de la pérdida de cobertura vegetal protectora en las microcuencas

El río Quilichao nace en el cerro de Munchique Grande, en la cordillera central. Tiene una longitud aproximada de 23 km, desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Japio. Sus principales quebradas tributarias son: La

Arenosa, La Antolina, Polinaria, Pavitas y La Mirra, que, en su mayoría, son utilizadas para consumo doméstico y actividades agrícolas.

10.2.5. Geología.

Los suelos de la cuenca del río Quilichao, están constituidos geológicamente por la descomposición de formaciones de diferentes edades, que van desde el paleozoico de las laderas altas y medias de la cordillera central, hasta el cuaternario que cubre las partes bajas pasando por formaciones del mesozoico y terciario. En su litología predominan compuestos de arcillas, esquistos, areniscas, mantos de carbón y aún intrusiones de dacitas. El piso más antiguo de esta zona, aparte de la formación Cajamarca del paleozoico, lo conforman las tobas diabásicas cretáceas sobre las cuales se encuentran pliegues de areniscas cenozoicas y estratos carboníferos. Estos pisos están cubiertos por sedimentos transportados como depósitos aluviales, lacustres, flujos de lodo y ceniza volcánica.

10.2.6. Red Vial.

El municipio se encuentra contiguo a Cali, Popayán y Buenaventura, centro de gran actividad económica y su real red vial es aceptable lo que facilita el impulso de las inversiones. Hacia la cabecera del municipio las vías se encuentran pavimentadas. La vía de acceso a la parte alta es un carreteable en mal estado que lleva, desde Santander de Quilichao hasta el sitio conocido como El Taladro, en Munchique. Solamente hay servicio de transporte interveredal. Las comunicaciones están también al alcance de las zonas y en la parte urbana se cuenta con la tecnología adecuada.

10.2.7. Servicios Públicos.

La zona cuenta con servicios públicos, de energía, prestado por CEDELCA; agua, por las empresas municipales de Santander de Quilichao EMQUILICHAO; teléfonos por TELECOM. De los anteriores servicios se beneficia en menor porcentaje el sector rural.

Las entidades que tienen presencia en la zona son: Policía Nacional, Cuerpo de Bomberos Voluntarios, Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC).

10.2.8. Aspectos sociales municipales.

Cuadro 10. Aspectos sociales municipales

Área del municipio	513,01 Km2
Área rural	505,63 Km2
	98,56%
Área Urbana	7,38 Km2
	1,44%

Fuente: Elaboración propia

En la región habitan comunidades negras, indígenas y mestizas que por sus diferencias culturales hacen que sea una comunidad heterogénea.

Las comunidades negras están ubicadas generalmente en las áreas por debajo de los 1.200 msnm. Aunque estas comunidades no han logrado un desarrollo organizativo y político, han iniciado importantes procesos en torno a la recuperación social de su identidad étnica y cultural. Para el logro de estos objetivos se ha consolidado como estrategia fundamental la educación comunitaria, que no solamente ha coadyuvado al fortalecimiento de las organizaciones en torno a procesos productivos y de organización social, sino de participación para la cogestión ambiental a través de la recuperación de su identidad cultural en relación con el entorno natural.

La etnia mestiza, aunque guarda en su memoria algunos elementos tradicionales en relación con la naturaleza, su filosofía de vida está más orientada al aprovechamiento del entorno para satisfacer las demandas de la economía de mercado, considerándose en este sentido el hombre como un ser externo a su medio natural. Esta posición ideológica ha llevado a que se entienda la oferta del entorno natural como bienes ilimitados, lo que trae consigo consecuencias preocupantes respecto a las relaciones de equilibrio que deben existir dentro del concepto de desarrollo sostenible.

10.2.9. Zonas críticas.

Parte centro-norte del municipio de Santander, se encuentra sobre depósitos de rocas sedimentarias no consolidadas al terciario-cuaternario, constituidas por conos aluviales, flujos de lodo, depósitos de pie de monte. Estos depósitos son dinámicos y dependen de las precipitaciones, variaciones climáticas y otros factores que aumentan el riesgo generado por inundaciones en las zonas bajas potencialmente inundables, por encontrarse próximas a fuentes de agua superficiales.

Las poblaciones existentes en la cordillera central y occidental, ubicadas en la parte sur del municipio de Santander de Quilichao se caracterizan por un relieve con pendientes fuertes y condiciones climáticas características del trópico húmedo, que presentan un mayor riesgo por movimientos en masa, debido a la expansión urbana no planificada. El municipio de Santander de Quilichao, está constantemente expuesto a la manifestación de fenómenos naturales y antrópicos que han ocasionado pérdidas humanas, la destrucción de construcciones, equipamientos y vías, etc.

10.3. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA¹⁶

Cuadro 11. Caracterización morfométrica

Área (km ²)	22,92
Perímetro (km)	42,15
Longitud Max. (km)	16,81
Ancho Max. (km)	2,82
Longitud Río (km)	20,82
Área mayor	13,86
Área menor	8,97

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12. Tamaño relativo de los sistemas hidrológicos

Unid. Hidrológica	Área (Km ²)	# de Orden
Microcuenca	10 – 100	1, 2, 3
Sub. Cuenca	101 – 700	4, 5, 6
Cuenca más	Más de 700	6 a más

Fuente: Jiménez, 1992.

Según Jiménez, 1992, el tamaño relativo de la subcuenca Quilichao corresponde a la unidad hidrológica de microcuenca, menor a 100 km² y se denominará así en adelante.

10.3.1. Forma de la cuenca.

Factor de Forma: Es la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido. Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las

¹⁶ Datos tomados del mapa de Uso del suelo, a escala 1:50000, de la cartografía rural base, del Plan Básico de Ordenamiento Territorial para Santander de Quilichao, año 2000.

crecidas rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca.

Índice de compacidad o índice de Gravelius: Compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo tiene la misma superficie, se clasifica de acuerdo a su forma irregular.

Índice de alargamiento: Relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca medida en el sentido del río principal y el ancho máximo de ella medido perpendicularmente.

Índice asimétrico: Es la relación del área de las vertientes, mayor y menor, las cuales son separadas por el cauce principal. Este índice evalúa la homogeneidad en la distribución de la red de drenajes, pues si se tiene un índice mucho mayor a 1 se observara sobre la cuenca que el río principal está bastante recargado a una de las vertientes.

Cuadro 13. Forma de la cuenca

Forma de la cuenca	Valor	Característica
Factor Forma	0,08	Alargada
Índice Compacidad	2,47	Rectangular oblonga
Índice Alargamiento	5,96	Alargada
Índice Asimétrico	1,55	Recargado a vertiente

Fuente: Elaboración propia

10.3.2. Elevación de la cuenca.

Es uno de los parámetros más determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la cuenca. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio.

Curva hipsométrica: Es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, por medio de una curva tal, que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por encima de esa altura. Se construyó a partir de un plano topográfico, sobre el cual se calculó el área entre curvas a nivel, para luego definir el porcentaje del área por encima de cada curva y

posteriormente, graficar la elevación versus el porcentaje del área total sobre la cota. A partir de esta, se puede identificar fácilmente la *elevación mediana*, que es aquella que determina la cota de la curva de nivel que divide la cuenca en dos zonas de igual área, es decir, la elevación correspondiente al 50% del área total.

La elevación mediana para la Microcuenca del río Quilichao equivale a 1254,33 m.s.n.m.

Cuadro 14. Áreas entre curvas de nivel en la cuenca.

RANGO ENTRE CURVAS	Elevación Promedio	RÍO QUILICHAO		
	(msnm)	Area Km ²	% del Total	% Acumulado
950-1000	975	2,58	11,17	100
1000-1050	1025	4,3	18,62	88,82
1050-1100	1075	1,49	6,45	70,2
1100-1150	1125	1,36	5,89	63,75
1150-1200	1175	1,37	5,93	57,86
1200-1250	1225	0,76	3,29	51,93
1250-1300	1275	0,49	2,1	48,64
1300-1350	1325	0,28	1,23	46,54
1350-1400	1375	0,13	0,54	45,31
1400-1500	1450	0,57	2,47	44,77
1500-1600	1550	1,46	6,31	42,3
1600-1700	1650	1,7	7,33	35,99
1700-1800	1750	1,62	7,01	28,66
1800-1900	1850	1,57	6,78	21,65
1900-2000	1950	0,97	4,2	14,87
2000-2100	2050	0,74	3,19	10,67
2100-2200	2150	0,69	3	7,48
2200-2300	2250	0,42	1,83	4,48
2300-2400	2350	0,33	1,43	2,65
2400-2500	2450	0,13	0,56	1,22
2500-2600	2550	0,12	0,51	0,66
2600-2700	2600	0,03	0,15	0,15

Fuente: Elaboración propia

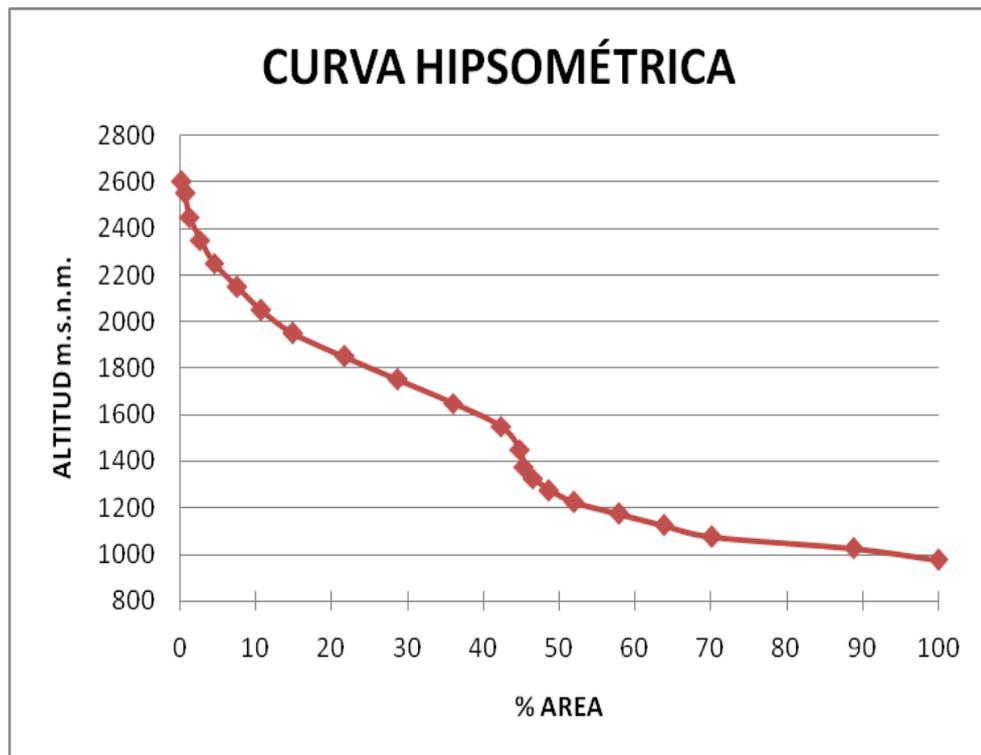


Figura 5. Curva Hipsométrica.

Métodos Área – Elevación: Para estimar la elevación media por este método es necesario disponer de un plano con curvas de nivel con la misma diferencia de nivel o desnivel. Este método inicia con la medición del área de las diferentes franjas de terreno, delimitada por las curvas de nivel consecutivas y la divisoria de agua; donde se divide el producto de la elevación media y el área por franja de terreno, entre el área total de la cuenca.

En el Cuadro 15 se resume el cálculo de la elevación media del cual se obtiene para la microcuenca del río Quilichao un valor de 1427.53 m.s.n.m.

Cuadro 15. Elevación media por el método Área - Elevación.

Elevación (msnm)	Área Km ²	AxE
975	2,58	2515,5
1025	4,3	4407,5
1075	1,49	1601,75
1125	1,36	1530
1175	1,37	1609,75
1225	0,76	931
1275	0,49	624,75
1325	0,28	371
1375	0,13	178,75
1450	0,57	826,5
1550	1,46	2263
1650	1,7	2805
1750	1,62	2835
1850	1,57	2904,5
1950	0,97	1891,5
2050	0,74	1517
2150	0,69	1483,5
2250	0,42	945
2350	0,33	775,5
2450	0,13	318,5
2550	0,12	306
2600	0,03	78
Total		32719
Em (msnm)		1427,53

Fuente: Elaboración propia.

Promediando los métodos anteriores se puede afirmar que la elevación para la microcuenca del río Quilichao es de 1340.93 m.s.n.m. ajustada a una elevación media.

10.3.3. Pendiente de la cuenca.

La pendiente es la variación de la inclinación de una cuenca, su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o sedimentación), puesto que en zonas de pendientes fuertes se presentan con mayor frecuencia los problemas de erosión; mientras que en regiones llanas aparecen principalmente problemas de drenajes y sedimentación. A mayor pendiente

media, mayor será la velocidad de escorrentía superficial, menor la infiltración y mayor la susceptibilidad a la erosión de los suelos.

Método de Alvord: Tiene como principio el promedio ponderado de las pendientes individuales entre curvas de nivel consecutivas, una vez obtenida la longitud total de las curvas y con el valor medio del desnivel entre estas, se emplea la expresión de Alvord para las diferentes variaciones de nivel.

Se obtuvo un valor de 23.84 % en la pendiente media (S_m) para el río Quilichao, como se muestra en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Pendiente media por el método Alvord.

CURVA DE NIVEL	RÍO QUILICHAO
	LONGITUD (KM)
1000	2,86
1050	2,26
1100	1,83
1150	5,22
1200	3,79
1250	2,05
1300	1,47
1350	0,62
1400	0,69
1500	4,75
1600	8,1
1700	7,11
1800	6,21
1900	5,96
2000	4,59
2100	3,61
2200	2,74
2300	2,26
2400	1,83
2500	1,03
2600	0,56
Longitud Total (Km)	68,97
Desnivel (Km)	0,08
Sm	0,238

Fuente: Elaboración propia.

Método de Horton: Se requiere trazar una cuadrícula sobre el plano de la cuenca a analizar, el trazado de la malla se orientará con base en la dirección predominante del río principal. A partir de la cuadrícula se toma la medida de la longitud de cada línea de la malla comprendida dentro de la cuenca y se contabiliza el número de cortes y tangencias de cada línea con las curvas de nivel.

El método arroja una pendiente media (S_m) de 20,3 % para el río Quilichao, como se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Pendiente media por el método Horton.

Número de la línea en la malla	Intersecciones		Longitudes (Km)	
	Nx	Ny	Lx	Ly
0				
1	6		1,067	1,539
2	6	3	1,981	3,068
3	8	1	2,501	3,719
4	5		2,552	0,523
5	3	3	1,748	1,625
6	2	1	0,364	1,73
7		2	0,404	1,27
8	3	8	0,845	4,066
9	3	8	1,375	3,891
10	8	2	2,329	0,674
11	1		1,387	
12			1,568	
13			1,591	
14			1,368	
15			1,274	
16				
Suma Parcial	45	28	22,354	22,105
Suma Total	73		44,459	
Sx	0,158			
Sy	0,100			
Sm	0,203			

Fuente: Elaboración propia.

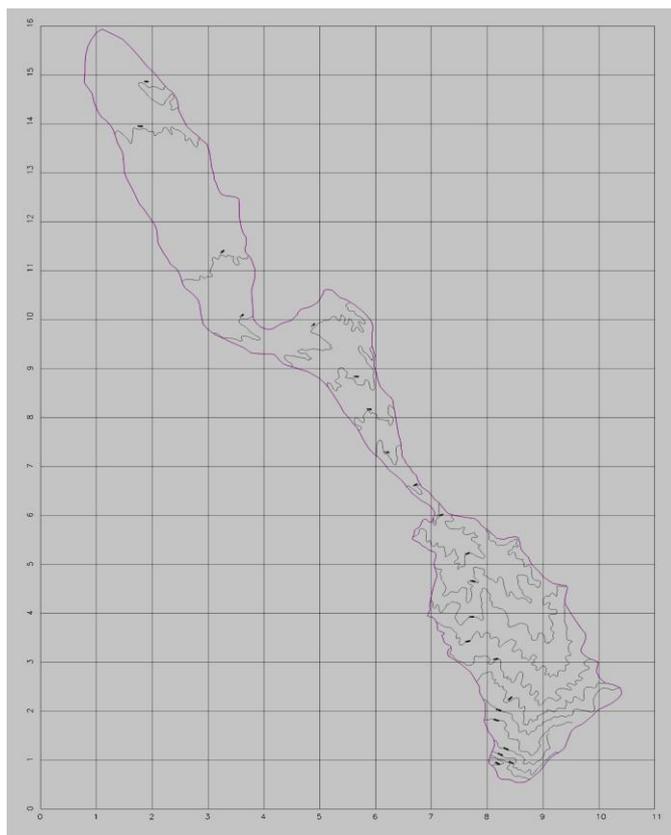


Figura 6. Malla para el cálculo de la pendiente media por el método de Horton.

