

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA SUPERFICIAL DE LA
MICROCUENCA LA PILA, CUENCA DEL RIO PASTO, MUNICIPIO DE PASTO,
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

PAULA MARCELA CASTRO TORRES

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
SAN JUAN DE PASTO
2010**

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA SUPERFICIAL DE LA
MICROCUENCA LA PILA, CUENCA DEL RIO PASTO, MUNICIPIO DE PASTO,
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

PAULA MARCELA CASTRO TORRES

**Monografía presentada como requisito para optar al título de Geógrafa con
Énfasis en Planificación Territorial**

**Asesora:
MIRIAN GUAPUCAL C.I.AF MSc**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
SAN JUAN DE PASTO
2010**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado, son de responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1ª del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Julio de 2010

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
1. TÍTULO.....	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
3. OBJETIVOS.....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
4. MARCO REFERENCIAL.....	18
4.1 MARCO TEORICO.....	18
4.1.1 Índice de escasez.....	18
4.2 ESCALA DE VALORACIÓN ÍNDICE DE ESCASEZ.....	19
4.3 OFERTA HIDRICA.....	20
4.4 BALANCE HÍDRICO.....	21
4.5 PRECIPITACIÓN.....	24
4.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	26
4.7 CUANTIFICACIÓN OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE.....	29
4.8 DEMANDA HIDRICA.....	30
5. MARCO NORMATIVO.....	34
6. DISEÑO METODOLOGICO.....	35
6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	35
7. RESULTADOS.....	37
7.1 LOCALIZACION DE LA MICROCUENCA LA PILA.....	37
7.2 LIMITES POLITICO ADMINISTRATIVOS.....	38
7.3 SECTORIZACIÓN HÍDRICA.....	39
7.3.1 Divisoria de aguas o línea de las cumbres.....	39
7.4 COBERTURA Y USO DE SUELO.....	41
7.4.1 Definición de la leyenda.....	44
7.4.1.1 Bosques y áreas seminaturales.....	44

7.4.1.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	45
7.4.1.3 Territorios agrícolas.....	45
7.4.1.4 Centro poblado	46
8. OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL TOTAL.....	47
9. OFERTA HÍDRICA NETA DISPONIBLE.....	49
9.1 CÁLCULOS PARA LA MICROCUENCA LA PILA	49
10. DEMANDA HÍDRICA	51
10.1 MÓDULOS DE CONSUMO PARA LA DEMANDA HÍDRICA.....	51
10.2 DEMANDA SECTORIAL.....	53
10.2.1 Demanda Para Uso Doméstico (DUD):.....	53
10.2.2 Demanda de agua para el sector servicios. (DUS).....	56
10.2.3 Demanda de Agua Uso Pecuario, (DUP):.....	58
10.2.3.1 Demanda piscícola:.....	60
10.2.4 Demanda De Agua Uso Agrícola (DUA):	61
10.2.5 Demanda Total (DT).	62
11. DETERMINACION DEL INDICE DE ESCASEZ	64
12. CONCLUSIONES	65
13. RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Umbrales críticos de presión, índice de escasez	20
Cuadro 2. Información de la estación Centenario.....	21
Cuadro 3. Caracterización de las Demandas	30
Cuadro 4. Población de la Microcuenca la Pila.....	38
Cuadro 5. Sectorización y Codificación hídrica.....	40
Cuadro 6. Zonificación y Codificación hídrica Microcuenca La Pila	41
Cuadro 7. Cobertura y uso según Corine Land Cover Colombia para la microcuenca La Pila.....	42
Cuadro 8. Módulos de consumo utilizados en el cálculo de la demanda hídrica..	52
Cuadro 9. Consumo per_capita – Dotación neta	54
Cuadro 10. Demanda - Uso domestico (Acueductos).....	55
Cuadro 11. Demanda – Uso Servicios	57
Cuadro 12. Demanda - Uso pecuario	60
Cuadro 13. Demanda por sector en el área de la microcuenca	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización Cuenca Río Pasto	37
Figura 2. Panorámica de la Microcuenca la Pila	38
Figura 3. Imagen raster microcuenca La Pila	48
Figura 4. Acueducto purgatorio.....	53
Figura 5. Institucion Educativa.....	56
Figura 6. Ganado en alta pendiente.....	58
Figura 7. Cuyes en galpón.....	58
Figura 8. Estanque piscícola para prácticas de pesca deportiva	60
Figura 9. Cultivos de papa	61
Figura 10. Cultivo de cebolla	61

LISTA DE MAPAS

	Pág.
Mapa 1. Localización de la Microcuenca La Pila	37
Mapa 2. Raster de direccionamiento y acumulación de flujo, Microcuenca La Pila.....	40
Mapa 3. Distribución de cobertura y uso de suelo en la microcuenca La Pila	43

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue “La Determinación del Índice de Escasez de Agua Superficial de la Microcuenca La Pila, Cuenca del río Pasto, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño”. Hace parte del estudio de la planificación del recurso hídrico de la microcuenca la Pila, priorizado por la autoridad ambiental regional CORPONARIÑO, bajo las normas constitucionales referentes al tema.

Con la recolección de información cuali-cuantitativa, y su posterior análisis se llegó a identificar el umbral crítico de presión – índice de escases de agua superficial, a través de la determinación de la oferta hídrica y demanda hídrica por uso, en el área de estudio.

Es así que la microcuenca la Pila, con una área de 1235 has. Ubicada en los corregimientos de Cabrera, Buesaquillo y San Fernando, posee mayor demanda de el recurso hídrico para las actividades agrícolas, seguido de la demanda de agua para consumo humano; según ésta la investigación, y por lo tanto se debe tomar mayor atención al uso del recurso hídrico.

Para que las generaciones venideras sean las beneficiadas del recurso hídrico en cuanto a calidad y a cantidad se realizan planes, programas y proyectos tendientes a la conservación del ambiente en donde la identificación categórica en cantidad de agua, muestre un proceso de atención mínima o máxima a la planificación del espacio.

ABSTRACT

The purpose of this research was "The Determination of Surface Water Shortage of the watershed La Pila, Grass River basin, Municipality of Pasto, Nariño Department." Study is part of the planning of water resources of the Basin watershed, prioritized by the regional environmental authority CORPONARIÑO, under the constitutional provisions relating to the subject.

With the collection of qualitative and quantitative information, and further analysis was reached to identify the critical threshold pressure - rate of surface water shortages, through the determination of water supply and water demand for use in the study area .