Promediando los métodos anteriores se puede afirmar que la pendiente media para la microcuenca del río Quilichao es de 22.1 %. Lo cual indica un tipo de relieve de suave a ligeramente accidentado.

10.3.4. Red de Drenaje.

El sistema de drenaje está conformado por el río principal y sus tributarios, se traza considerando las corrientes perennes y las intermitentes, incluyéndose los cauces efímeros o sea aquellos que sólo llevan agua durante las lluvias.

Longitud del cauce principal: La longitud de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo y otro punto aguas arriba, equivale a 20.97 km para el río Quilichao.

Longitud total de la red: La longitud total de la red se calcula considerando las corrientes perennes y las intermitentes, incluyendo los cauces efímeros o sea aquellos que solo llevan agua durante las lluvias, equivale a 65.12 km.

Número de orden: El número de orden, según Gravellius, es una clasificación que se le da a los diferentes cauces y que toman un determinado valor, de acuerdo al grado de bifurcación, como se muestra en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Orden de las corrientes.

ORDEN	RÍO QUILICHAO	
	NÚMERO DE CORRIENTES	LONGITUD (Km)
1	1	20,972
2	28	25,371
3	22	15,707
4	6	2,472
5	1	0,594
Total		65,116

Fuente: Elaboración propia.

10.3.5. Densidad de Drenaje.

Según Horton, es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de una cuenca y su área total, permite tener un conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca.

La densidad de drenaje (Dd) para el río Quilichao resulta de 2,84 km/km², lo cual indica que es una microcuenca moderadamente drenada¹⁷.

La cuenca cuenta con un patrón de drenaje complejo en la parte alta y en su zona de ladera, con alta densidad lo cual da una máxima potencialidad de producción hídrica. En la zona plana, la densidad es pobre, caracterizándose por presentar alta demanda de agua para consumo humano y riego de cultivos¹⁸.

¹⁷ Según Jiménez (1992) que considera valores de "Dd" próximos a 0.5 km/km² corresponden a una cuenca pobremente drenada mientras que valores de 3.5 km/km² o mayores, indican una red de drenaje eficiente.

¹⁸ Informe: Evaluación de la Oferta y Demanda de agua de las subcuencas de los ríos Japio y Quilichao, zona norte del departamento del Cauca, Contrato de 2000, Subdirección de Gestión Ambiental, CRC.

10.3.6. Tiempo de concentración

Es el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca. Otra definición es el tiempo que toma el agua en llegar al punto de diseño hasta el punto más alejado de la cuenca y se determina mediante fórmulas experimentales, como se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Tiempo de concentración.

MÉTODO	EXPRESIÓN UTILIZADA	RÍO QUILICHAO (minutos)
Kirpich	$T_c = 0.0195 \times \left[\frac{L}{\sqrt{Sm}} \right]^{0.77} ; T_c (\text{horas})$	18,39
California Culverts Practice	$T_c = \left[0.870 \times \frac{L^3}{H} \right]^{0.385} ; T_c (\text{min})$	20,47

Fuente: Elaboración propia.

Promediando los métodos anteriores se puede decir que el tiempo de concentración es de 19.43 minutos.

10.4. CARACTERIZACION HIDROCLIMATOLOGICA

10.4.1 Clima.

En la microcuenca del río Quilichao el clima es variado, se pueden apreciar cinco zonas climáticas¹⁹, a saber:

- ✓ Tierras calientes, correspondientes a la zona plana entre elevaciones 960 a 1.000 msnm con temperaturas medias de 25° C.
- ✓ Tierras moderadamente calientes, cubriendo la zona de piedemonte desde los 1.000 hasta los 1.200 msnm con temperaturas que oscilan entre los 22° y 24° C.
- ✓ Tierras templadas, entre los 1.200 y 1.400 msnm, con temperaturas de 18° a 20° C.

¹⁹ Informe: Evaluación de la Oferta y Demanda de agua de las subcuencas de los ríos Japio y Quilichao, zona norte del departamento del Cauca, Contrato de 2000, Subdirección de Gestión Ambiental, CRC.

- ✓ Tierras moderadamente frías, en la franja de los 1.400 a 1.800 msnm y temperaturas medias de 16° C.
- ✓ Tierras frías, en la zona de montaña media alta donde la temperatura varía entre 16° y 12° C.

Para efectos prácticos se asumen 3 zonas climáticas, categorizadas como se aprecia en el cuadro 20 y Figura 7, asumiendo una temperatura media en la microcuenca de 20°C. El cálculo de la precipitación media se realiza mediante Isoyetas, ver Cuadro 23.

Cuadro 20. Zonas climáticas.

Zonas	Temperatura media (°C)	Precipitación media anual (mm)	Descripción
A	24	1819,40	Zona cálida con altitudes menores a 1200 msnm
B	19	2071,23	Zona templada con altitudes entre 1200 y 1800 msnm
C	16	2231,99	Zona fría con altitudes superiores a 1800 msnm

Fuente: Elaboración propia.

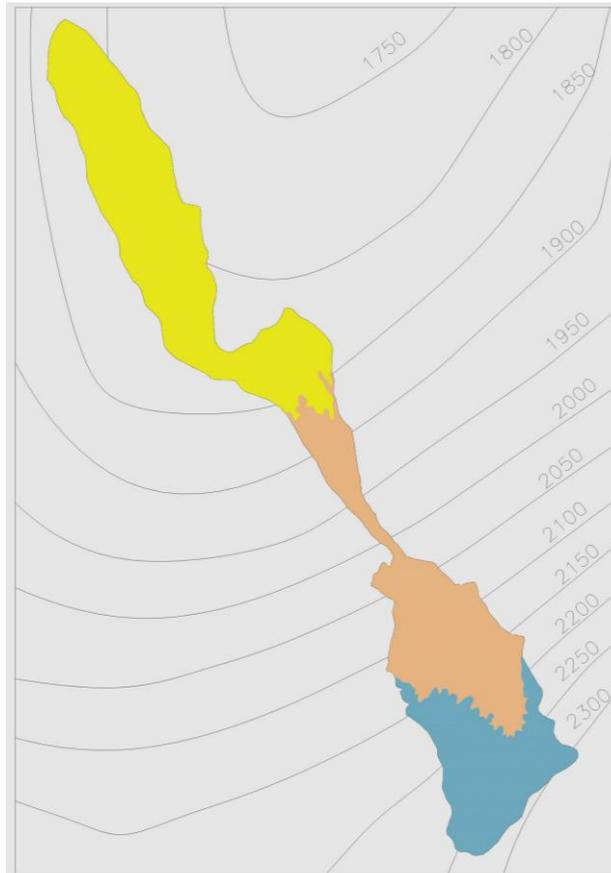


Figura 7. Zonas climáticas e Isoyetas en la microcuenca del río Quilichao.

10.1.1. Precipitación media.

Con la información pluviométrica de cada estación climatológica examinada, con datos históricos de 1982 a 2001, se promedian las precipitaciones mensuales como se observa en el Cuadro 21.

Distribución temporal. En cuanto a la distribución temporal de la precipitación en la microcuenca Quilichao, se puede observar en la Figura 8, que presenta un régimen de lluvias bimodal, en donde la primera temporada de lluvias del año comprende los meses de marzo, abril y mayo, la cual es seguida de una temporada seca severa que se manifiesta al inicio del mes de junio y se extiende hasta mediados del mes de septiembre, en la cual durante el mes de Julio es donde se presentan las más bajas precipitaciones en la microcuenca, donde se presenta la segunda temporada lluviosa con mayor intensidad que la primera temporada promedio, siendo octubre y noviembre los meses con más altas precipitaciones del año, presentando una intensidad de precipitación media de 174.22 mm al mes y 2090.7 mm al año.

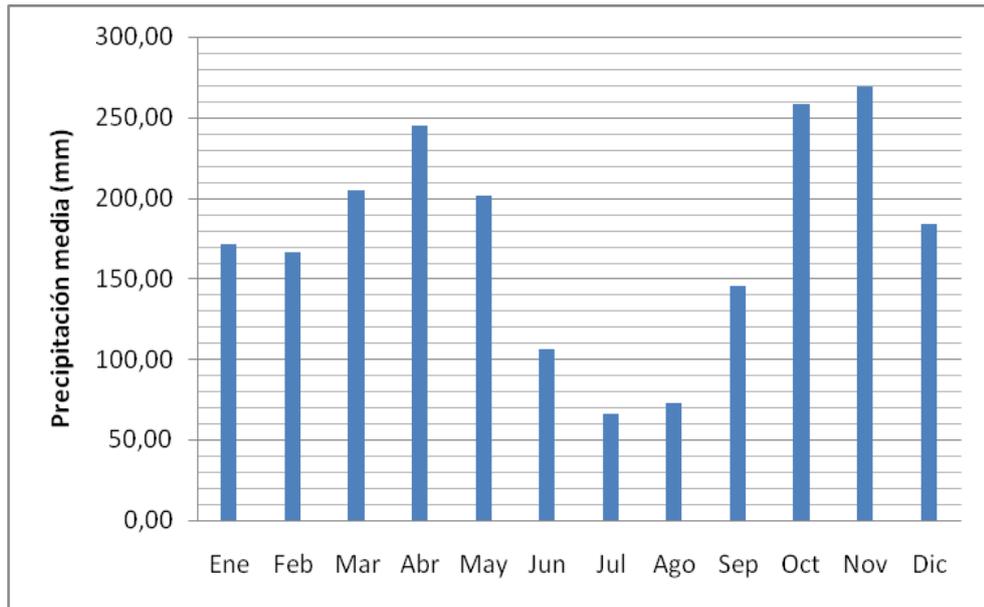


Figura 8. Precipitación media mensual²⁰.

²⁰ Promedio aritmético de las precipitaciones medias de cada estación climatológica analizada, para los meses del año.

Cuadro 21. Precipitaciones medias mensuales por estación.

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)													
ESTACION	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
CIAT Quilichao	134,03	127,20	173,27	220,93	169,37	89,87	48,67	63,07	132,78	208,10	221,66	159,80	1748,75
El Amparo	194,18	199,75	216,15	245,20	226,89	106,80	75,40	87,30	168,05	286,60	272,85	194,00	2273,17
Lomitas	173,85	163,15	199,80	288,93	244,21	144,90	77,05	78,25	170,30	275,95	294,10	185,00	2295,48
Japio	146,92	141,47	172,34	221,17	167,70	93,74	50,14	70,26	128,79	208,57	228,00	152,65	1781,71
La Balsa	166,50	152,30	185,60	283,20	229,00	134,00	67,70	72,65	166,70	268,45	275,65	160,60	2162,35
Mandivá	176,20	179,06	208,15	224,26	199,33	93,67	71,73	68,83	131,77	253,67	269,67	190,47	2066,80
Caloto	157,35	145,01	189,41	204,30	142,20	72,40	54,55	53,05	111,95	255,30	241,30	181,17	1807,97
El Águila	220,75	222,75	295,40	274,00	235,75	114,50	82,62	85,12	151,67	307,75	352,70	246,35	2589,35
MAX.	220,75	222,75	295,40	288,93	244,21	144,90	82,62	87,30	170,30	307,75	352,70	246,35	2589,35
MIN.	134,03	127,20	172,34	204,30	142,20	72,40	48,67	53,05	111,95	208,10	221,66	152,65	1748,75
PROMEDIO	171,22	166,34	205,01	245,25	201,81	106,23	65,98	72,32	145,25	258,05	269,49	183,75	2090,70

Fuente: Elaboración propia.

Distribución espacial. Para visualizar la distribución de las lluvias sobre el área de influencia, se estiman las líneas Isoyetas que dan una mayor aproximación a la precipitación media, pues sintetiza la información de las estaciones climatológicas a una menor área sobre la microcuenca del río Quilichao, como se observa en la Figura 9.

Este método promedia la precipitación de dos Isoyetas consecutivas y se le asigna un peso o ponderación proporcional a la sub-área entre las dos Isoyetas, como se muestra en el Cuadro 22.

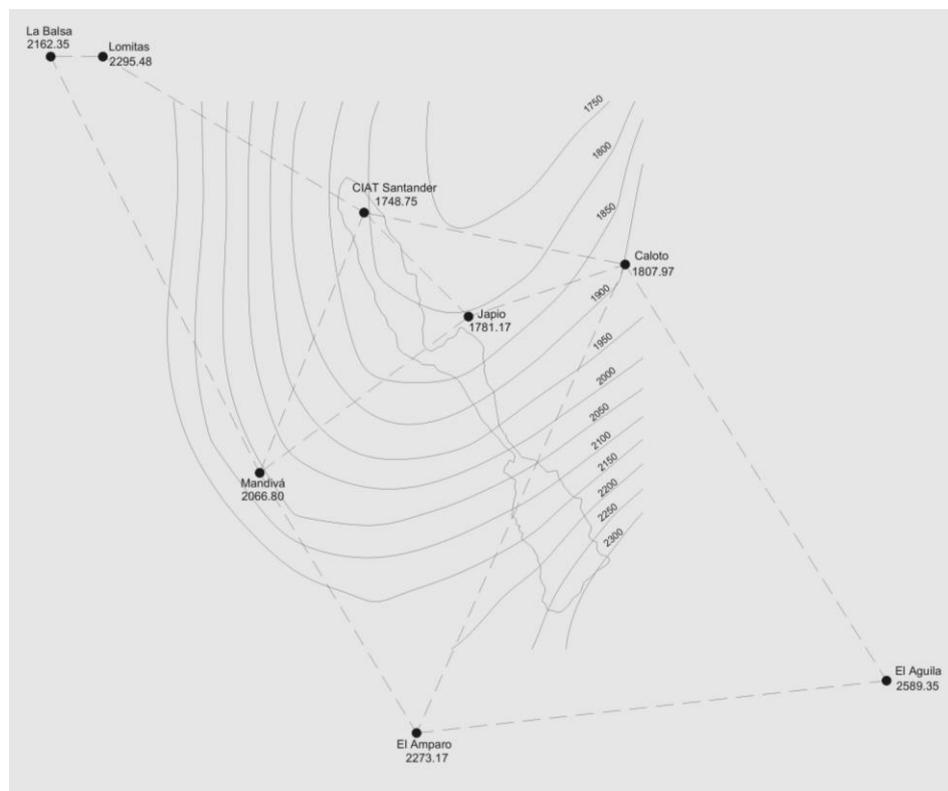


Figura 9. Isoyetas anuales sobre la microcuenca del río Quilichao.

Cuadro 22. Precipitación media anual calculada con Isoyetas para la microcuenca.

Isoyeta	Precipitación media (mm/Año)	Área (km ²)	% Área	Precipitación ponderada (mm/Año)
1800	1800	2,77	12,12	218,13
1800 - 1850	1825	7,87	34,43	628,35
1850 - 1900	1875	0,98	4,29	80,39
1900 - 1950	1925	0,68	2,97	57,27
1950 - 2000	1975	0,23	1,01	19,87
2000 - 2050	2025	0,55	2,41	48,72
2050 - 2100	2075	1,41	6,17	128,00
2100 - 2150	2125	2,01	8,79	186,86
2150 - 2200	2175	2,06	9,01	196,01
2200 - 2250	2225	2,44	10,67	237,51
2250 - 2300	2275	1,79	7,83	178,15
2300	2300	0,068	0,30	6,84
Totales		22,858	100	1986,11

Fuente: Elaboración propia.

Según el método de Isoyetas se puede afirmar que la precipitación media anual, para la microcuenca, es de 1986.11 mm y mensual es de 165.5 mm.

Promediando los datos obtenidos, entre Isoyetas y medias mensuales, se puede decir que la precipitación media anual es de 2038 mm y de 170 mm al mes, para toda el área de la microcuenca del río Quilichao.

Calculando con el método de Isoyetas para cada zona climática analizada de la microcuenca, se obtienen las de precipitaciones anuales como se observa en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Precipitación media anual calculada con Isoyetas por zonas.

Isoyeta	Precipitación media (mm/Año)	Área (km ²)	% Área	Precipitación ponderada (mm/Año)
1800	1800	2,77	12,12	455,38
1800 - 1850	1825	7,86	34,39	1310,12
1850	1850	0,32	1,40	53,90
Totales A		10,95	47,90	1819,40
1850 - 1900	1875	0,67	2,91	179,28
1900 - 1950	1925	0,68	2,97	188,21
1950 - 2000	1975	0,23	1,01	65,31
2000 - 2050	2025	0,55	2,41	160,14
2050 - 2100	2075	1,41	6,17	420,67
2100 - 2150	2125	1,87	8,18	571,35
2150 - 2200	2175	1,12	4,90	350,25
2200	2200	0,43	1,88	136,02
Totales B		6,96	30,43	2071,23
2150	2150	0,19	0,83	81,90
2150 - 2200	2175	0,92	4,02	401,16
2200 - 2250	2225	2,01	8,79	896,60
2250 - 2300	2275	1,80	7,87	820,97
2300	2300	0,07	0,30	31,36
Totales C		4,99	21,82	2231,99

Fuente: Elaboración propia.

Las precipitaciones ponderadas halladas, son la base para el cálculo de la oferta hídrica en cada una de las zonas de estudio.

11. OFERTA HIDRICA SUPERFICIAL

Se determina por 3 métodos aplicando como límites las zonas climáticas establecidas anteriormente, método de Caudales medios, balance hídrico y por aforos tomados en el río Quilichao, estos métodos teóricos, experimentales y prácticos sintetizan una aproximación a la oferta hídrica superficial y están sujetos a modificaciones y actualizaciones.

11.1. Caudales medios.

Los caudales medios fueron obtenidos de un modelo hidrológico implementado en el estudio "Evaluación de la Oferta y Demanda de agua de las subcuencas de los ríos Japio y Quilichao", por la CRC, el Modelo es llamado TEMEZ²¹.

Este se encuentra implementado en el software CHAC²² y tiene gran aplicación cuando se hace necesaria la generación de caudales a partir de una serie de precipitaciones, o cuando se requiere completar o extender una serie histórica de caudales a partir de una serie completa o más larga de registros de lluvias.

El modelo tomó como base valores o registros calculados y calibrados de la cuenca del río Palo, desde el año 1978 hasta el 2000, para conocer registros de caudal en la microcuenca del río Quilichao.

La curva de duración de caudales como resultado de la modelación, para el río Quilichao, se realiza mediante registros diarios y para zonas alta y baja de la microcuenca, como se muestra en la Figura 10.

²¹ J. R. Témez. "Modelo matemático de Transformación - Aportación" ASINEL, Madrid - España, 1977.

²² Calculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas, versión PreAlfa 03C – marzo 2000, desarrollado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas – CEDEX, adscrito al Ministerio de Fomento de España.

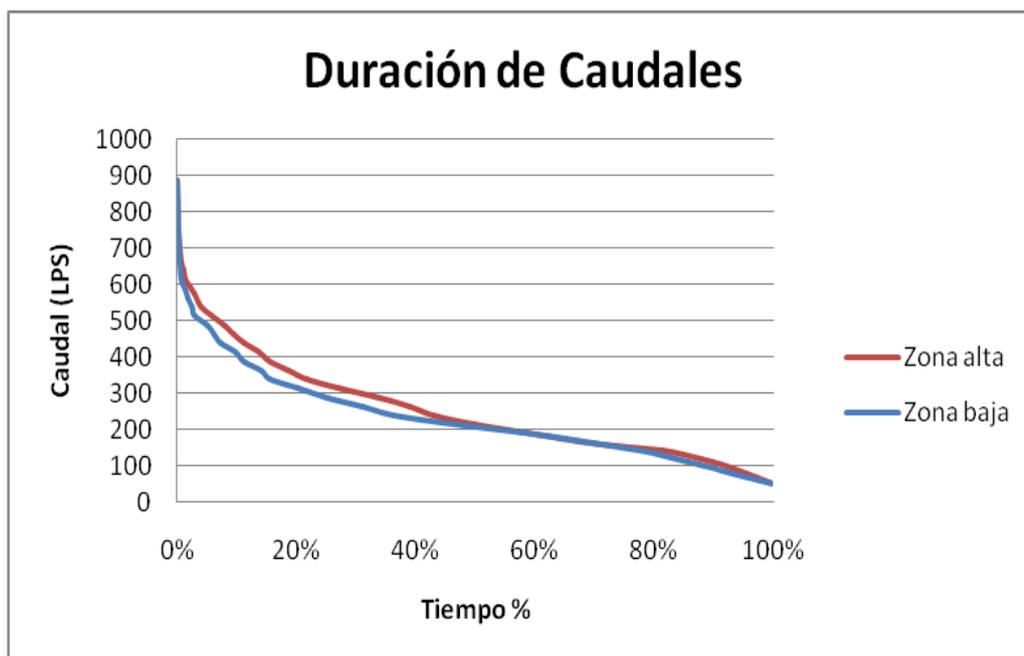


Figura 10. Curva de duración de caudales del río Quilichao.

Según la resolución 865 de 2004 e IDEAM, la reducción en la oferta hídrica por calidad y caudal ecológico equivale al 25% del caudal medio mínimo mensual y luego de verificar buenas condiciones en la calidad del agua, se reduce el 25% del mismo caudal. El cálculo genera la oferta hídrica neta que se utiliza para la deducción del índice de escasez. Ver Cuadro 24.

Al tomar los caudales medios mensuales para las zonas de estudio alta y baja de la microcuenca, se obtiene la aproximación de reducción por caudal ecológico y por calidad del agua. Debido a que la calidad del agua en el río Quilichao es relativamente buena²³, se asume como reducción el 50% del caudal medio mínimo mensual multianual, correspondiente a reducciones por calidad y caudal ecológico, este caudal a reducir también es denominado demanda por caudal ambiental y según estudios se puede calcular de otras maneras²⁴, el caudal mínimo mensual generalmente se presenta en el mes de agosto.

²³ Debido a la ausencia de información actualizada se toman los registros de calidad hídrica en el río Quilichao, efectuados por la CRC en 2006, los resultados son concluyentes en la calidad aceptable.

²⁴ El caudal ecológico se puede predecir con curvas de duración de caudales, según "Estudio Nacional de Agua" en el 2000.

Cuadro 24. Oferta hídrica neta calculada con caudales medios mensuales.

Mes	ZONA A (L/s)			ZONA B (L/s)			ZONA C (L/s)		
	Caudal medio	Oferta neta	Reducción	Caudal medio	Oferta neta	Reducción	Caudal medio	Oferta neta	Reducción
Enero	262,79	179,95	82,84	275,83	191,90	83,93	288,88	203,86	85,02
Febrero	221,23	138,39		247,32	163,39		273,40	188,39	
Marzo	238,31	155,46		257,87	173,94		277,44	192,42	
Abril	326,93	244,09		331,28	247,35		335,63	250,61	
Mayo	301,70	218,86		310,40	226,47		319,09	234,07	
Junio	233,46	150,62		239,98	156,05		246,51	161,49	
Julio	178,61	95,77		185,13	101,20		191,66	106,64	
Agosto	165,69	82,84		167,86	83,93		170,04	85,02	
Septiembre	170,31	87,47		181,18	97,25		192,05	107,04	
Octubre	230,72	147,88		241,59	157,66		252,46	167,44	
Noviembre	332,58	249,73		336,92	252,99		341,27	256,25	
Diciembre	247,08	164,24		260,12	176,19		273,17	188,15	
Media (L/s)	242,45	159,61		252,96	169,03		263,47	178,45	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 25. Parámetros de calidad de agua del río Quilichao.

Sitio	PROMEDIO		pH	Temp.	Oxígeno		DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
	H (m)	Vel. media (ft/s)			Mg/l	%			
Antes de Emquilichao	0,19	3,59	7,24	21,3	5,51	93	0,8	<4	18
Después de descargas			7,04	22,7	3,76	49,5	17	48	45

Fuente: CRC, Caracterización de descargas y vertimientos, enero de 2006.

En la parte alta y media de la microcuenca las condiciones ambientales del río Quilichao son apreciablemente estables, aunque en la parte baja recibe vertimientos por contaminación antrópica y la reducción por calidad es necesaria, mediante indicadores ambientales.

El río Quilichao recibe contaminación de aguas residuales urbanas, en la cabecera municipal de Santander de Quilichao se estima un caudal de 86 L/s de los cuales el 45% vierte al río Quilichao, el 40% al río Agua Sucia y el 15% a la quebrada Agua caliente²⁵.

11.2. Balance hídrico.

Al cuantificar la escorrentía superficial a partir del balance hídrico de la cuenca, se está estimando la oferta de agua superficial. La estimación de la oferta hídrica para un espacio y periodo específico tiene como base el ciclo hidrológico modelado mediante el balance hídrico el cual determina la disponibilidad del agua en cada una de las fases: precipitación, evapotranspiración real, infiltración y escorrentía. El balance hídrico es considerado un buen método para estimar con un margen de error pequeño el caudal medio anual en diferentes regiones de Colombia.

Al realizar un balance hídrico a largo plazo se tiene que los cambios en los volúmenes de agua almacenados en la atmósfera y los volúmenes de agua almacenados en el suelo, son despreciables. En consecuencia el flujo promedio en la atmósfera es igual al promedio de la escorrentía total y son iguales a la diferencia entre la precipitación media y la evapotranspiración real.

²⁵ Fuente: Perfil socioeconómico del municipio de Santander de Quilichao, "Información línea base para el diseño de un proyecto de desarrollo agroindustrial enmarcado en un proceso de desarrollo regional sostenible".

Siguiendo la metodología establecida y utilizando la aproximación de Turc en el cálculo de la evapotranspiración real, junto con la precipitación media hallada por zonas (Cuadro 23). Se calcula la oferta hídrica superficial o escorrentía total, como se muestra en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Escorrentía superficial total en la microcuenca.

Zonas	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media (mm/año)	ETO real "TURC"(mm/año)	Escorrentía Total (mm/año)
zona A	24	1819,40	835,927	983,476
zona B	19	2071,23	745,398	1325,828
Zona C	16	2231,99	682,179	1549,808

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener la oferta hídrica superficial, sin reducciones por calidad y caudal ecológico, se efectúa el producto de la escorrentía superficial y el área de influencia de la misma. El cálculo se resume en el Cuadro 27, del que se puede mencionar un promedio en la oferta hídrica, para toda la microcuenca, de 292.91 L/s.

Cuadro 27. Oferta hídrica total en la microcuenca.

Zonas	Escorrentía Total (mm/año)	Área (km ²)	Oferta hídrica (LPS)	Oferta hídrica (m ³ /s)
A	983,48	10,95	341,26	0,34
B	1325,83	6,96	292,42	0,29
C	1549,81	4,99	245,07	0,25
Media	1286,37	22,90	292,91	0,29

Fuente: Elaboración propia.

Según el cálculo de demanda ambiental, realizado anteriormente (Cuadro 24), se realiza una equivalencia o porcentaje de reducción respecto al caudal medio

anual²⁶ en litros por segundo, para ejecutar la reducción por calidad y caudal ecológico en el balance hídrico.

Cuadro 28. Oferta hídrica neta calculada con el balance hídrico.

Zonas	Oferta hídrica (LPS)	Reducción %	Oferta neta (LPS)
A	341,26	34,17	224,65
B	292,42	33,18	195,39
C	245,07	32,27	165,99
Media	292,91	33,21	195,34

Fuente: Elaboración propia.

Se puede decir que el caudal ambiental en el río Quilichao representa un 33,21% del caudal medio anual, el cual se reduce para obtener la oferta hídrica neta en la microcuenca.

11.3. Registros de caudal in situ.

Los registros fueron tomados por la CRC seccional norte, de forma aleatoria y en diferentes puntos de aforo entre los meses de septiembre de 2005 y septiembre de 2008, los registros luego de su clasificaron arrojaron 64 datos para su posterior análisis.

Para obtener un valor de caudal medio anual se promediaron los aforos diarios, este valor equivale a la oferta hídrica superficial del río Quilichao, los datos también se discriminaron por su lugar y fecha de aforo, pero debido a su variabilidad en tiempo, caudal y escasez de registros, se toma un promedio para toda la microcuenca, ya que la zonificación no sería representativa.

²⁶ Porcentaje de reducción solo para la microcuenca del río Quilichao.

Cuadro 29. Registros de aforo en el río Quilichao.

REGISTROS IN SITU					
Fecha	Caudal (LPS)	Fecha	Caudal (LPS)	Fecha	Caudal (LPS)
06/09/2005	280,00	29/09/2006	120,50	20/11/2006	747,70
06/09/2005	195,00	29/09/2006	118,50	27/11/2006	636,60
06/09/2005	170,00	13/10/2006	99,71	27/11/2006	556,00
06/09/2005	120,00	13/10/2006	87,07	27/11/2006	425,80
06/09/2005	117,00	13/10/2006	81,80	27/11/2006	369,90
06/09/2005	114,00	22/10/2006	681,90	27/11/2006	241,00
06/09/2005	114,00	22/10/2006	59,00	27/11/2006	66,12
27/01/2006	502,40	23/10/2006	185,10	03/07/2008	125,20
27/01/2006	192,80	23/10/2006	167,00	10/07/2008	314,30
10/07/2006	240,00	23/10/2006	118,60	10/07/2008	273,40
10/07/2006	230,00	23/10/2006	92,90	10/07/2008	234,60
10/07/2006	45,00	30/10/2006	660,20	11/09/2008	233,40
24/07/2006	128,00	30/10/2006	572,30	11/09/2008	201,90
14/08/2006	194,80	30/10/2006	537,00	11/09/2008	174,90
14/08/2006	190,00	30/10/2006	440,00	11/09/2008	64,50
14/08/2006	169,80	30/10/2006	439,55	19/09/2008	189,71
14/08/2006	150,96	30/10/2006	255,80	19/09/2008	176,44
14/08/2006	130,00	30/10/2006	50,00	19/09/2008	176,46
13/09/2006	189,00	10/11/2006	840,64	19/09/2008	154,46
13/09/2006	132,00	10/11/2006	364,80	19/09/2008	135,97
13/09/2006	120,00	20/11/2006	813,20	19/09/2008	116,55
20/09/2006	145,20	20/11/2006	660,00	19/09/2008	101,44
Media anual (LPS)					258,06

Fuente: CRC seccional norte, Santander de Quilichao.

En este caso para realizar la reducción por caudal ambiental sobre la oferta hídrica, se toman valores iguales de reducción que los hallados con los caudales medios (cuadro 24), generando una oferta hídrica neta de 174.36 L/s para la microcuenca²⁷, como resultado de la diferencia entre el caudal medio anual y la reducción media calculada para toda la microcuenca anteriormente.

En general se presenta la oferta hídrica superficial por cada método empleado en su cálculo y por cada zona analizada de la microcuenca, como se muestra

²⁷ Se toma la oferta promedio de la microcuenca para cada zona debido a la ausencia de información y escasez de datos para generar una tendencia significativa y más precisa en cada zona estudiada.

en el Cuadro 30, también se presenta un promedio mensual de oferta por zonas de la microcuenca, en el Cuadro 31.

Cuadro 30. Ponderación de la oferta hídrica por zonas de la microcuenca.

Zonas	Oferta hídrica neta (LPS)			
	Caudales medios	Balance hídrico	Aforos in situ	Media en zonas
A	159,61	224,65	174,36	186,21
B	169,03	195,39	174,36	179,59
C	178,45	165,99	174,36	172,93
Media en la microcuenca	169,03	195,34	174,36	179,58

Fuente: Elaboración propia.