Thus, the micro Battery, with an area of 1235 hectares. located in the villages of Cabrera, Buesaquillo y San Fernando, has increased demand for water resources for agricultural activities, followed by the demand for water for human consumption, according to this research, and therefore should be taken more attention to resource use water.

For that future generations are the beneficiaries of water resources in terms of quality and quantity are made plans, programs and projects aimed at conserving the environment in which the categorical identification of water quantity, show a process of attention to the minimum or maximum spatial planning.

INTRODUCCIÓN

La Microcuenca La Pila, pertenece a la cuenca Alta del Río Pasto, en la jurisdicción del municipio de Pasto, departamento de Nariño. Ubicada aproximadamente a 7 Kms. de la Ciudad de Pasto. Abastece de agua a ocho veredas: Buena Vista Alto, Buena Vista Bajo, La Paz, Duarte, Purgatorio, Cabrera Centro, San José y Pejendino Reyes.

En estos sectores rurales cercanos a la ciudad de Pasto, la presión sobre el recurso hídrico, en términos de demanda, cantidad y calidad, aumenta con el crecimiento poblacional, lo que conlleva una reducción de la disponibilidad de agua en las fuentes de fácil acceso y traslada el conflicto por el recurso desde las áreas rurales hacia las zonas urbanas, en las cuales se incrementan los niveles de presión sobre corrientes locales y vecinas.

Para el Departamento de Nariño en el marco del *“Programa del manejo integral del recurso hídrico”*, se estableció la definición del índice de escasez de agua, con la intención de establecer un indicador que encamine la toma de decisiones referente al ordenamiento y reglamentación hídrica, a través de la identificación de la demanda de agua ejercida por las diferentes actividades socioeconómicas y la cuantificación de la disponibilidad de agua superficial¹.

Por lo tanto es importante contar con un indicador de estado que refleje no solo la magnitud de la oferta de agua disponible en la unidad hidrológica sino también la relación de esta oferta con la demanda de agua existente en la fuente abastecedora. Al utilizar la relación porcentual entre la demanda potencial de agua del conjunto de actividades socioeconómicas y la oferta hídrica disponible en la fuente abastecedora.

Esta relación es usualmente denominada índice de escasez.

El cálculo de índice de escasez para la microcuenca la Pila, cuenca del río Pasto, se basa en la información establecida en la cuenca alta del río Pasto, con la información de las estaciones y con métodos alternativos que permiten la distribución espaciotemporal a través de polígonos de Thiessen o curvas isoyetas, y la estimación de escorrentía total estimada con registros pluviométricos.

La metodología base para este estudio es la desarrollada por el IDEAM, donde enumera los sistemas proveedores de datos y las técnicas necesarias para la generalización de la oferta y demanda de agua, presentando los alcances del índice de escasez evaluado para distintos dominios de aplicación, señala la forma

¹. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO. Índice de Escasez de agua Superficial Cuenca del Río Pasto. Pasto: 2008. p 15.

de interpretación de sus magnitudes en función de disponibilidad y precisión de la información hidrometeorológica y socioeconómica utilizada para obtenerlo.

Con la presente monografía se pretende contribuir con el diagnóstico e implementación de ordenamiento del recurso hídrico, que viene adelantando la Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO, en cuanto a Planes de Ordenamiento en microcuencas abastecedoras de acueducto; como lo es la Microcuenca la Pila, en el marco de este plan se prioriza como indicador el INDICE DE ESCASEZ permite dimensionar la presión a que son sometidas las fuentes hídricas, y por ende establecer que tan equilibrada se haya la oferta hídrica frente a los actuales y potenciales consumos de agua. Así mismo, se relaciona con un insumo eficaz para que la autoridad ambiental competente fije la Tasa por Utilización de Agua (TUA), a partir de la definición del factor regional el cual integra coeficientes de condiciones socioeconómicas, de inversión de la cuenca hidrográfica y escasez del recurso hídrico². El cobro igualmente es realizado por la autoridad ambiental y es de carácter obligatorio para todas las personas jurídicas o naturales que utilicen el recurso hídrico en virtud de la concesión de aguas.

Los fondos recaudados, serán destinados al pago de los gastos de protección y renovación de los recursos hídricos para los fines establecidos por el artículo 159 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Decreto 2811 de 1974. De esta forma y proporcional al nivel de afectación sobre el recurso hídrico, se proyecta en primer lugar acciones tendientes a mantener la disponibilidad actual del recurso y propender para que estas poblaciones en el tiempo no se conviertan en áreas marginadas, ni de emigración, siempre y cuando los planes de ordenamiento y reglamentación hídrica estén mancomunadamente trabajando sobre este fin³.

En consecuencia, la valoración del recurso hídrico bajo este criterio, se constituye en una indispensable herramienta de planificación que proporciona claridad para administrar y ordenar eficientemente el uso de los recursos naturales, en tiempo en que las gestiones estimulen efectos superiores de conservación y garanticen su sostenibilidad.

Para estructurar el informe se tuvo en cuenta algunas características propias de la línea de investigación geográfica en: Planificar el manejo integral de cuencas hidrográficas, bajo los estudios conceptuales, metodológicos y prácticos sobre los componentes físicos, bióticos y antrópicos de las cuencas hidrográficas y su comprensión para ser aplicados en la formulación de procesos de gestión para el desarrollo sostenible y equitativo del hombre en espacios socioeconómicos y fisiográficos claramente definidos.

² MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Tasa por utilización de agua. Decreto 155 de 2004. p 4.

³ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO. Op. cit., p 16.

De esta manera plantear y ejecutar, conclusiones y recomendaciones, desde una perspectiva geográfica; pues esta ciencia garantiza una visión integral de la problemática socioambiental aplicada a la planificación espacial desde una visión de conjunto en la microcuenca La Pila.

1. TÍTULO

“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA SUPERFICIAL DE LA MICROCUENCA LA PILA, CUENCA DEL RIO PASTO, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO”.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de concientización por parte de la población en torno a la escasez del recurso hídrico, hace que la problemática del abastecimiento de agua para consumo humano se convierta en una realidad sectorizada, ya que afecta gradualmente y con mayor intensidad a aquellas regiones donde la gestión ambiental es ineficiente y prácticamente inexistente. Bajo estas circunstancias, es primordial conocer y cuantificar la disponibilidad, calidad y disminución del agua en función del consumo generado por las diversas actividades que se originan en torno al hombre, con el objeto de poseer una herramienta de planificación y que además fomente el uso eficiente y ahorro del agua, concesiones legales de agua superficial y subterránea, entre la población.