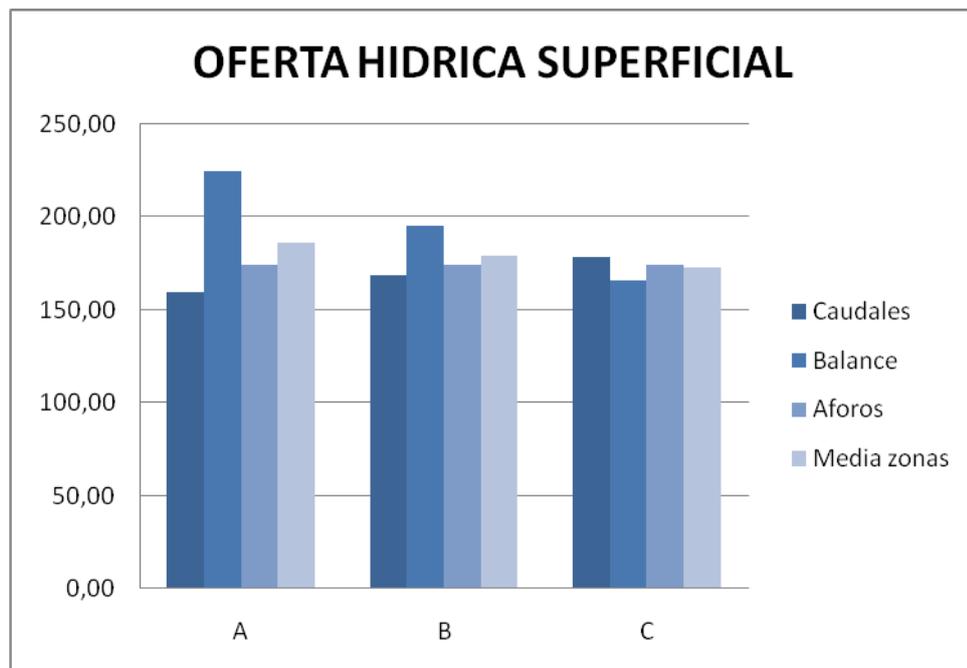


Figura 11. Oferta hídrica superficial por zonas de la microcuenca.

Cuadro 31. Ponderación de la oferta hídrica mensual en la microcuenca.

Mes	OFERTA HIDRICA NETA (LPS)			
	Zona A	Zona B	Zona C	Media mensual (L/s)
Enero	192,99	187,22	181,40	187,20
Febrero	179,13	177,71	176,24	177,70
Marzo	184,83	181,23	177,59	181,22
Abril	214,37	205,70	196,99	205,68
Mayo	205,96	198,74	191,47	198,72
Junio	183,21	175,27	167,28	175,25
Julio	164,93	156,99	148,99	156,97
Agosto	160,62	151,23	141,79	151,21
Septiembre	162,16	155,67	149,13	155,65
Octubre	182,30	175,80	169,26	175,79
Noviembre	216,25	207,58	198,87	207,57
Diciembre	187,75	181,98	176,17	181,97
Media anual (L/s)	186,21	179,59	172,93	179,58

Fuente: Elaboración propia.

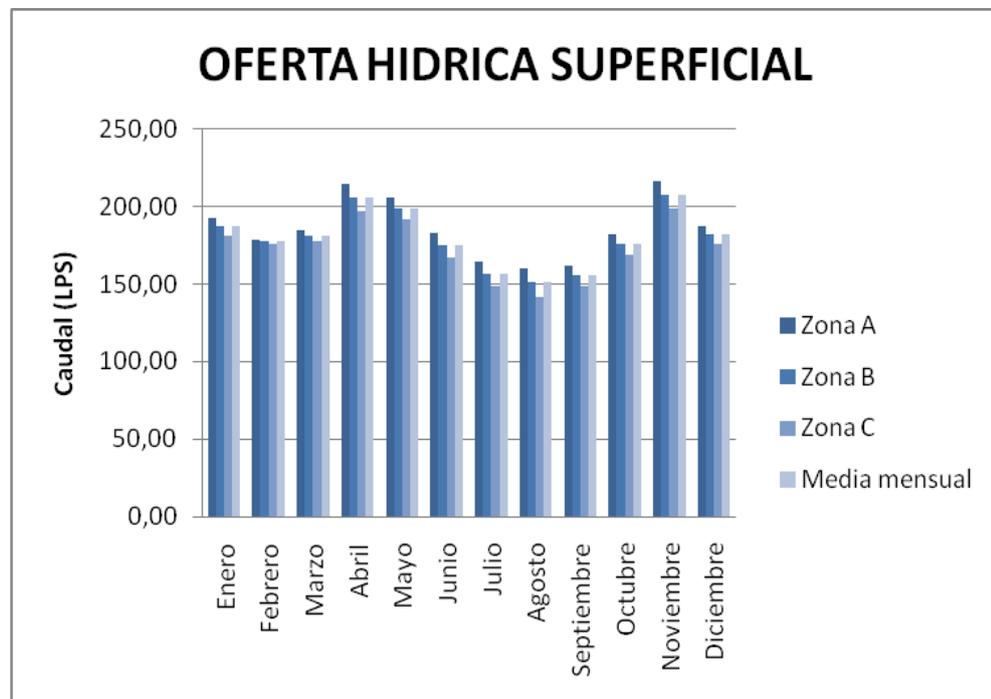


Figura 12. Oferta hídrica superficial mensual en la microcuenca.

12. DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL

12.1. DEMANDA POR USO DOMÉSTICO

Esta demanda es de acuerdo con la Ley, el renglón de consumo que se debe satisfacer prioritariamente. Su determinación depende de muchos factores, entre los que se destacan: el número de habitantes que se ubican en el área de estudio, la concepción cultural en el manejo del agua, el nivel socio-económico de las comunidades involucradas, las eficiencias en la conducción y distribución de las redes de abasto e indirectamente de la disponibilidad de la misma en términos de calidad y cantidad de agua,

Para realizar el cálculo de la demanda por uso doméstico, es necesario fijar una dotación de agua per cápita, la cual está condicionada principalmente por factores socioculturales y económicos de la población que realiza dicho consumo la cual se multiplica por el número de habitantes en la cuenca. Esta dotación debe incluir un factor de mayoramiento, por pérdidas en la conducción y distribución del agua. Es así, como se parte de una dotación básica de 150 L/hab-día²⁸ con la que se cubren las necesidades primarias de cada habitante, y se aumenta un 20% por pérdidas técnicas, un 20% por otros usos (como lavado de autos, riegos de huertas caseras y de animales pequeños) y un 15% en ajuste por temperatura para la población urbana; para así obtener una dotación neta de 230 L/hab-día²⁹ para la población urbana y de 200 L/hab-día para la población rural, esta sin corrección por temperatura debido a que no supera los 20°C.

Para la estimación de la población actual y futura se tomaron métodos de cálculo como Geométrico, Exponencial y Wappauss, según el manual Ras 2000, capítulo B.2., los cuales se promediaron para obtener la proyección poblacional en el municipio de Santander de Quilichao, como se muestra en los Cuadros 33 y 34. Se tomó como base los censos de población y demografía del DANE (como se muestra en el Cuadro 32).

Posteriormente se determina la densidad poblacional en el municipio para conocer la población en la microcuenca Quilichao. Debido a que la población urbana del municipio se abastece del río Quilichao se asume el total de la demanda doméstica municipal urbana y se calcula la demanda doméstica rural dentro de la microcuenca. Ver Cuadro 35.

²⁸ Dotación neta para nivel de complejidad alto, Ras 2000, Tabla B.2.2.

²⁹ Correcciones a la dotación neta, Ras 2000, literal B.2.4.4.

Cuadro 32. Estadísticas censales.

Municipio	Población (hab)			Censo
	Total	Cabecera	Resto	
Santander de Quilichao	32.846	11.426	21.420	1964
	38.823	15.248	23.575	1973
	58.173	23.793	34.380	1985
	75.819	30.812	45.007	1993
	80.653	40.778	39.875	2005

Fuente: DANE.

Cuadro 33. Proyección de la población según métodos de cálculo.

Año	Proyección de la Población (hab)								
	Urbano			Rural			Total ³⁰		
	Geométrico	Exponencial	Wappauss	Geométrico	Exponencial	Wappauss	Geométrico	Exponencial	Wappauss
2009	44771	46453	46153	41075	44335	42558	84089	90579	88476
2010	45829	47923	47609	41381	45057	43258	84983	92703	90559
2015	51505	56005	55689	42944	48851	46940	89682	104141	101846
2020	57884	65450	65395	44565	52963	50964	94790	117074	114847
2025	65053	76487	77272	46248	57422	55379	100353	131710	130018
2030	73111	89385	92142	47995	62256	60245	106421	148283	148009
2035	82166	104459	111297	49807	67497	65635	113051	167065	169779
2040	92343	122075	136903	51688	73179	71638	120308	188365	196840

Fuente: Elaboración propia

³⁰ Proyección futura calculada sobre el total de la población censada por el DANE, no representa la suma entre las poblaciones urbana y rural proyectadas.

Cuadro 34. Estimación de la población y densidad futura municipal.

Año	Proyección de la Población y Densidad (Promedio)					
	Urbano		Rural ³¹		Total	
	Población (hab)	Densidad (hab/km ²)	Población (hab)	Densidad (hab/km ²)	Población (hab)	Densidad (hab/km ²)
2009	45792	89	42656	83	87715	171
2010	47120	92	43232	84	89415	174
2015	54400	106	46245	90	98556	192
2020	62909	123	49497	96	108904	212
2025	72937	142	53016	103	120694	235
2030	84879	165	56832	111	134238	262
2035	99307	194	60979	119	149965	292
2040	117107	228	65502	128	168504	328

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 35. Estimación de la población y demanda en la microcuenca Quilichao.

Año	Proyección de la Población y Demanda Domestica.					
	Urbano		Rural		Total	
	Población (hab)	Demanda (L/s)	Población (hab)	Demanda (L/s)	Población (hab)	Demanda (L/s)
2009	45792,11	121,90	1905,40	4,41	47697,51	126,31
2010	47120,35	125,44	1931,12	4,47	49051,47	129,91
2015	54399,62	144,81	2065,69	4,78	56465,32	149,60
2020	62909,49	167,47	2210,99	5,12	65120,48	172,59
2025	72937,49	194,16	2368,17	5,48	75305,66	199,64
2030	84879,30	225,95	2538,60	5,88	87417,90	231,83
2035	99307,41	264,36	2723,87	6,31	102031,28	270,67
2040	117106,93	311,74	2925,87	6,77	120032,80	318,52

Fuente: Elaboración propia

La demanda doméstica total se resume en el Cuadro 36.

³¹ Población rural que se encuentra en todo el municipio de Santander de Quilichao.

Cuadro 36. Estimación de la demanda hídrica domestica **D_{UD}**.

Año	Demanda Hídrica Domestica D_{UD}			
	Urbano	Rural	Total (L/s)	Total (m ³ /mes)
2009	121,90	4,41	126,31	327396,30
2010	125,44	4,47	129,91	336716,66
2015	144,81	4,78	149,59	387747,14
2020	167,47	5,12	172,59	447346,54
2025	194,16	5,48	199,64	517472,86
2030	225,95	5,88	231,83	600908,12
2035	264,36	6,31	270,67	701576,63
2040	311,74	6,77	318,51	825585,62

Fuente: Elaboración propia

Debido a que la población urbana se encuentra localizada en la zona baja y la población rural en las zonas altas, se distribuye la demanda domestica en el territorio de la microcuenca, según su densidad poblacional, predominando la población en la zona baja (A).

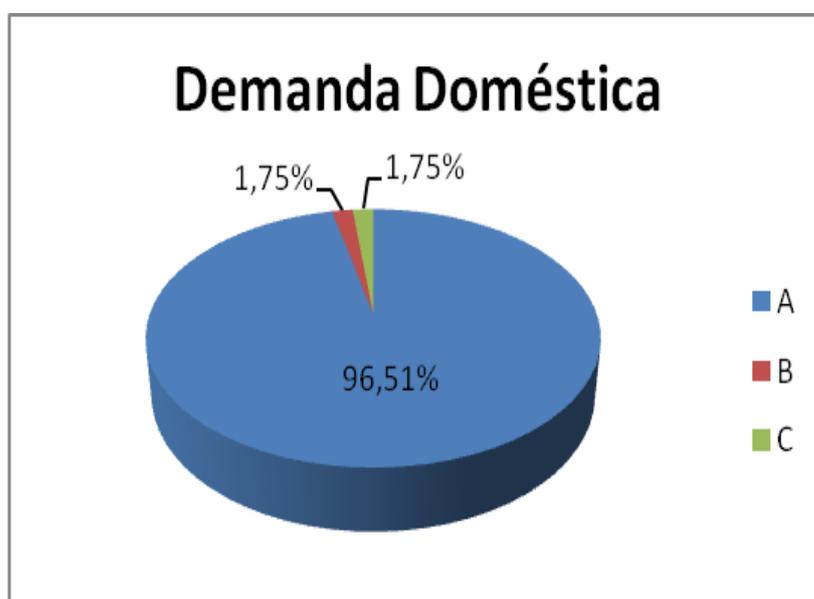


Figura 13. Demanda hídrica domestica por zonas.

12.2. DEMANDA POR USO AGRÍCOLA

La demanda del sector agrícola, depende de las características climáticas de la zona, reflejadas especialmente en la evapotranspiración potencial de agua que, a su vez, está ligada a la evaporación del suelo, la transpiración de las plantas, y al tipo y características de los cultivos. Cuando la precipitación es menor que el uso consuntivo de un cultivo ($ETP \cdot k_c$), el agua debe ser suministrada a través de sistemas de riego, por lo tanto esta insuficiencia hídrica se cuantifica en la demanda agrícola, debido a que si la precipitación es mayor la demanda se satisface.

En este estudio se ha tomado un coeficiente de cultivo promedio a través del periodo vegetativo del cultivo, de acuerdo con los datos reportados por la FAO. Este coeficiente K_c , depende de la cantidad de agua que requieren los cultivos para su proceso de nutrición y elaboración de tejidos, y varía de acuerdo con la fecha de siembra, la edad del cultivo y la duración del periodo vegetativo.

Para la obtención de la evapotranspiración potencial se tomaron los datos calculados en el modelo hidrológico implementado en el estudio "Evaluación de la Oferta y Demanda de agua de las subcuencas de los ríos Japio y Quilichao", para las estaciones analizadas en éste estudio, como se muestra en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Estimación de la Evapotranspiración potencial.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
CIAT SANTANDER	107,6	101,6	103,8	95,1	89,5	91,7	108,2	116,4	108,4	99,4	90,2	97,8	1209,9
EL AGUILA	74,5	70,3	71,7	65,9	62,0	63,4	74,7	80,0	75,0	69,6	63,3	68,2	838,6
EL AMPARO	73,4	69,2	70,6	64,9	61,1	62,4	73,5	78,8	73,9	68,5	62,3	67,2	825,9
JAPIO	93,7	88,1	93,4	84,4	80,2	77,8	89,5	98,8	93,2	88,7	79,7	85,9	1053,5
LA BALSA	88,5	83,2	91,7	81,6	76,9	73,8	92,8	98,4	90,4	83,4	70,9	78,5	1010,0
MANDIVA	110,9	97,9	111,2	94,8	94,6	89,6	105,1	116,3	107,4	101,8	95,9	101,4	1226,8
Media	91,4	85,0	90,4	81,1	77,4	76,5	90,6	98,1	91,4	85,2	77,0	83,2	1027,4

Fuente: Evaluación de la Oferta y Demanda de agua de las subcuencas de los ríos Japio y Quilichao.

El uso del suelo agrícola se basa en información del plan básico de ordenamiento territorial ejecutado para Santander de Quilichao en el año 2002, tomado del mapa de “uso actual del suelo” a escala 1:50000 en formato *.dwg, subministrado por la CRC. La Figura 14 muestra el uso del suelo para la microcuenca del río Quilichao.

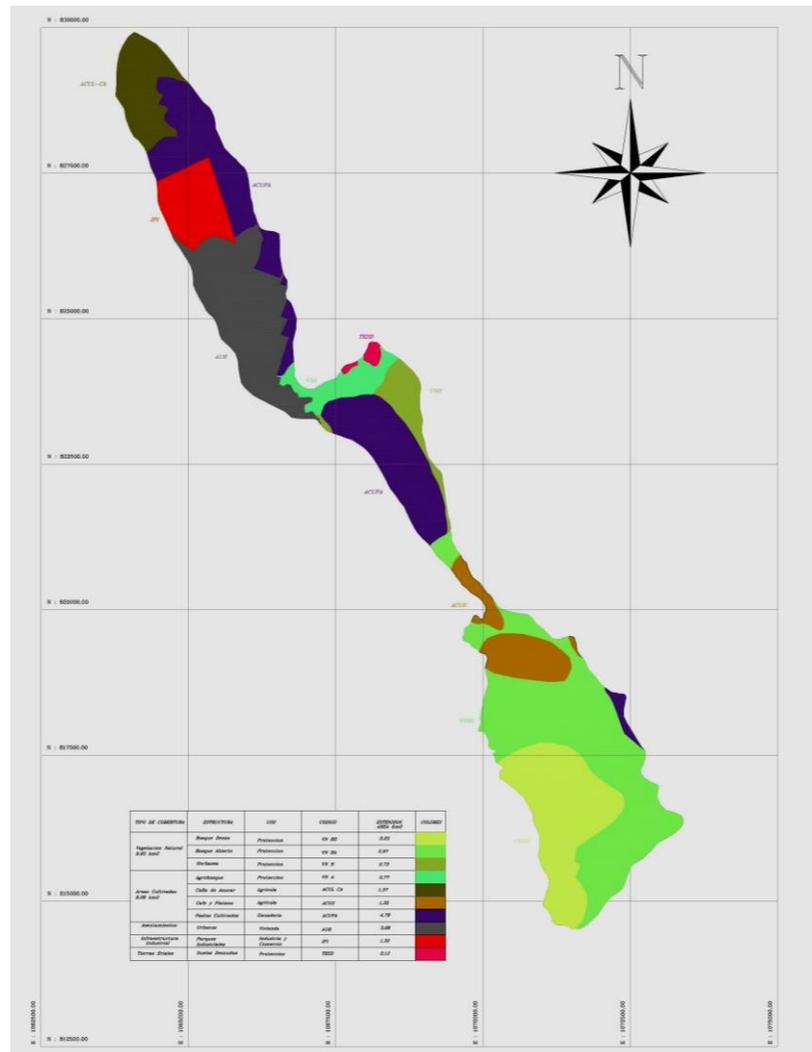


Figura 14. Uso del suelo en la microcuenca del río Quilichao.

El uso agrícola en la microcuenca es de 272 hectáreas, en las que predominan los cultivos de Caña de azúcar, plátano y café. En el Cuadro 38 se muestra el tipo de cobertura que prevalece en toda la microcuenca, donde solo se tiene en cuenta el uso agrícola demandante de agua.

Cuadro 38. Uso del suelo en la microcuenca del río Quilichao.

COVERTURA	ESTRUCTURA	USO	AREA	
			Km2	Ha
Vegetación natural 9,93 km ²	Bosque denso	Protección 10,7 km ²	3,23	323
	Bosque abierto		5,97	597
	herbácea		0,73	73
Áreas cultivadas 8,28 km ²	Agro bosque	Agrícola 2,72 km ²	0,77	77
	Caña azúcar		1,37	137
	Café y Plátano		1,35	135
	Pastos	Ganadería	4,79	479
Asentamientos	Urbano	Vivienda	3,28	328
Infraestructura	Parques industriales	Industria y comercio	1,32	132
Tierras eriales	Suelos desnudos	protección	0,12	12

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 39. Uso del suelo que demanda agua en la microcuenca.

ESTRUCTURA	USO	AREA		ZONA	Kc
		Km ²	Ha		
Caña azúcar	Agrícola	1,37	137	A	1,05
Plátano y café		1,35	135	B	0,9

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la demanda agrícola se emplea la precipitación media mensual (Cuadro 21), la evapotranspiración potencial y los coeficientes de cultivo (Kc) para cada uso del suelo. Los cálculos se muestran en el Cuadro 40, donde los valores negativos representan la deficiencia en la oferta hídrica y son los meses que requieren de riego o demandan agua para uso agrícola.

Por lo tanto la demanda hídrica por uso agrícola "D_{UA}", se presenta en los meses de julio y agosto, equivalente a 31,67 L/s para cultivos de caña de azúcar y de 16,46 L/s para cultivos de plátano y café, para un total de 48,13 L/s.

Cuadro 40. Demanda hídrica agrícola en la microcuenca.

DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA D_{UA} (LPS)		
Mes	Caña Azúcar	Plátano y Café
Enero	39,75	46,31
Febrero	40,73	46,78
Marzo	58,19	64,40
Abril	84,61	89,71
Mayo	63,71	68,83
Junio	13,72	19,49
Julio	-15,43	-8,12
Agosto	-16,24	-8,34
Septiembre	26,05	32,81
Octubre	89,09	94,45
Noviembre	99,69	104,25
Diciembre	50,96	56,72
Carencia hídrica anual	31,67	16,46
Total demanda	48,13	

Fuente: Elaboración propia

Según el mapa de uso del suelo, la distribución espacial de la demanda agrícola queda ubicada en las zonas baja (A) y media (B), como se muestra en la Figura 15.

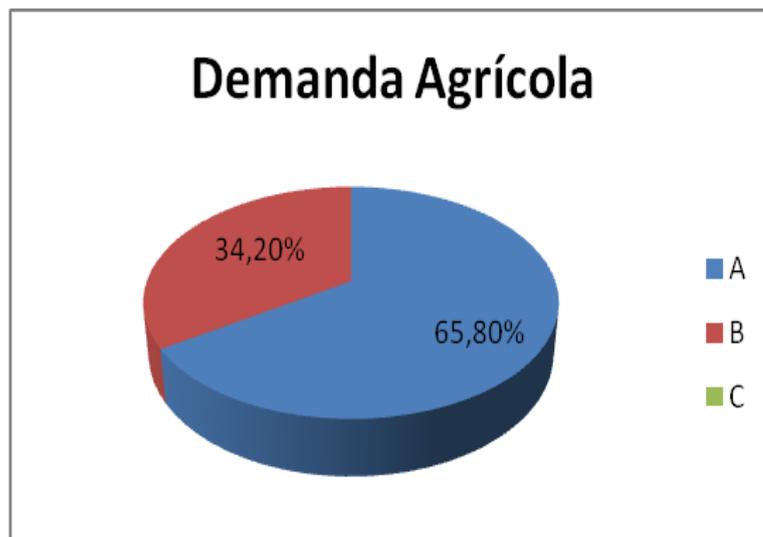


Figura 15. Demanda hídrica agrícola por zonas.

12.3. DEMANDA POR USO PECUARIO

Es el resultado de multiplicar el volumen de producción de animales de importancia comercial por un factor de consumo promedio, que está determinado por el tipo de animal, su estado de crecimiento, temperatura y algunos otros factores que caracterizan el consumo de agua de la especie, a continuación se describe el consumo de agua por cada especie pecuaria, El resumen de demanda pecuaria para el año 2007 se muestra en el Cuadro 44.

12.3.1. Demanda hídrica por consumo bovino.

La información bovina para el municipio de Santander de Quilichao, tiene como fuente el Fondo Nacional del Ganado FEDEGAN del Comité de Ganaderos del Cauca, programas para la erradicación de la fiebre aftosa 2007.

La información de bovinos se clasifica de forma semi-detallada, en la cual se destaca el número de animales según el sexo y la edad. Debido a que esta clasificación representa todo el municipio de Santander de Quilichao, con cobertura del 86,2%, se requiere conocer la cantidad de ganado bovino dentro de la microcuenca del río Quilichao, por lo es necesario realizar una distribución de animales según el porcentaje de área ocupada o densidad de población animal. Como el municipio de Santander de Quilichao presenta una extensión de 513,01 km² y la microcuenca tiene 22,92 km², la relación de áreas es del 4,47%, lo cual implica una disminución en el inventario de cabezas de ganado, como se muestra en el Cuadro 41.

Cuadro 41. Clasificación bovina en Santander de Quilichao.

Ganado Bovino	Terneros	Hembras				Machos				Total
	< de un año	1 - 2 años	2 - 3 años	> 3 años	Total	1 - 2 años	2 - 3 años	> 3 años	Total	General
Municipio	3828	2455	3275	6174	11904	2240	1293	398	3931	19663
Microcuenca	171	110	146	276	532	100	58	18	176	878

Fuente: Comité De Ganaderos Del Cauca, 2007.

Para determinar el factor de consumo de agua diario que está en función de las características y el estado del animal, se requiere de información de género y etapa del animal, que al relacionarlo con la temperatura permite obtener el factor de consumo aproximado de agua diaria para los bovinos en litros por día.

En el Cuadro 42 se presenta el factor de consumo de agua diario (FCA), según las características y el estado del animal.

Cuadro 42. Factor de consumo de agua diario (FCA).

Etapa Crecimiento		Etapa Hembra Adulta				Etapa Toro Adulto
Peso (kg)	182-364	600-1.000	900 -1.000	900	FCA Promedio (L/d)	1.400-1.600
T (°C)	FCA (L/d)	FCA Lechera	FCA Preñada	FCA Lactando		FCA (L/d)
4,4	19	28	24,05	43,1	31,72	32
10	21	30	25,95	47,7	34,55	34
14,4	25	34	29,7	54,9	39,53	39
21,1	29	40	34,8	64	46,27	46
26,6	33	46	-	67,8	56,9	53
32,2	47	66	-	61,3	63,65	75

Fuente: Modificado de la Resolución 0865/ 2004 del IDEAM.

Debido a que la información que se posee se encuentra clasificada por edades del ganado, se determina su peso de acuerdo a la edad³², como se muestra en el Cuadro 43 y Figura 16, posteriormente se calcula del factor de consumo para cada población de animales, mediante la ecuación que mejor se ajuste a la relación de consumo de agua (FCA) y la temperatura para cada género, como se muestra en la Figura 17.

³² Gobernación de Córdoba. Evolución y Análisis de las Subastas de Ganado Comercial en Montería. Período 1993-1995. Disponible en: <http://www.cordoba.gov.co/monteria/subastas.html>.

Cuadro 43. Rangos de peso y edades para ganado bovino.

Peso (Kg)	Edad
Menor ó igual a 130	Destete
De 131 a 152	1 año
De 153 a 172	1¼
De 173 a 220	1½
De 221 a 249	1¾
De 250 a 270	2
De 271 a 300	2¼
De 301 a 340	2½
De 341 en adelante	2¾

Fuente: Análisis de las Subastas de Ganado Comercial en Montería. Período 1993-1995

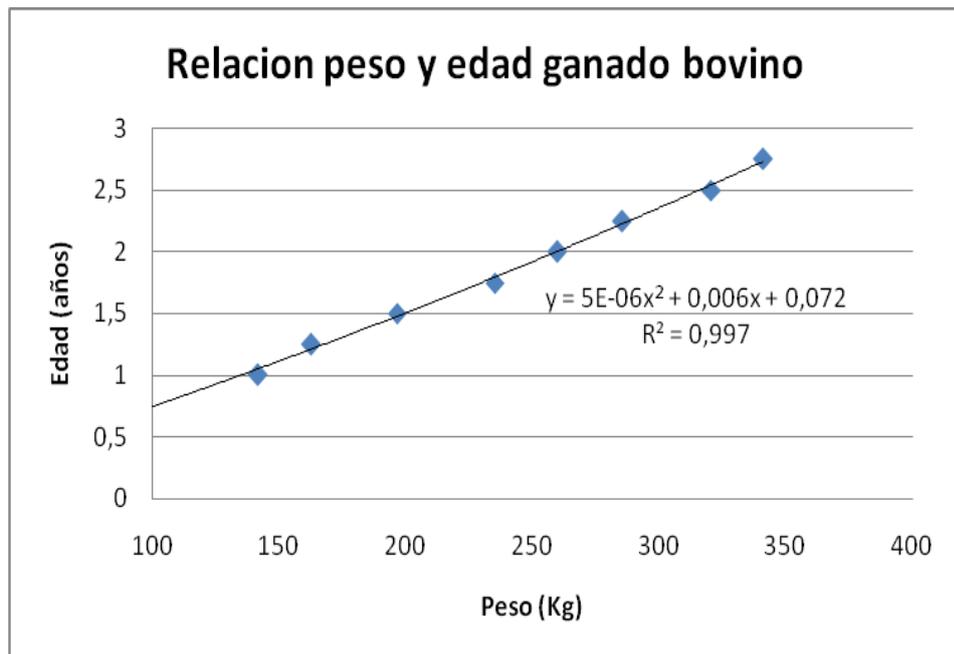


Figura 16. Relación de peso y edades en ganado bovino.

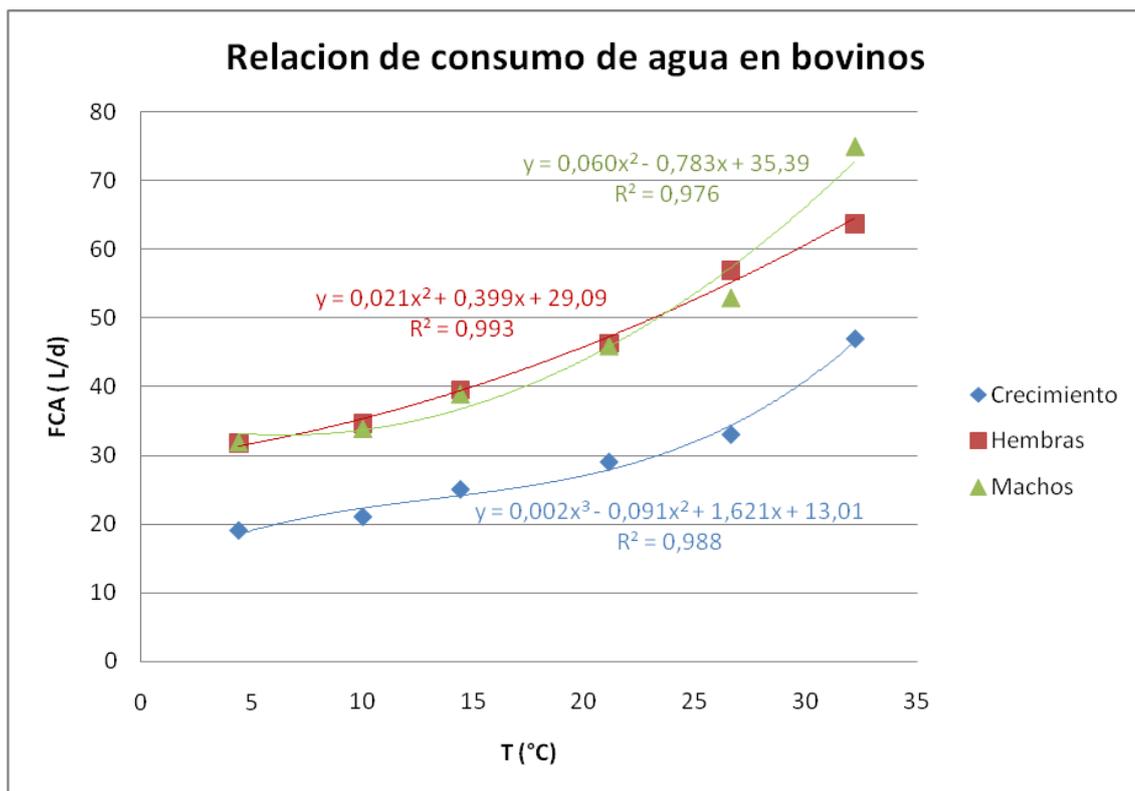


Figura 17. Relación de consumo de agua en bovinos según la temperatura y crecimiento.

Tomando una temperatura media en la microcuenca de 20°C, se determina el consumo de agua bovino según su peso, como se muestra en el Cuadro 44.

Cuadro 44. Demanda de agua por consumo bovino.