En relación a La microcuenca la Pila, perteneciente a la parte alta de la cuenca del Río Pasto, junto con las microcuencas Las Tiendas, Barbero y Dolores zona de recarga para abastecimiento de acueductos de veredas, corregimientos y parte de la cabecera municipal del departamento de Nariño, dada esta importancia es de primordial cuidado la planificación del recurso hídrico.

No obstante esta oferta no está distribuida homogéneamente entre las diferentes regiones del país y se ve sometida a fuertes variaciones que afectan la disponibilidad del recurso hídrico⁴. Por consiguiente en el departamento de Nariño, y en particular en la parte alta de la cuenca de río Pasto, el resultado de las actividades de la población que le generan desarrollo económico y nivel de vida, obedecen a la disponibilidad neta de agua, pero el inadecuado manejo que se le da al recurso hídrico lleva a un déficit a futuro.

Este déficit de agua es posible cuantificarlo con La “Determinación del Índice de Escasez”, implica a la metodología del IDEAM “Metodología para el Cálculo de Índice de Escasez de Agua Superficial”. La cual relaciona la demanda de agua generada del resultado de actividades económicas y sociales particulares en la microcuenca, frente a la oferta hídrica disponible; es decir, posterior a la reducción estimada del caudal ecológico y calidad de agua, factores que limitan considerablemente el uso del recurso.

⁴ GARCÍA, M. et al. El Agua. El Medio Ambiente en Colombia. España: s.n., 1997. p 60.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el índice de escasez de agua superficial de la microcuenca la Pila, cuenca del río Pasto, municipio de Pasto, departamento de Nariño.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Definir la oferta hídrica superficial neta en la microcuenca La Pila, cuenca del río Pasto.
- ✓ Estimar la demanda a nivel uso de agua
- ✓ Calcular el índice de escasez para la microcuenca La Pila.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEORICO

4.1.1 Índice de escasez. El índice de escasez se establece como la relación entre la oferta hídrica neta superficial y la demanda de agua ejercida en el desarrollo de actividades económicas y sociales.

“El término de oferta hídrica neta hace referencia a 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”⁵.

$$I_E = \frac{D}{O_n} * 100\%$$

Donde:

I_E = Índice de escasez (%)
 D = Demanda de agua (m³)
 O_n = Oferta hídrica superficial neta (m³)

Como primera medida se debe conocer el caudal ecológico, definido como caudal mínimo. Para conocer el caudal mínimo existen varias metodologías⁶:

- ✓ Hidrológicas. Se basan en el comportamiento de los caudales en los sitios de interés, para lo cual es necesario el conocimiento de series históricas de caudales.
- ✓ Hidráulicas. Consideran la conservación del funcionamiento o dinámica del ecosistema fluvial a lo largo de la distribución longitudinal del río, es decir que el caudal de reserva que se deje en los distintos tramos permita que el río siga comportándose como tal.
- ✓ Simulación de los hábitats. Estiman el caudal necesario para la supervivencia de una especie en cierto estado de desarrollo. Mínimo histórico: El Estudio Nacional del Agua (2.000) a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual

⁵ IDEAM. Metodología Para el Cálculo de Índice de Escasez de Agua Superficial. Bogotá D.C, 2004. p 5.

⁶ CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. Op. cit., p 20.

de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97.5% del tiempo y cuyo periodo de recurrencia es de 2,33 años.

En consecuencia el IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

Finalmente la suma de la reducción por calidad del agua (25%) mas la reducción por caudal ecológico (25%), equivale a la reducción total de la oferta hídrica, para las regiones Andina y Caribe⁷.

4.2 ESCALA DE VALORACIÓN ÍNDICE DE ESCASEZ

“Se registra escasez de agua cuando la cantidad de agua tomada de las fuentes existentes es tan grande que se suscitan conflictos entre el abastecimiento de agua para las necesidades humanas, las de los ecosistemas, las de los sistemas de producción y las de las demandas potenciales”⁸.

En el siguiente cuadro se establecen cuatro categorías, los umbrales críticos de presión sobre el recurso hídrico e interpretación del porcentaje de oferta hídrica utilizada.

⁷ IDEAM. Op. cit., p 3.

⁸ Ibid., p 7.

Cuadro 1. Umbrales críticos de presión, índice de escasez

CATEGORIA	% DE LA OFERTA HÍDRICA UTILIZADA	INTERPRETACIÓN
ALTO	> 40%	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. Se requieren fuertes inversiones económicas para mejorar la eficiencia en la utilización del agua en los sectores productivos y en los sistemas de abastecimientos de agua potable.
MEDIO	20 – 40%	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%	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo. Se debe implementar un mejor sistema de monitoreo y seguimiento del agua y desarrollar proyecciones del recurso hídrico a corto y largo plazo.
BAJO	<10%	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico en términos de cantidad.

Fuente: IDEAM, Metodología índice de escasez. 2004.

4.3 OFERTA HIDRICA

El primer paso para la evaluación del índice de escasez consiste en la definición de la oferta hídrica superficial total. Por oferta hídrica superficial total se entiende aquella 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. Usualmente esta porción de agua que escurre por los ríos es 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 países⁹.

“Por consiguiente es importante conocer dos conceptos de oferta: a) oferta total que refleja toda el agua que circula por la fuente abastecedora, y b) oferta neta que define la cantidad de agua que ofrece la fuente luego de haber tomado en

⁹ Ibid., p 10.

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 frágiles¹⁰.

Es substancial tomar la información de las estaciones de propiedad del IDEAM, en particular para la microcuenca la Pila la estación más relevante es la de Centenario. Con la siguiente identificación.

Cuadro 2. Información de la estación Centenario

CODIGO	NOMBRE ESTACION	MUNICIPIO	CATEGORIA	CORRIENTE	DEL AÑO	AL AÑO	SERIE AÑOS
204703	BOCATOMA CENTENARIO	PASTO	LIMNIGRAFICA	PASTO	1989	2006	17

Fuente: IDEAM

De acuerdo con la información disponible y características físicas de la cuenca la metodología a aplicar para la definición de oferta hídrica en la microcuenca la Pila, es el Balance hídrico, sin embargo se mencionan las características de las metodologías aplicables a dicho cálculo:

a) Balance hídrico. Cuencas instrumentadas, con registro de variables > a 10 años y área de drenaje > **250km²**.

b) Caudal medio puntual en las corrientes de interés. Cuando los registros de caudal generan series cortas y no confiables. Es necesario conocer **Qmax, Qmed, Qmín** registrados por estaciones limnimétricas (series anuales < **2** años).

c) Relación lluvia – escorrentía. Aplicable a cuencas con áreas de drenaje < **250** km². Cuencas no instrumentadas (sin registros Q). El servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS) desarrolló metodología que puede ayudar el cálculo de Oferta Hídrica. Se requiere conocer clasificación hidrológica del suelo, potencial de escurrimiento, cobertura uso de suelo, capacidad infiltración, humedad, entre otros factores.