Ganado Bovino	Terberos	Hembras				Total hembras	Machos			Total machos	Total General
		Edad	1 - 2 años	2 - 3 años	> 3 años		1 - 2 años	2 - 3 años	> 3 años		
	< 1 año	131 - 270	271 - 370	> 371		131 - 270	271 - 370	> 371			
	Peso (Kg)	< 130	131 - 270	271 - 370	> 371	131 - 270	271 - 370	> 371			
Ejemplares	171	110	146	276	532	100	58	18	176	878	
Consumo per cápita (L/d)	25,03	25,03	25,03	45,47	120,56	25,03	25,03	43,73	93,79	214,35	
Consumo Total (L/s)	0,05	0,03	0,04	0,15	0,74	0,03	0,02	0,01	0,19	2,18	

Fuente: Elaboración propia

12.3.2. Demanda hídrica por consumo porcino.

La información porcina para el municipio de Santander de Quilichao, se obtuvo de la secretaria de agricultura del departamento del Cauca para el año 2007, en la cual se muestra las etapas del cerdo. Para el cálculo de ejemplares en la microcuenca, se estima de acuerdo al área proporcional, de igual forma que en la demanda bovina. Ver Cuadro 45.

Cuadro 45. Clasificación porcina en Santander de Quilichao.

Ejemplares	Cerdo maduro	Cerdo repos.	Lechón lact.	Cerdo levante	Cerdo ceba	Reproduc.	Total
Municipio	802	55	1.420	1.205	1.596	234	5.312
Microcuenca	36	2	63	54	71	10	237

Fuente: Secretaría de Agricultura del Cauca, 2007.

El factor de consumo de agua diario para los porcinos se estimó a partir de la fuente National Research Council USA 1.998 contemplada en la resolución 0865/2004 y el cual depende del peso del animal.

Para asignar entonces el factor de consumo, se establece una relación entre el estado y la etapa de crecimiento que presentan los porcinos y el peso que deberían tener, para lo cual se consultan los manuales de la asociación colombiana de porcicultores y otros como el manual del porcino revisado por el Dr. Juan Uribe, director del departamento de sanidad "Tecnagro s.a." (Cuadro 46).

La demanda de agua por consumo porcino se presenta en el Cuadro 47.

Cuadro 46. Relaciones entre etapas de crecimiento y factor de consumo de agua diario del ganado porcino.

Etapas y Estado	Peso Asignado (Kg.) y Observaciones³³.	Factor FCA (L/d)
La hembra de cría	La cría se recomienda realizarla a la edad 6 ½ meses con un mínimo de dos celos y con un peso mínimo 105 kg. y deseando 110 kg. Algunas siguen ganando hasta el cuarto. 1er. Parto: 150 – 160 kg, 2do. Parto: 180 – 190 kg 3er. Parto: hasta 200 kg.	5,10
Reproductores	Los reproductores deberán empezar servicio a partir de los 7 meses de edad, Igual que para las hembras de plazo, se deberán alimentar a voluntad con alimento de finalización hasta los 100 kilos de peso	5,10
levante	levante (27 - 60 kg)	3,22
Ceba	Fase de ceba (60 - 90 kg).	5,10
Lechones	Con un destete precoz bien hecho, se pueden alcanzar los 20kg al día 56	1,02
Promedio		4,11

Fuente: Departamento de sanidad Tecniagro s.a. 2006

Cuadro 47. Demanda de agua por consumo porcino.

Ganado porcino	Cerdo maduro	Cerdo repos.	Lechón lact.	Cerdo levante	Cerdo ceba	Reproduc.	Total
Peso (Kg)	> 100	> 100	7 - 20	27 - 60	60 - 90	> 100	
Ejemplares	36	2	63	54	71	10	236
Consumo per cápita (L/d)	5,1	5,1	1,02	3,22	5,1	5,1	24,64
Consumo total (L/s)	0,0021	0,0001	0,0007	0,0020	0,0042	0,0006	0,0098

Fuente: Elaboración propia

³³ Manual revisado por Dr. Juan Uribe, director departamento sanidad tecniagro s.a., Bogotá 2006, Disponible en: <http://www.ceba.com.co/porcino.htm>.

12.3.3. Demanda hídrica por consumo de otras especies pecuarias.

La información encontrada para el municipio de Santander de Quilichao en otras especies pecuarias se obtuvo de la secretaria de agricultura del departamento del Cauca para el año 2007, en la cual se discriminan ovinos, caprinos, equinos, búfalos y aves, como se muestra en el Cuadro 48.

Cuadro 48. Otras especies pecuarias en Santander de Quilichao.

Ejemplares	Ovinos	Búfalos	Caprinos	Equinos	Aves
Municipio	67	68	187	1819	394700
Microcuenca	3	3	8	81	17634

Fuente: Secretaría de Agricultura del Cauca, 2007.

Como en la metodología del cálculo del índice de escasez sugerida por el IDEAM no se tienen en cuenta otras especies como los caprinos, ovinos, equinos, búfalos, entre otras, se busco un factor de consumo aproximado encontrando valores que se muestran en el Cuadro 49, la demanda total se muestra en el Cuadro 50.

Cuadro 49. Factores de consumo de agua (FCA) de otras especies pecuarias.

Especie	Rango FCA (L/d) ³⁴	FCA (L/d) promedio
Ovinos	7,5 - 11,3	9,4
Búfalos	80 - 60	70
Caprinos	30 - 40	35
Equinos	80 - 60	70
Aves	0,22 - 0,30	0,26

Fuente. Módulos de consumo por sector productivo, CORNARE 2005.

³⁴ USO EFICIENTE DEL AGUA. CORNARE mediante resolución No. 112-1183 del 8 de abril de 2005 definió los términos de referencia para Planes Quinquenales y los módulos de consumo por sector productivo. Disponible en: http://camara.ccb.org.co/documentos/2005_11_29_10_2_9_pml04.pdf.

Cuadro 50. Demanda de agua por otras especies pecuarias.

Especies pecuarias	Ovinos	Búfalos	Caprinos	Equinos	Aves	Total (L/s)
Ejemplares	3	3	8	81	17634	
Consumo per cápita (L/d)	9,4	70	35	70	0,26	
Consumo total (L/s)	0,0003	0,0025	0,0034	0,0658	0,0531	0,1251

Fuente: Elaboración propia

El resumen de demanda de agua por uso pecuario (D_{UP}) en la microcuenca de río Quilichao, según el tipo de animal, se muestra en el Cuadro 51, asumiendo un factor de seguridad, debido al incremento anual del sector pecuario³⁵, se incrementa el consumo de agua en un 4% anual para la proyección futura en la demanda pecuaria. (Cuadro 52).

Cuadro 51. Demanda de agua por uso pecuario 2007.

Especies pecuarias	Bovinos	Porcinos	Ovinos	Búfalos	Caprinos	Equinos	Aves	Total (L/s)
Ejemplares	878	237	3	3	8	81	17634	
Consumo per cápita (L/d)	214,35	24,64	9,40	70,00	35,00	70,00	0,26	
Consumo total (L/s)	2,1795	0,0677	0,0003	0,0025	0,0034	0,0658	0,0531	2,3722

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 52. Demanda de agua por uso pecuario anual.

Año	Demanda pecuaria	Año	Demanda pecuaria
2007	2,37	2014	3,04
2008	2,47	2015	3,13
2009	2,56	2016	3,23
2010	2,66	2017	3,32
2011	2,75	2018	3,42
2012	2,85	2019	3,51
2013	3,65	2020	5,15

Fuente: Elaboración propia

³⁵ Red de desarrollo sostenible en Colombia 2007. Disponible en: www.rds.org.co, Asociación de criadores de ganado Cebú 2008. Disponible en: www.asocebu.com.

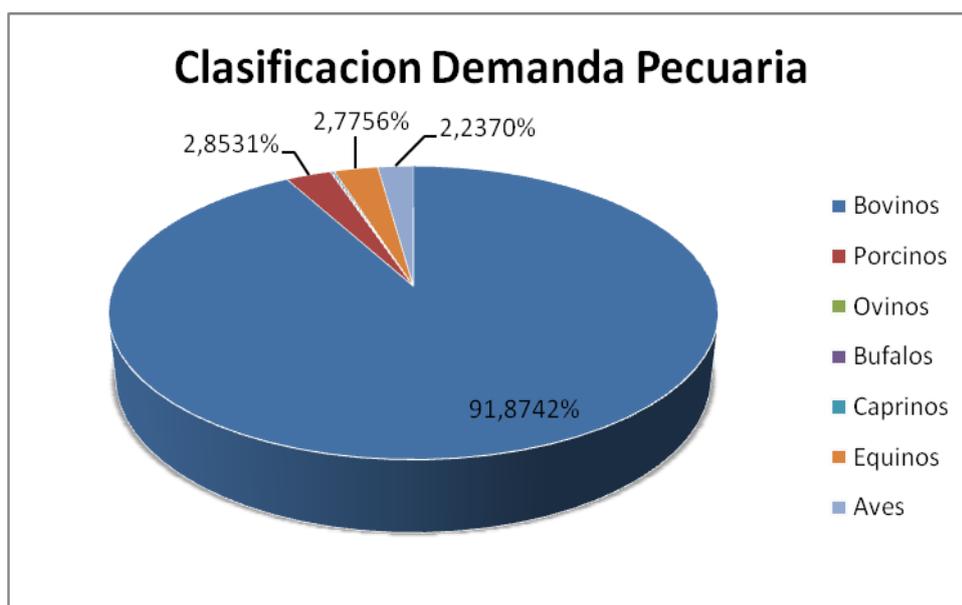


Figura 18. Demanda pecuaria por especies.

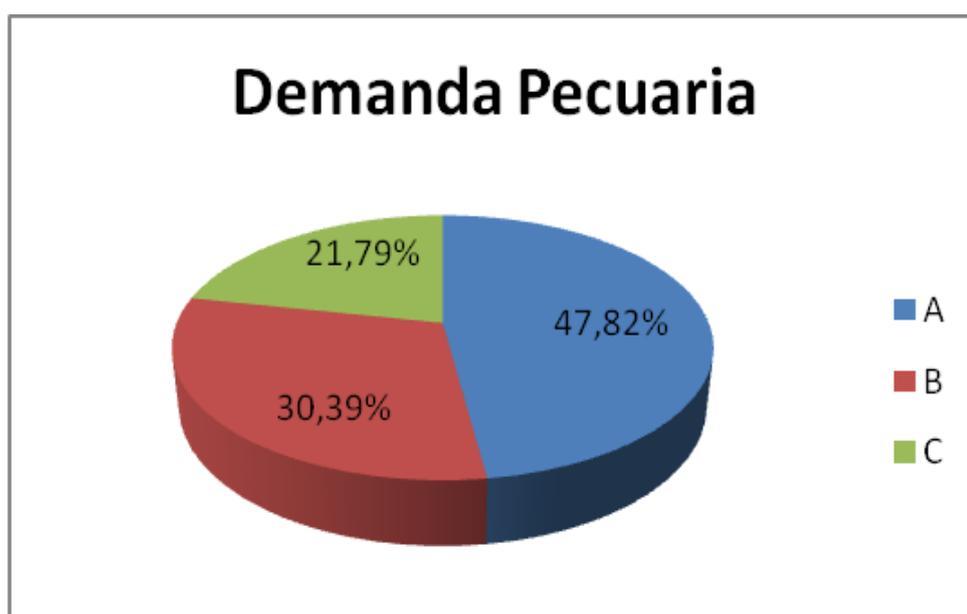


Figura 19. Demanda pecuaria por zonas.

Según la reglamentación vigente para el río Quilichao³⁶, las concesiones de agua para uso pecuario, superan la demanda anteriormente calculada al adjudicar caudales de 0,1 L/s en la zona alta, fuente “La Polinara” y 3,92 L/s en la zona media, fuente “Río Quilichao”.

³⁶ Tomado de la distribución del Río Quilichao, CRC, seccional norte. 2009

12.4. DEMANDA POR USO INDUSTRIAL

La demanda industrial que se presenta en la cabecera municipal del municipio de Santander de Quilichao, dentro de la microcuenca, está a cargo de la parcelación industrial “El Paraíso” y “Almidones nacionales”, los cuales cuentan con fosos para el bombeo de agua y por lo tanto no se cuenta en la demanda superficial de agua.

Según la reglamentación vigente para el río Quilichao, las concesiones de agua superficial para uso industrial son de 5 L/s para el predio “Linares” y 3 L/s para la estación de servicio “Los libertadores”, ubicados en la zona media de la microcuenca, para dar un total de 8 L/s³⁷.

³⁷ Tomado de la distribución del Río Quilichao, CRC, seccional norte. 2009

13. ÍNDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUPERFICIALES

Según la metodología establecida, como se muestra en la Ecuación 1, el índice de escasez se determina por la relación entre la demanda y la oferta hídrica superficial, esta última afectada por una reducción de caudal ambiental.

Para determinar el índice de escasez se emplean criterios espaciales (por zonas) y temporales (mensuales, anuales) en la microcuenca del río Quilichao, se analiza cada zona de acuerdo a la demanda hídrica y se relaciona con la oferta hídrica obtenida. La demanda se clasifica por usos y por zonas, como se muestra en las Figuras 20 y 21.

- ✓ Para la zona baja (A) se tiene en cuenta: Demanda de población urbana, Demanda agrícola por Caña de azúcar y Demanda pecuaria proporcional al área.
- ✓ Para la zona media (B) se tiene en cuenta: Demanda de población rural proporcional, Demanda agrícola por café y plátano, Demanda pecuaria proporcional al área y Demanda industrial por concesión corporativa.
- ✓ Para la zona alta (C) se tiene en cuenta: Demanda de población rural proporcional y Demanda pecuaria proporcional al área.

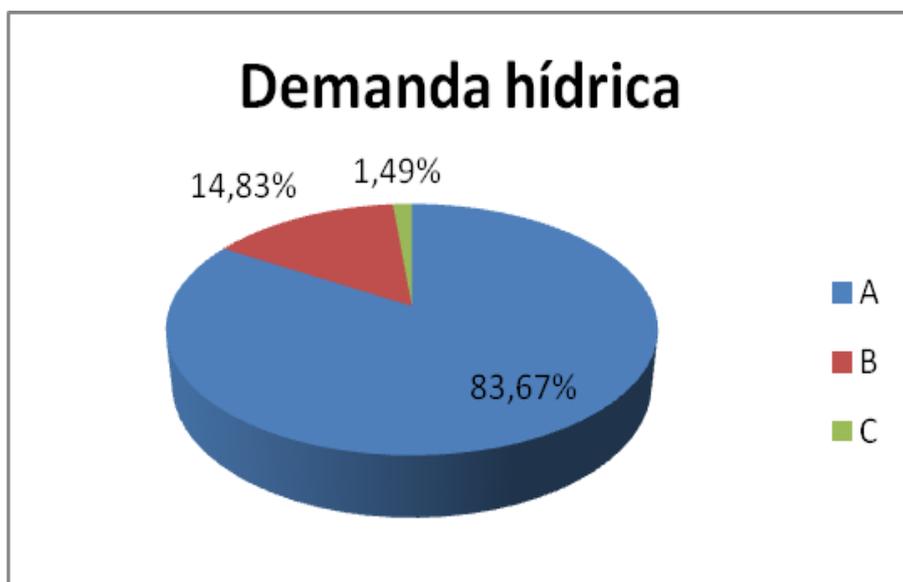


Figura 20. Demanda hídrica por zonas.

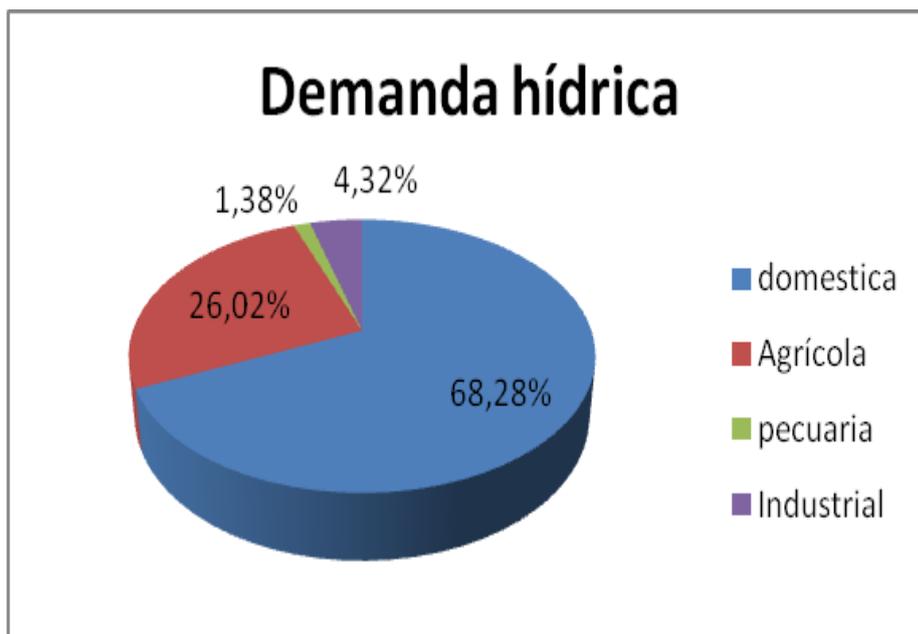


Figura 21. Demanda hídrica por uso.

El índice de escasez para el año 2009 se resume en el Cuadro 53, indicando su categoría y color (Ver Cuadro 1), predominando el color rojo o índice de escasez alto para la microcuenca en general y para la zona baja (A), para la zona media (B) el índice de escasez es moderado o de color amarillo y para la zona alta (C) el índice es bajo o de color verde. Se presenta un incremento en el índice para los meses de Julio y agosto lo que representa un periodo de escasez hídrica. En el Cuadro 54 se muestra la distribución temporal mensual para el índice de escasez y se toma un promedio mensual, la representación visual se realiza en la Figura 24.

Cuadro 53. Índice de escasez "IES" para el año 2009.

Índice de escasez	A	B	C	Microcuenca
D _{UD}	121,90	2,21	2,21	126,31
D _{UA}	31,67	16,46	0,00	48,13
D _{UP}	1,22	0,78	0,56	2,56
D _{UI}	0,00	8,00	0,00	8,00
Total Demanda (L/s)	154,79	27,44	2,76	185,00
Total Oferta (L/s)	186,21	179,59	172,93	179,58
IES³⁸	83,13%	15,28%	1,60%	103,02%
Categoría	Alto	Moderado	Bajo	Alto

Fuente: Elaboración propia

³⁸ Índice de escasez calculado para todo el año, incluye la variación mensual.

Cuadro 54. Índice de escasez “IES” temporal³⁹ para el año 2009.

Zona		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media mensual
A	Demanda	123,12	123,12	123,12	123,12	123,12	123,12	138,55	139,36	123,12	123,12	123,12	123,12	68,36%
	Oferta	192,99	179,13	184,83	214,37	205,96	183,21	164,93	160,62	162,16	182,30	216,25	187,75	
	IES	63,80%	68,73%	66,62%	57,44%	59,78%	67,20%	84,01%	86,77%	75,93%	67,54%	56,94%	65,58%	
B	Demanda	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	19,10	19,32	10,98	10,98	10,98	10,98	7,09%
	Oferta	179,13	177,71	181,23	205,70	198,74	175,27	156,99	151,23	155,67	175,80	207,58	181,98	
	IES	6,13%	6,18%	6,06%	5,34%	5,53%	6,27%	12,17%	12,78%	7,06%	6,25%	5,29%	6,04%	
C	Demanda	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	1,62%
	Oferta	181,40	176,24	177,59	196,99	191,47	167,28	148,99	141,79	149,13	169,26	198,87	176,17	
	IES	1,52%	1,57%	1,56%	1,40%	1,44%	1,65%	1,85%	1,95%	1,85%	1,63%	1,39%	1,57%	
Microcuencia	Demanda	136,87	136,87	136,87	136,87	136,87	136,87	160,42	161,45	136,87	136,87	136,87	136,87	79,68%
	Oferta	184,51	177,70	181,22	205,68	198,72	175,25	156,97	151,21	155,65	175,79	207,57	181,97	
	IES	74,18%	77,03%	75,53%	66,55%	68,88%	78,10%	102,20%	106,77%	87,94%	77,86%	65,94%	75,22%	

Fuente: Elaboración propia

³⁹ Índice de escasez calculado por meses del año.

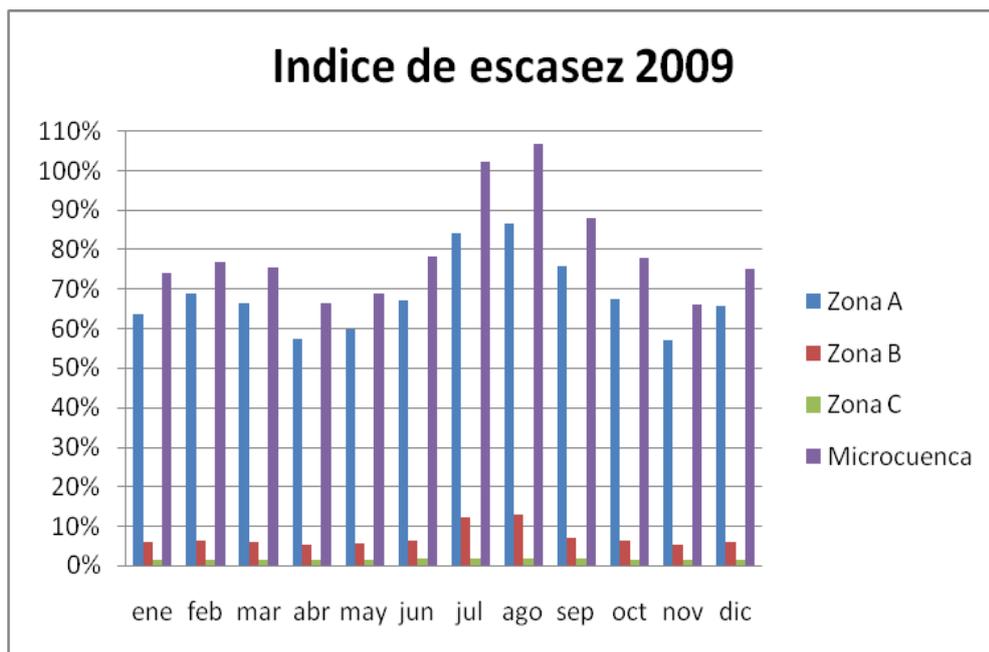


Figura 22. Índice de escasez mensual para aguas superficiales, año 2009.

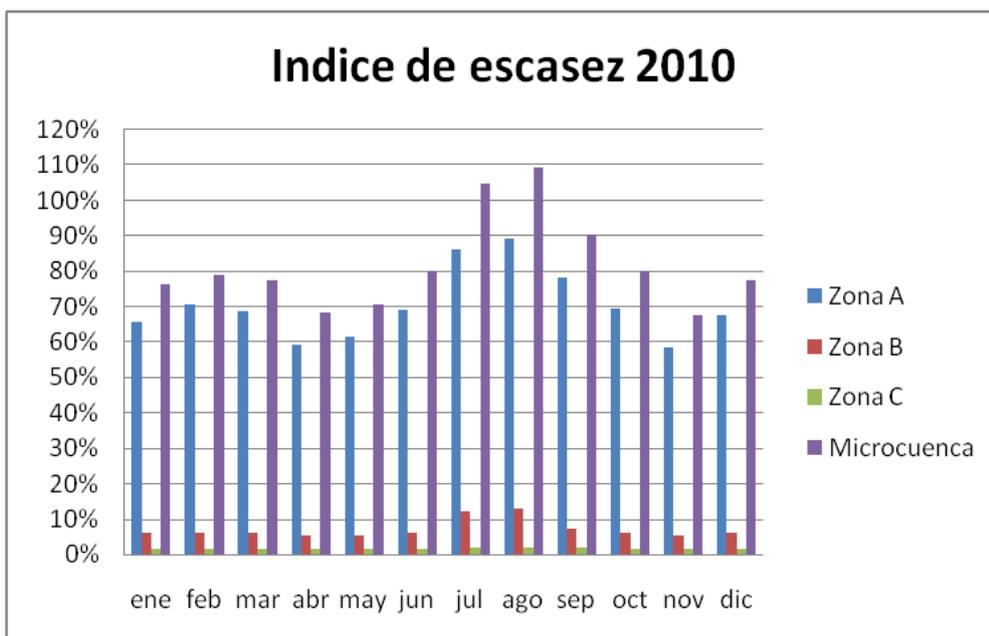


Figura 23. Índice de escasez mensual para aguas superficiales, año 2010.

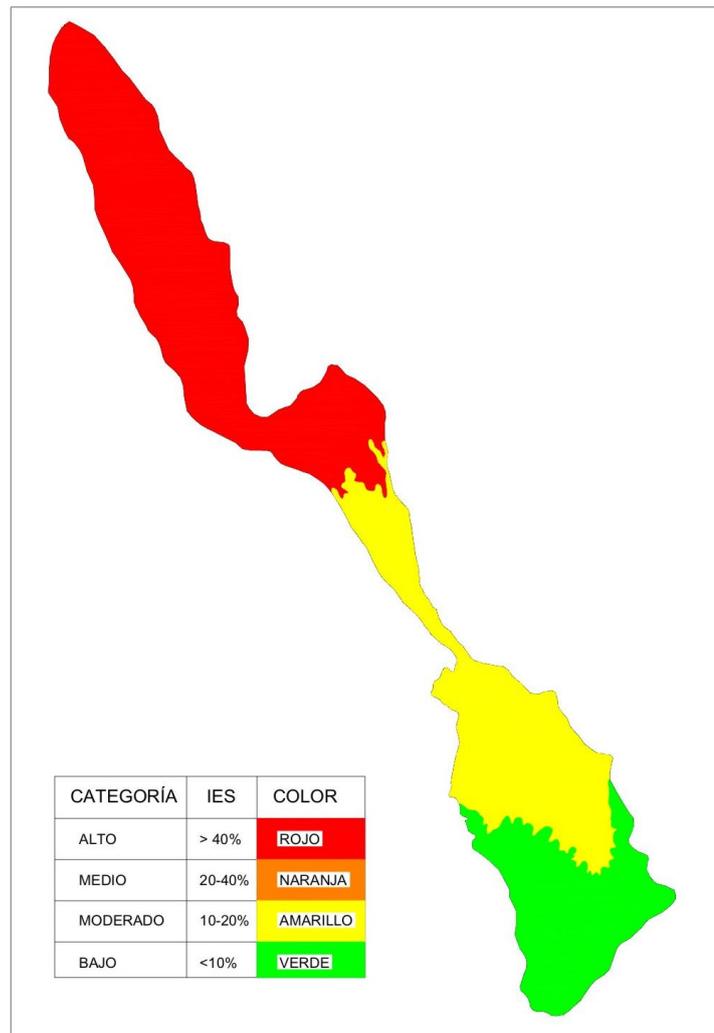


Figura 24. Índice de escasez anual en la microcuenca.

Sobre la zona baja (A), se presentan valores en el índice de escasez, superiores al 40% todo el año, generando la categoría Alta e incrementándose en los periodos de estiaje o entre los meses de junio a septiembre, donde la oferta hídrica es menor. Estos valores críticos representan una alta demanda hídrica sobre esta zona, equivalente a la demanda doméstica, como se aprecia en las Figuras 20 y 21.

Sobre las zonas media (B) y alta (C), la variación temporal es similar a la zona baja (A) pero no es significativa, debido a que su demanda hídrica es mínima.

En general sobre la microcuenca, el déficit hídrico es permanente y progresivo con los años, lo cual requiere de atención y prevención a futuro.

14. ÍNDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUBTERRANEAS

Según la metodología establecida, como se muestra en la Ecuación 16, el índice de escasez para aguas subterráneas se determina por la relación entre los caudales captados en el acuífero y el caudal del recurso hídrico explotable del acuífero.

La información con que se cuenta es un estimado de recarga u oferta hídrica subterránea en la zona del valle caucaño, además de los pozos de extracción en la misma zona, dicha información es subministrada por la CRC y tomada del estudio “Evaluación hidrogeológica de acuíferos en el valle geográfico del río Cauca, departamento del Cauca” del consorcio de ingeniería y recursos hídricos IRH Ltda. e HIDROCERON Ltda.

La oferta o caudal explotable del acuífero se obtiene por un balance hídrico y de recarga por infiltración, del cual se deducen un valor de recarga anual⁴⁰ equivalente a 89000 m³/km² o 60 millones de m³ anuales sobre un área neta de 681,5 Km², equivalente a 44,22 GPM por cada Km².

Al proporcionar el caudal explotable al área de estudio de la microcuenca (22,92 Km²), se obtiene un valor de 1013,55 GPM y tomando el caudal otorgado por la CRC en los pozos sobre esta área de influencia, se tiene el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas en la microcuenca del río Quilichao.

En la microcuenca se encuentran 2 pozos referidos como CCs – 89, para la parcelación industrial “El Paraíso” cuyo caudal de extracción es de 900 GPM y el CCs – 80, para “Almidones Nacionales” el cual no presenta medidor actualmente y no se puede cuantificar su caudal de extracción. El cálculo se resume en el Cuadro 55.

Cuadro 55. Índice de escasez “IES” para aguas subterráneas.

Índice de escasez	Caudales (GPM)		Categoría
	Captaciones	Explotable	
CCs - 89	900	1013,55	Alto
CCs - 80	-		
IES	88,80%		

Fuente: Elaboración propia

⁴⁰ Tomado de “Evaluación hidrogeológica de acuíferos en el valle geográfico del río Cauca, departamento del Cauca”, Cuadro 2.10, balance hídrico y recarga por infiltración. Consorcio de Ingeniería y Recursos Hídricos IRH Ltda. e HIDROCERON Ltda. Abril de 2001.

El análisis anterior representa el 3,25% del área de estudio del proyecto hidrogeológico. Como las cuencas de agua superficial y subterránea no son iguales geográficamente, se puede decir que 1013,55 GPM ocupan un área del acuífero equivalente al área de la microcuenca del río Quilichao y en esta se encuentran 2 pozos de extracción, por lo tanto la relación del índice de escasez para aguas subterráneas, es alta para la microcuenca de estudio. El análisis temporal es constante y el espacial depende de afinar la oferta hídrica subterránea en la zona baja⁴¹ de la microcuenca del río Quilichao y conocer el caudal concedido para el pozo CCs – 80 de “Almidones Nacionales”.

⁴¹ Se debe analizar la oferta hídrica subterránea sobre el valle geográfico del Cauca, debido a que en zona montañosa no es conveniente la realización de pozos de extracción y dentro de la zona de estudio no se encuentran pozos. Fuente: Subdirección de Gestión Ambiental, Geología, CRC, 2009.

15. COEFICIENTE DE ESCASEZ

Según Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el índice de escasez determina el coeficiente de escasez (Ver Cuadro 3), el cual es necesario para el cálculo de la TUA, también el coeficiente de escasez toma valores entre 0 y 5 para aguas superficiales y entre 0 y 10 para aguas subterráneas.

El valor que se encuentre como alto o superior al 50% en el índice de escasez, representa un valor de 5 en el coeficiente de escasez y como bajo o menor al 10% en el índice de escasez, representa un valor de 0, el resto de valores entre 10 y 50%, se calculan con las ecuaciones 18 y 20 de la metodología propuesta, según decreto 155 de 2004. El resumen se muestra en los Cuadros 56 y 57.

Cuadro 56. Coeficiente de escasez “CE” mensual, para aguas superficiales.

Zona		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A	IES	0,64	0,69	0,67	0,57	0,60	0,67	0,84	0,87	0,76	0,68	0,57	0,66
	CE	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
B	IES	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,12	0,13	0,07	0,06	0,05	0,06
	CE	0	0	0	0	0	0	1,05	1,06	0	0	0	0
C	IES	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
	CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuenca	IES	0,74	0,77	0,76	0,67	0,69	0,78	1,02	1,07	0,88	0,78	0,66	0,75
	CE	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 57. Coeficiente de escasez “CE” anual, para aguas superficiales.

Zonas	A	B	C	Microcuenca
IES	0,83	0,15	0,02	1,03
CE	5	1,12	1	5

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar las condiciones de escasez en la microcuenca son altas, predominando la presión sobre el recurso hídrico superficial en la zona baja (A), lo cual implica necesariamente la intervención de la autoridad ambiental competente CRC en la regulación y control de la microcuenca del río

Quilichao y si es posible estudiar la reasignación de las concesiones otorgadas de tal manera que se disminuya la presión sobre el recurso.