4.4 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico es una forma cuantitativa para representar los procesos naturales que se integran en las diferentes fases del ciclo ecológico. El balance hídrico se basa en la ley física universal de conservación de masas y representa

¹⁰ MAVDT, IDEAM. Informe Anual Sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia. 2008. p 15.

una de las herramientas de mayor uso en la práctica hidrológica; expresa la equivalencia entre los aportes de agua que entran por un lado de la unidad hidrográfica determinada y la cantidad de agua que se evacua por el otro, considerando además las variaciones internas en el almacenamiento de humedad ocurridas durante un periodo de tiempo determinado.

La base física del balance hidrológico es la formulación de las ecuaciones de conservación de masa para volúmenes de control o unidades hidrográficas determinadas. *“Expresa la equivalencia entre los aportes de agua que entran al volumen de control y la cantidad de agua que sale considerando además las variaciones internas en el almacenamiento de humedad ocurridas durante un periodo de tiempo determinado”*¹¹.

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

En el Balance Hídrico para una cuenca, se tiene¹²:

Entradas (I):

Precipitación (p)
 Escorrentía desde otras cuencas
 Aguas subterráneas desde otras cuencas
 Escorrentía superficial hacia otras cuencas

Cambio de almacenamiento (ΔS) (Δt)

Almacenamiento de aguas subterráneas
 Almacenamiento por cambio de humedad del suelo
 Almacenamiento superficial en embalses canales y en la escorrentía superficial

Salidas (O):

Evaporación
 Infiltración
 Transpiración

El balance de agua en la atmósfera:

$$Q + ETR - P = \frac{dW}{dt}$$

En donde:

Q = Flujo neto de humedad en la atmósfera
ETR = Evapotranspiración real
P = Precipitación
W = Almacenamiento de agua en la atmósfera

¹¹ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución Número 0865. Bogotá. 2004. p 4.

¹² *Ibíd.*

El balance en la columna de suelo es:

$$Q - Esc - ETR = \frac{dS}{dt}$$

En donde:

<i>ETR</i>	= Evapotranspiración Real
<i>P</i>	= Precipitación
<i>Esc.</i>	= Escorrentía
<i>S</i>	= Almacenamiento de agua en el suelo

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 neta y son iguales a la diferencia entre la precipitación media y la evapotranspiración real”*¹³.

Entonces se tiene para la columna de suelo:

$$Esc\ Total = P - ETR$$

La escorrentía está compuesta por la escorrentía superficial y la escorrentía subterránea (flujo base). La dificultad de determinar la escorrentía subterránea obliga a aproximar en la ecuación el término *Esc.* con la escorrentía superficial.

Es de anotar esta ecuación presenta inexactitudes cuando se aplica en cuencas de gran área de drenaje y en suelos permeables donde la escorrentía subterránea es aun más importante que la escorrentía superficial.

Parámetros a intervenir en el cálculo del balance hídrico superficial según la metodología establecida mediante resolución No.0865 de 2004, y la disponibilidad de información meteorológica en el área de estudio, se refieren a continuación:

- ✓ Precipitación
- ✓ Evapotranspiración
- ✓ Escorrentía total

¹³ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Op. cit., p 6.

4.5 PRECIPITACIÓN

Se denomina precipitación al agua proveniente de la humedad de la atmósfera que cae a la superficie terrestre, principalmente en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve o granizo)¹⁴. La estimación de la precipitación para una determinada área geográfica, es determinante para la aplicación del balance hídrico y su precisión se encuentra sujeta a la densidad de redes pluviométricas instaladas en la zona.

Los métodos comúnmente utilizados para el cálculo estimativo de la precipitación sobre una zona determinada, son los siguientes¹⁵:

a) **Promedio aritmético.** El método aritmético da una buena estimación si los pluviométricos están uniformemente distribuidos en la cuenca, si el área de la cuenca es plana y la variación de las medidas entre los pluviómetros es pequeña.

La principal carencia del modelo es no considerar características anexas que pueden influir en las precipitaciones, como podría ser la presencia de cordones montañosos, cercanía a océanos, condiciones atmosféricas predominantes u otros. Relacionado a lo anterior, para tratar de minimizar la falencia que posee este método, es de suma importancia poseer una red de medición lo suficientemente densa y con una distribución relativamente homogénea de los aparatos de medición de acuerdo a las condiciones del terreno, sobre todo si éste es accidentado.¹⁶

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

En donde:

P = Precipitación media (mm)
 n = Número de pluviómetros
 P_i = Precipitación registrada en el pluviómetro i (mm)

b) **Polígonos de Thiessen**¹⁷. Este método intenta asignar una ponderación de representatividad en función de la superficie a cada estación pluviométrica inserta en el área de estudio. Para ello, es preciso ubicar las estaciones en un plano

¹⁴ UNESCO. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo, Uruguay. 1982. p 26.

¹⁵ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Op. cit., p. 8.

¹⁶ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO. Índice de Escasez de agua Superficial Cuenca del Río Pasto. Pasto, 2008. p 25.

¹⁷ UNESCO. Op. cit., p 36.

cartográfico, mediante puntos representativos, los cuales se unen a través de líneas rectas. Posteriormente, se trazan las mediatrices a cada una de estas rectas, las cuales, en conjunto con los límites del área en estudio, definen la superficie de influencia de cada estación pluviométrica, valor que es determinado mediante un cálculo sobre el mapa.

“Entre las falencias del método se destaca que sólo considera el posicionamiento de las estaciones y una superficie plana de influencia para cada una, sin considerar las diferencias topográficas que se pueden presentar. Además, asume que la precipitación de la estación es la misma de la zona que representa geoméricamente, lo cual no siempre es cierto”¹⁸

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i P_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

En donde:

- P = Precipitación media (mm)
- n = Número de pluviómetros
- P_i = Precipitación registrada en el pluviómetro i (mm)
- A_i = Área de influencia correspondiente al pluviómetro i , resultante del Método de polígonos de Thiessen

La gran ventaja que posee este método, lo constituye la posibilidad de estimación de precipitaciones medias de un área geográfica, para cualquier lapso en estudio. Este elemento, es equivalente a la ventaja que denota una media aritmética, pero presenta como valor adicional, la asignación de ponderaciones a cada estación, en función de superficies, hecho que tiende hipotéticamente a un aumento de precisión con respecto a los valores que arroja un promedio aritmético.

c) **Curvas Isoyetas**¹⁹. Una isoyeta es una curva trazada en un plano, que representa puntos de igual precipitación. Luego, este método, para su aplicación contempla el trazado en el área geográfica que se desea estudiar, de las correspondientes isoyetas.

Es el método que presenta mayor laboriosidad, tanto en tiempo como en recursos materiales. Para su ejecución es necesario disponer, además de las mediciones de precipitación en los períodos de interés y de las ubicaciones de los puntos de

¹⁸ CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. Op. cit., p. 26.

¹⁹ Ibid.

observación, de las precipitaciones normales de cada estación, del material cartográfico correspondiente y de un conocimiento espacial y atmosférico lo más detallado posible de las áreas consideradas. En efecto promedia la precipitación de dos isoyetas consecutivas y se le asigna un peso o ponderación proporcional a la sub – área entre las dos isoyetas.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) A_{i,i+1}}{\sum_{i=1}^{n-1} A_{i,i+1}}$$

En donde:

- P = Precipitación media (mm)
- n = Número de curvas de igual precipitación
- P_i = Precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación i (mm)
- P_{i+1} = Precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación $i + 1$ (mm)
- $A_{i, i+1}$ = Área entre las curvas de igual precipitación $i, i + 1$

“La guía metodológica de la Unesco recomienda realizar el trazado de isoyetas con auxilio de un mapa de curvas de nivel, en zonas relativamente planas se puede suponer que la precipitación entre dos estaciones contiguas varía linealmente. Sin embargo, cuando la zona es montañosa se debe extrapolar la precipitación hacia alturas en las cuales no hay control pluviométrico”²⁰

4.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. *“El volumen de agua que se ha evapotranspirado entra a formar parte de la humedad atmosférica como vapor, y representa una pérdida de agua en el balance hídrico de una cuenca”²¹*

a. **Fórmula de Turc (1995).** Los parámetros a utilizar con la fórmula corresponden únicamente a precipitación anual y la temperatura media anual. Su expresión es²²:

El cálculo de evapotranspiración puede calcularse con las siguientes fórmulas recomendadas para esta estimación: Turc, Thornthwaite y Mather²³.

²⁰ UNESCO. Op. cit., p 51.

²¹ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Op. cit., p 10.

²² Ibíd.

²³ UNESCO. Op. cit., p 52.

$$ETR = \frac{P}{\left(0,9 + \frac{P^2}{L_{(T)}^2}\right)^{1/2}}$$

En donde:

ETR = Evapotranspiración anual (mm)

P = Precipitación media anual (mm)

L (T) = Parámetro heliotérmico, igual a: $L = 300 + 25 t + 0,05 t^2$

t = Temperatura media anual (°C)

b. Fórmula de Thornthwaite y Mather (1955). Consiste en calcular para cada mes la evapotranspiración potencial y a partir de su suma calcular, el valor anual. Tiene la ventaja de utilizar en sus cálculos dos factores: la temperatura media mensual y la latitud, que implícitamente introduce la duración teórica de la insolación y tienen como desventaja no tomar en cuenta la humedad del aire.

Calculada la evapotranspiración potencial anual se obtiene la evapotranspiración real. La aplicación de la fórmula requiere los siguientes pasos²⁴:

Calcular mes a mes un índice térmico (*i*) y un índice anual a través de la sumatoria de los 12 índices térmicos.

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad \text{y} \quad I = \sum_1^{12} i \quad \text{En donde:}$$

t = Temperatura media mensual (°C)

La evapotranspiración potencial no corregida de cada mes.

$$ETP' = c * t^a$$

En donde los coeficientes *c* y *a* son los mismos para cada mes y vienen dados en función del índice anual (*I*) por las expresiones:

$$a = (675 * 10^{-9} I^3) - (771 * 10^{-7} I^2) + (1,79 * 10^{-2} I) + 0,492$$

$$c = 16 \left(\frac{10}{I}\right)^a$$

²⁴ *Ibíd.*, p 26.

Para obtener los valores corregidos de evapotranspiración se afecta los valores mensuales ETP' por un coeficiente de corrección K, que tiene en cuenta la latitud, es decir la duración de la insolación teórica y del número de días de cada mes. Para cada mes se tiene la siguiente expresión²⁵:

$$ETP = k ETP'$$

La evapotranspiración anual es igual a la suma de los valores mensuales de ETP.

Para obtener la evapotranspiración real (ETR), valor necesario para el balance hídrico, se establecen ciertas hipótesis, basadas en efectuar el balance mes a mes.

a. Si la precipitación mensual (Pm), es superior a ETP mensual, entonces:

$$ETR = ETP$$

$$\Delta H = P - ETP$$

El excedente ΔH se almacena como humedad del suelo aumentando ésta hasta la saturación del suelo, que Thornthwaite consideró 100 mm, cifra a adaptarse para cada caso en particular.

b. Si la precipitación mensual es inferior a la ETP mensual, la evapotranspiración real (ETR) es la suma de precipitación mensual y de parte o toda la reserva de agua del suelo, suponiendo:

▪ Si la reserva del suelo es grande entonces:

$$ETR = ETP$$

▪ Si las reservas del suelo se reducen, en:

$$H = ETP - P$$

Si la reserva de humedad del suelo es insuficiente para satisfacer la ETP, entonces la ETR será menor a ésta e igual a Pm más la humedad disponible ΔH , es decir:

$$ETR = P + \Delta H$$

La suma de las ETR es la evapotranspiración real anual.

“De las fórmulas presentadas es muy difícil cuantificar el error de la estimación de la evapotranspiración, por causa de la intervención, además del error de la fórmula

²⁵ CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. Op. cit., p 28.

misma y de los parámetros meteorológicos que se utilicen (temperatura y precipitación), la cubierta vegetal de la cuenca²⁶.

4.7 CUANTIFICACIÓN OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE

“Para obtener la oferta hídrica neta disponible, se debe afectar la oferta hídrica total calculada por calidad del agua y por caudal mínimo ecológico²⁷.”

a. La reducción por calidad de agua, se realiza por la limitación de uso que representa para el recurso la calidad del agua. Generalmente la alteración de la calidad del agua tiene que ver con la contaminación por materia orgánica, por nutrientes y por una gran variedad de sustancias químicas y sintéticas de naturaleza tóxica.