El coeficiente de escasez para aguas subterráneas temporalmente es de 10, debido a que su índice de escasez es alto y supera el 50%, según el análisis espacial seguido en este estudio.

Cuadro 58. Coeficiente de escasez “CE” anual, para aguas subterráneas.

Microcuenca	
IES	0,89
CE	10

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- ✓ La cuantificación de la oferta y demanda hídrica, superficial y subterránea, se tuvo en cuenta solo para el área geográfica de la microcuenca del río Quilichao (22,92 Km²), obteniendo promedios espaciales en tres zonas y temporales, a partir de diferentes variables hidroclimatológicas de la zona de estudio, métodos de cálculo para cada consumo hídrico e información secundaria sujeta a verificación in situ.
- ✓ Analizando el índice de escasez para la microcuenca del río Quilichao, este supera el 100% cuantificado anualmente y el 79% cuantificado mensualmente, lo cual implica una alta presión sobre el recurso hídrico y que presenta una difícil capacidad de recuperación, debido a que no se está teniendo en cuenta el caudal ambiental mínimo en las concesiones corporativas, caudal calculado como 33,21% del caudal medio anual del río Quilichao.
- ✓ En la zona baja de la microcuenca, se presenta un alto consumo hídrico por uso doméstico que afecta los niveles fluviales del río Quilichao, sobre todo en periodos de estiaje o entre los meses de junio a septiembre, mostrando un índice de escasez superior al 80% en este periodo y superior al 50% permanentemente. Además presenta descargas de agua residual doméstica aguas abajo en esta zona.
- ✓ En las zonas media y alta, no se presenta gran presión sobre el recurso hídrico, generando índices de escasez moderados y bajos respectivamente o inferiores al 16%.
- ✓ En la valoración del índice de escasez para aguas subterráneas se tuvo en cuenta una recarga del acuífero proporcional al área de estudio y los pozos de extracción hábiles dentro del área.
- ✓ El coeficiente de escasez presenta valores de alta presión hídrica sobre la microcuenca del río Quilichao, tanto para agua superficial como subterránea, lo cual requiere de atención y gestión por parte de la CRC.
- ✓ La Corporación Autónoma Regional del Cauca tiene la urgente necesidad de contar con información actualizada y precisa de las variables que influyen en la oferta hídrica total y neta, para su respectiva administración, por lo tanto se debe evaluar y ampliar la red de estaciones climatológicas, pluviométricas, hidrométricas y de calidad de agua, sobre todo en fuentes que presenten alta presión sobre el recurso hídrico como Santander de Quilichao.

- ✓ La información disponible y los registros históricos de las variables involucradas en el cálculo del índice de escasez son la única garantía para llegar a buenos resultados. Por consiguiente se recomienda mayor énfasis en los sistemas de recolección de datos de tal forma que ellos permitan una mejor aproximación a los cálculos y se conviertan en un apoyo para realizar controles y seguimientos preventivos.

RECOMENDACIONES

- ✓ Es conveniente disminuir la carga hídrica demandante del río Quilichao mediante la toma hídrica de otras vertientes o tributarios cercanos, para satisfacer la demanda doméstica que representa el 68% de la demanda hídrica superficial seguida de la demanda agrícola con el 26%.
- ✓ Es necesario verificar periódicamente la demanda agrícola y pecuaria en la microcuenca del río Quilichao, mediante visitas de monitoreo, encuestas agropecuarias y mapas de uso del suelo actualizados.
- ✓ Se debe incluir en la reglamentación de las aguas del río Quilichao, el concepto de los caudales ecológicos que se deben mantener en el cauce, el cual debe ser transportado en forma natural por el río y así garantizar que en la corriente exista un mínimo de caudal necesario que permita el desarrollo del ecosistema.
- ✓ Es necesario iniciar un programa de monitoreo del recurso hídrico en esta zona, mediante la instalación de una red mínima de estaciones de medición de distintas variables hidroclimatológicas y de control para vertimientos en el río Quilichao.
- ✓ Se deben realizar estudios que estimen con gran precisión la oferta de agua subterránea en la zona o de manera local y realizar controles periódicos del índice de escasez.
- ✓ Es necesario adelantar procesos de ordenación y gestión de microcuencas o estudios a pequeña escala, para su posterior plan de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas POMCH, teniendo en cuenta, programas de conservación y sostenimiento del medio ambiente, así como del uso sustentable de recursos naturales.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Asociación de criadores de ganado Cebú 2008. Disponible en: www.asocebu.com.
- ✓ CRC, Implementación del cobro de la “TUA” en el Departamento del Cauca, Popayán. 2005.
- ✓ Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. Hidrología aplicada, Mc Graw Hill, Bogotá 1994.
- ✓ Domínguez E, El Estudio Nacional del Agua un Compendio Sobre El Recurso Hídrico en Colombia, IDEAM, 2005.
- ✓ Dr. Juan Uribe, director departamento sanidad tecniagro s.a., Bogotá 2006, Disponible en: <http://www.ceba.com.co/porcino.htm>.
- ✓ Evaluación hidrogeológica de acuíferos en el valle geográfico del río cauca, departamento del cauca”, Consorcio de Ingeniería y Recursos Hídricos IRH Ltda. e HIDROCERON Ltda. Abril de 2001.
- ✓ Evaluación de la Oferta y Demanda de agua de las subcuencas de los ríos Japio y Quilichao, zona norte del departamento del cauca, Subdirección de Gestión Ambiental, CRC, 2000.
- ✓ Gobernación de Córdoba. Evolución y Análisis de las Subastas de Ganado Comercial en Montería. Período 1993-1995. Disponible en: <http://www.cordoba.gov.co/monteria/subastas.html>.
- ✓ González Luis, Hidrología práctica y gestión ambiental, volumen I y II, Popayán. 2004.
- ✓ Jiménez, H. 1.992. Hidrología Básica I. Universidad del Valle.
- ✓ IDEAM, RIVERA H, CALLE E, RAMIREZ R, VANEGAS R. Metodología para el cálculo del Índice de Escasez de agua superficial, Bogotá. 2004.
- ✓ IDEAM, Oferta y demanda del recurso hídrico en Colombia, VI Jornadas del Conaphi-Chile, Bogotá.
- ✓ IDEAM, Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá. 2004.
- ✓ Ministerio del Medio Ambiente, República de Colombia. Tasas por utilización del agua.

- ✓ MAVDT. Grupo de Análisis Económico e Investigación. Estimación fórmula de cálculo del factor regional JACG, Colombia.
- ✓ MAVDT et al. Modelo para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, 2005.
- ✓ MAVDT, Resolución 1096 de 2000: Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
- ✓ ONU. Global Change and Sustainable Development: Critical Trends. Report of the Secretary General. 1997.
- ✓ Perfil socioeconómico del municipio de Santander de Quilichao, “Información línea base para el diseño de un proyecto de desarrollo agroindustrial enmarcado en un proceso de desarrollo regional sostenible”.
- ✓ Plan Básico de Ordenamiento Territorial para Santander de Quilichao, año 2000.
- ✓ Red de desarrollo sostenible en Colombia 2007. Disponible en: www.rds.org.co.
- ✓ USO EFICIENTE DEL AGUA. CORNARE, resolución No. 112-1183 del 8 de abril de 2005. Disponible en: http://camara.ccb.org.co/documentos/2005_11_29_10_2_9_pml04.pdf.

ANEXOS

Anexo A. Coeficiente de cultivo.

El Coeficiente de cultivo (K_c) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

En los cultivos anuales normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo:

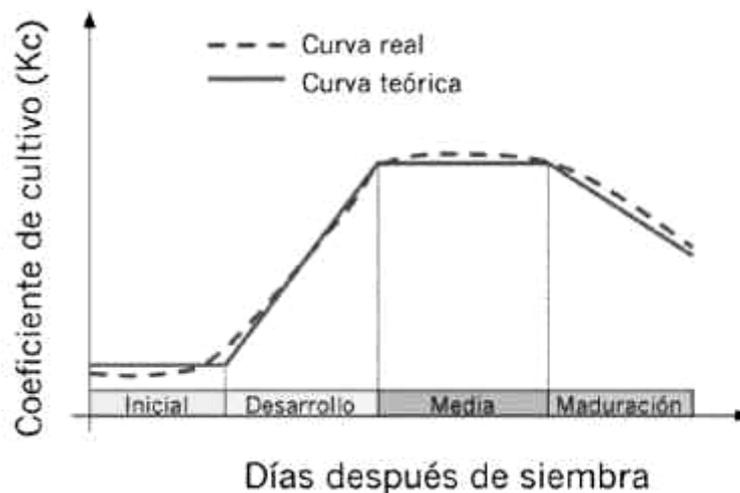


Figura 25. Curva real y teórica del Coeficiente de cultivo “ K_c ”.

- ✓ **Inicial:** Desde la siembra hasta un 10% de la cobertura del suelo aproximadamente.
- ✓ **Desarrollo:** Desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.
- ✓ **Media:** Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo.
- ✓ **Maduración:** Desde madurez hasta recolección.

Como se observa en la Figura 5, “ K_c ” comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de “ K_c ” se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente

decrece durante la fase de maduración. Lo mejor es disponer de valores de “Kc” para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembras, pero en ausencia de esta información se pueden usar valores orientativos de “Kc” para varios cultivos, aunque son valores bastante próximos.

Cuadro 59. Valores del Coeficiente de cultivo Kc.

FACTOR DE CULTIVO Kc			
ÁRBOLES Y ARBUSTOS		LEGUMBRES Y OTROS CULTIVOS	
Manzano (madurez)	0,85		
Cerezo (media madurez)	0,6	Alcachofa	0,95
Nuez (cuarto de madurez)	0,3	Algodón	1,05
Melocotonero	0,75	Apio	1
Ciruelo	0,5	Berenjena	0,95
Vid	0,7	Cacahuete	0,95
Olivo	0,55	Cebada	1,05
Kiwi (Actinidia deliciosa)	0,9	Col	0,95
Caña de azúcar (madurez)	1,05	Espinaca	0,95
Caña de azúcar (media madurez)	0,7	Guisante	1,05
Caña de azúcar (cuarto madurez)	0,35	Judía	1
Naranja (madurez)	0,6	Lechuga	0,95
Naranja (media madurez)	0,4	Maíz	0,95
Naranja (cuarto madurez)	0,2	Melón	0,95
Plátano (madurez)	0,85	Patata	1,05
Plátano (media madurez)	0,6	Pepino	0,9
Plátano (cuarto madurez)	0,3	Pimiento morrón	0,95
Café (madurez)	0,9	Rábano	0,8
Café (media madurez)	0,6	Remolacha	1
Café (cuarto madurez)	0,3	Remolacha azucarera	1,1
Otros árboles (madurez)	0,8	Tabaco	1,05
Otros árboles (media madurez)	0,55	Tomate	1,05
Otros árboles (cuarto madurez)	0,28	Zanahoria	1

Fuente: FAO

Anexo B. Determinación del periodo de estiaje.

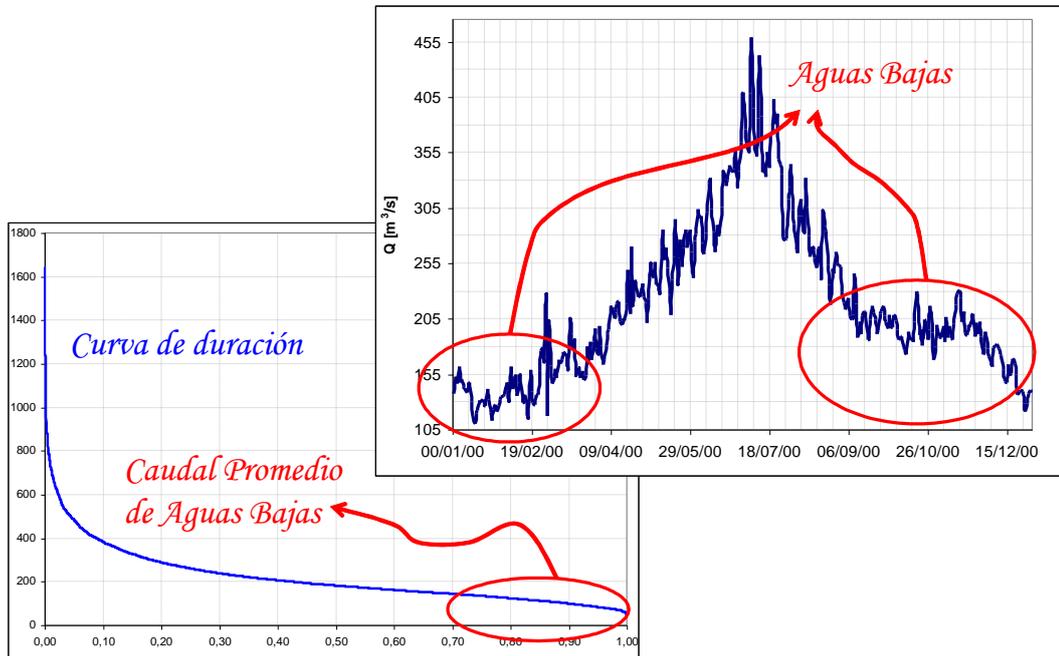


Figura 26. Determinación de los periodos de estiaje o de aguas bajas.

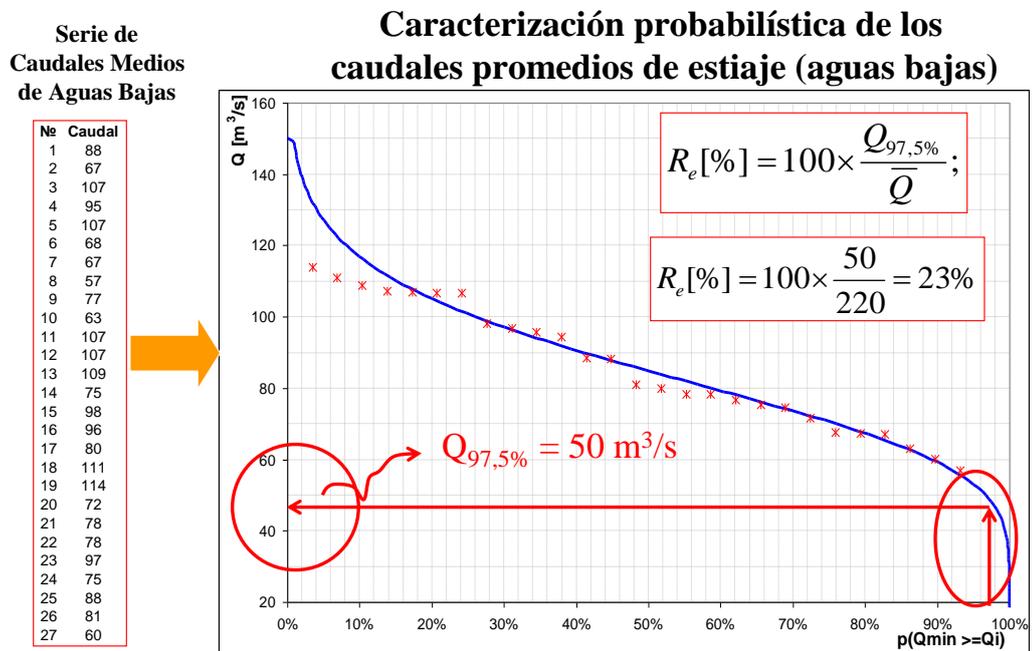


Figura 27. Cálculo de la reducción para mantener el régimen de estiaje.

Anexo C. Promedio diario mensual de la duración astronómica posible de brillo solar en horas y décimos “N”.

Cuadro 60. Horas de iluminación diaria en función de la latitud del lugar.

Lat. N	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Lat. S	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
35°	10.1	11	11.9	13.1	14	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30°	10.4	11.1	12	12.9	13.6	14	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25°	10.7	11.3	12	12.7	13.3	13.7	13.5	12	12.3	11.6	10.9	10.6
20°	11	11.5	12	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15°	11.3	11.6	12	12.5	12.8	13	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10°	11.6	11.8	12	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5°	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12	11.9	11.8
0°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12	12.1	12.1	12.1	12.1

Fuente: Hidrología práctica y Gestión Ambiental.

MAPAS.