“Para estimar el grado de presión o afectación sobre la calidad de los recursos hídricos se deben realizar estimaciones de la demanda biológica de oxígeno (DBO expresada en toneladas por año) generada por el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, así como las derivadas del beneficio del café. Esta presión afecta la calidad y disponibilidad de los cuerpos de agua²⁸”

b. El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua. Existen diversas metodologías para conocer los caudales ecológicos como Hidrológicas, Hidráulicas y Simulación de los hábitats.

El IDEAM ha adoptado para regiones Andina y Caribe un porcentaje de reducción del 25% por calidad de agua y 25% por caudal ecológico, con el cual se cuantifica la oferta hídrica neta disponible.

²⁶ UNESCO. Op. cit., p 41.

²⁷ CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. Op. cit., p 29.

²⁸ Ibid., p 30.

4.8 DEMANDA HIDRICA

La demanda hídrica se relaciona con la sumatoria de las demandas sectoriales, utilización de las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinado. Se simboliza y describe en cuanto a la Resolución 0865 de julio de 2004²⁹, de la siguiente manera:

Cuadro 3. Caracterización de las Demandas

Símbolo	Significado
DT	Demanda Total de agua
DUD	Demanda de Agua para Uso Doméstico
DUI	Demanda de Agua para uso Industrial.
DUS	Demanda de Agua para el Sector Servicios
DUA	Demanda de Agua para Uso Agrícola
DUP	Demanda de Agua para Uso Pecuario.
DT = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP	

Fuente: MAVDT Resolución 0865. 2004

DUD: Cantidad de agua consumida por la población urbana y rural para suplir sus necesidades, expresada en términos de volumen en metros cúbicos.

El cálculo de la demanda de agua para consumo humano se realiza empleando la siguiente expresión:

$DUD = \text{Demanda per capita urbana} * \text{número de habitantes urbanos} + \text{Demanda per capita rural} * \text{número de habitantes rurales}$.

“Para la estimación de la demanda se tendrá en cuenta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, para la determinación real de la dotación de agua a nivel urbano se solicitarán datos de caudales de captación, número de suscriptores, usos de agua, consumo de agua por tipo de uso, a las Empresas de Servicios Públicos correspondientes”³⁰.

DUS: demanda de agua para el sector servicio, 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 de gobierno.

El cálculo de la demanda para el sector servicios se realiza utilizando la siguiente expresión:

²⁹ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Op. cit., p 20.

³⁰ CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. Op. cit., p 31.

$$DUS = \sum_{i=1}^n N_i * Fcs_i$$

En donde:

DUS = Demanda de agua para el sector servicios
N_i = Número de establecimientos por tipo de servicio
Fcs_i = Factor de consumo por tipo de servicio

DUA: 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.

La estimación de la demanda de agua se realiza a partir de la siguiente expresión:

$$DUA = [P - (ETR * Kc)] * Ha$$

En donde:

DUA = Demanda de agua para el sector agrícola
P = Precipitación
ETP = Evapotranspiración potencial
Kc = Coeficiente de uso de agua del cultivo (FAO 33)
ha = Número de hectáreas cultivadas

Para la estimación de esta demanda de agua se trabaja bajo los siguientes lineamientos³¹:

- Ajustar la nomenclatura sobre cobertura de uso de suelo teniendo como referencia la Estructuración de la base de datos «Corine Land Cover» o la nomenclatura del IGAC.
- Elaborar cartografía de evapotranspiración, de isolíneas de escorrentía, de isotermas e isoyetas para la microcuenca la Pila.
- Realizar utilizando una aplicación en sistemas de información geográfica (SIG - ArcView), la unión de los mapas de cobertura de uso de suelo con el de sectorización hídrica y calcular áreas de cobertura de uso por microcuenca (producto A, mapa de sectores hídricos por cobertura de uso de suelo).

³¹ CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. Op. cit., p 36.

- Realizar la unión del mapa de sectores hídricos por cobertura de uso de suelo (A), con los mapas de evapotranspiración, isoyetas e isothermas, generando un mapa (B) por sector hídrico con dichos parámetros.
- Asignar sobre la base de datos del mapa B, los coeficientes de uso de Agua (Kc) para cada tipo de cultivo e investigar los coeficientes requeridos en cultivos específicos de la región.
- Calcular demanda de agua para el sector agrícola (DUA), por sectores hídricos en la microcuenca (pixelado).

La estimación de la demanda de agua para uso agrícola requiere de insumos Cartográficos básicos referentes a: cobertura de uso de suelos y cartografía de evapotranspiración, isoyetas e isothermas en estudio.

DUP: Es el resultado de multiplicar el volumen de producción de animales de importancia comercial, por un factor de consumo promedio aproximado.

$$DUP = \sum_{i=1}^n V_{pai} \times F_{cai}$$

En donde:

DUP: Demanda de agua para uso pecuario

Vpai: Volumen de producción por tipo de animal industrial

Fcai: Factor de consumo según producción animal

Se Requiere³²

- ✓ Recopilar información de censos realizados en sectores pecuarios de importancia comercial.
- ✓ Compilar y actualizar volúmenes según el tipo de producción o tipo de animal industrial.
- ✓ Estandarizar factores de consumo de agua de acuerdo al nivel de producción en sectores pecuarios.

DUI: Cantidad de agua consumida por los diferentes sectores de la industria manufacturera y extractiva. El cálculo de la demanda para uso industrial se realiza utilizando la siguiente expresión:

³² Ibid., p 20.

$$DUI = \sum_{i=1}^n Vp_i * Fc_i$$

En donde:

DUI = Demanda de agua para uso industrial
Vp i = Volumen de producción según sector económico
Fci i = Factor de consumo según sector económico

“Para la estimación de esta demanda de agua se trabajará bajo los siguientes lineamientos”³³:

- ✓ Recopilar información existente en la Corporación Autónoma regional de Nariño sobre volúmenes de producción de industrias localizadas sobre la microcuenca y actualizar/completar dicha base de datos (referente a volúmenes producción).
- ✓ Distribuir espacialmente las industrias por sub sección hídrica y enlazarlo con la base de datos recopilada, con el objeto de estimar la demanda de agua de uso industrial por sector hídrico en la microcuenca.

³³ *Ibíd.*, p. 32.

5. MARCO NORMATIVO

El marco normativo es respaldado bajo las siguientes citas:

Decreto 1594 de 1984, Artículo 30³⁴. Destaca los procedimientos a seguir en cuanto al manejo del agua, esa decir asignación de usos y normas de calidad del agua, midiendo la calidad de agua con los principales indicadores físico químico y bacteriológico.

Ley 388 de 1997³⁵. Define como principios fundamentales del Ordenamiento del territorio la función social y ecológica de la propiedad, la prelación del interés general sobre el particular y la distribución equitativa de las cargas y los beneficios, dando relevancia a la protección de los recursos naturales de la nación debido a que de ellos dependen la calidad de vida de los habitantes en cada territorio, entendido este como una unidad geográfica autónoma.

Decreto 155 del 22 de enero de 2004³⁶. Expedido por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se reglamenta las necesidades de inversión en recuperación de la cuenca hidrográfica y condiciones de la población, la variable cuantitativa del índice de escasez por cuenca o unidad hidrológica de análisis, éste a su vez es asociado a un coeficiente de escasez que integra el cálculo del factor regional.

Resolución 0865 de Julio 22 de 2004³⁷. Por la cual se adopta la metodología a que se refiere el Decreto 155 de 2004, para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales (IES). Desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

³⁴ MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984. Bogota D.E.1984. p 15.

³⁵ CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 388 de 1997. Ibagué. 1997. p 8.

³⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 155 de 2004. Bogotá D.C. 2004. p 2.

³⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución Número 0865. Bogotá. 2004. p 1.

6. DISEÑO METODOLOGICO

6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó para fortalecer el plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Microcuenca La Pila, enmarcado dentro de los proyectos de la Autoridad Ambiental CORPONARIÑO. En el proceso de metodología y alcances del proyecto, se tomo en cuenta la Resolución 0865 de 2004 emitida por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual adopta la Metodología de el Índice de Escasez de Aguas Superficiales del IDEAM. Por resultado para este estudio en: “Determinación del Índice de Escasez de Agua Superficial de la Microcuenca La Pila, Cuenca del Río Pasto, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño” se tuvo en cuenta las siguientes etapas:

Etapa 1: Revisión de Información Secundaria:

Dentro de esta etapa se revisó la información que corresponde a estudios de la Cuenca del rio Pasto, Índice de Escases se Agua Superficial Cuenca del Río Pasto, Plan de Ordenamiento y Manejo de la Microcuenca Purgatorio, Plan de Desarrollo Integral Local – Cabrera.

Se obtuvo los insumos en cuanto:

- ✓ Cartografía predial a escala 1:10.000 de la microcuenca La Pila
- ✓ Censo de población abastecida por acueductos de la zona
- ✓ Registros de zonificación y codificación hidrográfica
- ✓ Información de cobertura y uso del suelo según Corine Land Cover-Colombia.

Etapa 2: Determinación de la Oferta Hídrica

Con el fin de determinar la oferta hídrica en la microcuenca la Pila, en esta etapa se indagó al equipo técnico del programa manejo integral del recurso hídrico en el departamento de Nariño, de la Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO.

Se realizó salidas de trabajo de campo donde se proporcionara información real del estado del recurso hídrico y se tomara un registro fotográfico, la posición geográfica con el G.P.S.

Con base a los estudios realizados anteriormente; Índice de Escases Cuenca Rio Pasto, parte alta de la cuenca, se procedió al debido análisis de la zona microcuenca La Pila, a partir del mapa raster de escurrimiento total el cual fue

convertido de lámina de agua a metros cúbicos para establecer la oferta neta afectando la oferta hídrica total, reduciendo este valor por calidad de agua y caudal ecológico.

Etapa 3: Estimación de la demanda de agua a nivel de sector.

La identificación de la demanda sectorial se realizó según La Metodología Para El Cálculo de Índice de Escasez de Agua del IDEAM, para la microcuenca La Pila los usos: doméstico, sector de servicios, agrícola y pecuario. De la suma de todas las demandas encontradas se establece la demanda total.

El estudio de la demanda de agua tiene por objeto identificar y analizar las diferencias obtenidas entre la demanda, el suministro y el consumo de agua para las distintas actividades que la requieren. En este sentido, la demanda de agua se puede definir como la estimación del caudal (volumen por tiempo), en cantidad y calidad, que los usuarios utilizan para satisfacer un determinado objetivo de producción o de consumo.

Etapa 4: Determinación del índice de escasez

Al establecer la oferta hídrica neta superficial y Estimación de la demanda de agua a nivel de sector por las actividades económicas culturales y sociales; se aplica el cociente entre la demanda total y la oferta neta superficial, consiguiendo así el índice de escasez.

Por consecuencia se estimó el umbral crítico de presión del índice de Escasez con la categoría, % de oferta hídrica utilizada y su debida interpretación.

7. RESULTADOS

7.1 LOCALIZACION DE LA MICROCUENCA LA PILA

La Microcuenca La Pila, hace parte de la cuenca Alta del Río Pasto, en la jurisdicción del municipio de Pasto, departamento de Nariño. Limita al Norte con el Páramo de San Francisco y cerro Morasurco, al Sur con el Río Pasto, al oriente con el corregimiento de La Laguna y al occidente con la vereda Alianza (Corregimiento de Buesaquillo). Ver Figuras 1 y Mapa 1 Su localización se encuentra entre las siguientes coordenadas geográficas:

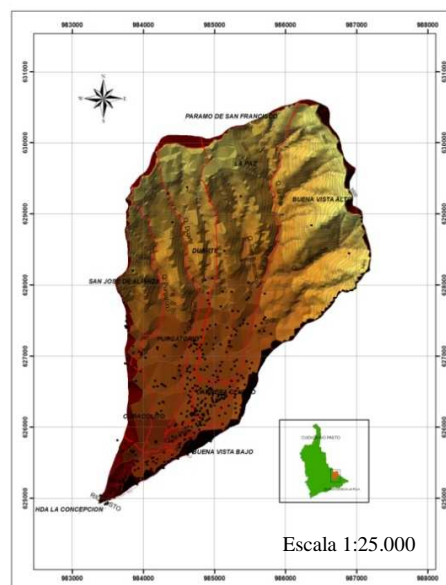
Latitud	Longitud
X 625.000	Y 983.000
X 630.000	Y 988.000

Figura 1. Localización Cuenca Río Pasto



Fuente: Índice de Escasez cuenca Pasto. 2008

Mapa 1. Localización de la Microcuenca La Pila



Fuente: Este estudio

Teniendo en cuenta que en estudios anteriores como: El Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca Río Pasto, enero de 2009; Plan de Ordenamiento y manejo de la Microcuenca Purgatorio, año 2008; Cuenca Alta del Río Pasto, Municipio de Pasto, año 2008; y Zonificación y Codificación de las Cuencas Hidrográficas en el Departamento de Nariño, diciembre 2007 entre otros, no delimitaron claramente la microcuenca “La Pila”. En el presente estudio se corrigió

la delimitación de la microcuenca La Pila, con base a las planchas catastrales del año 1990, actualización 2008, escala 1:10.000, numero 429 II C 2, 429 II C4, 429 II D1 y fotografías aéreas C2554 125, 126, 127 del instituto Geográfico Agustín Codazzi.

7.2 LIMITES POLITICO ADMINISTRATIVOS

Los corregimientos, veredas y su respectiva superficie del área de influencia de la microcuenca La Pila se relacionan, en el cuadro siguiente;

Cuadro 4. Población de la Microcuenca la Pila

CORREGIMIENTO	VEREDA	HECTÁREA S	TOTAL POBLACION
CABRERA	Buena Vista Alto	386,3	485
	Buena Vista Bajo	15,5	
	La Paz	298,9	185
	Duarte	145,4	458
	Purgatorio	186,6	172
	Cabrera Centro	35,8	852
SAN FERNANDO	Caracolito	43,6	250
BUESAQUILLO	San José	122,6	100
total			2502

Fuente: Este estudio

Figura 2. Panorámica de la Microcuenca la Pila



Fuente: Este estudio

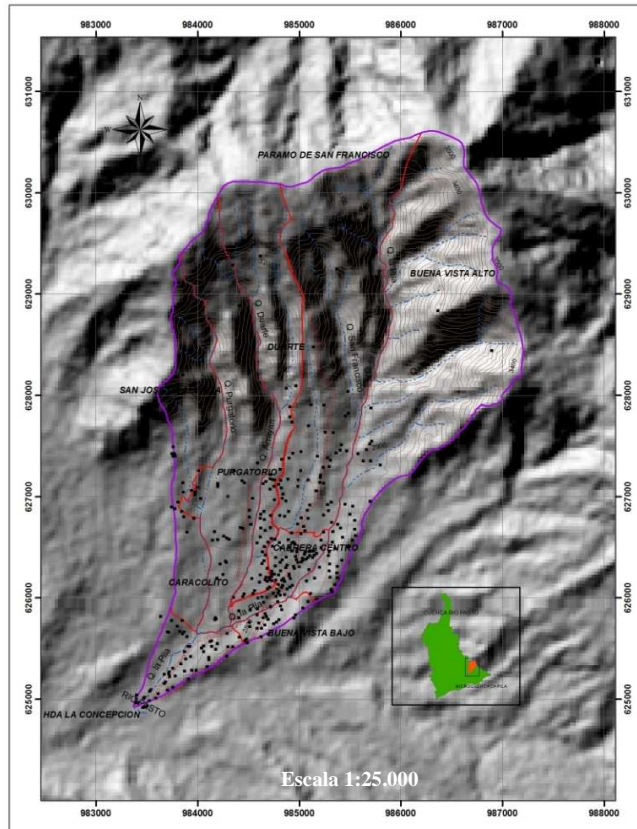
7.3 SECTORIZACIÓN HÍDRICA

La delimitación de la microcuenca La Pila fue obtenida a partir de la aplicación de procesos automatizados de los software ArcView, en donde se trabajó con insumos como: cartografía predial del año 1990, actualización 2008, y fotografías aéreas año 94 y 95 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, se verificó esta información en campo, actualizando y detallando la información, se obtuvo la topografía y red hidrográfica del sector de estudio.

7.3.1 Divisoria de aguas o línea de las cumbres. Demarcada por los criterios hidrográficos y topográficos, con base a la cartografía predial del IGAC, la divisoria de la microcuenca La Pila; fue definida a través de la unión de puntos de mayor altitud, conformando áreas de escurrimiento superficial entre laderas opuestas, ésta fue delimitada cartográficamente con un polígono que abarcan desde el nacimiento en el páramo de San Francisco, hasta la desembocadura al cauce de principal, Río Pasto.

De el proceso de recopilación de información, trabajo de campo y digitalización, se comprobó con el raster (flow directions) indicando la dirección del terreno (slope) se verificó el límite de la microcuenca con su respectiva divisoria de aguas, Ver Mapa 2.

Mapa 2. Raster de direccionamiento y acumulación de flujo, Microcuenca La Pila



Fuente: Este estudio

En el siguiente cuadro se reconoce el orden jerárquico de las cuencas hidrográficas según el estudio Zonificación y Codificación de las Cuencas Hidrográficas en el Departamento de Nariño. Por CORPONARIÑO. Pero requiere corregirse la columna donde se toma en orden 4 a las quebradas Purgatorio y Cabrera por la quebrada “la Pila” como afluente principal, en cuanto a las quebradas antes mencionadas estas desembocan en la quebrada La Pila y ocuparían orden 5 según la zonificación y codificación hídrica. Ver cuadro 6.

Cuadro 5. Sectorización y Codificación hídrica

ORDEN 1	ORDEN 2	ORDEN 3	ORDEN 4	hectáreas	Microcuenca
Río Patía	Río Juanambu	Río Pasto	Q. Purgatorio	686,57	Q. la Pila
			Q. Cabrera	620,80	

Fuente: CORPONARIÑO. Zonificación y Codificación de las Cuencas Hidrográficas en el Departamento de Nariño, diciembre 2007.

El presente estudio detalla el trabajo en campo a escala 1:10.000, lo que permitió delimitar exactamente “la Microcuenca la Pila” con 1235 has, su nacimiento en el Páramo de San Francisco a los 3300 m.s.n.m. aproximadamente, y desembocadura en el río Pasto a los 2725 m.s.n.m. aproximadamente. Cubriendo las veredas Caracolito, San José de Alianza, Purgatorio, Duarte, La Paz, Buena Vista Alto, Buena Vista Bajo y Cabrera Centro.

De esta manera La Quebrada La Pila, con orden 4, se constituye en la corriente principal, desembocando en ella afluentes de orden 5 como: la quebrada Purgatorio, quebrada Arrayán, quebrada San Francisco, quebrada Yungaleche y quebrada el Cuscungo. Ver cuadro 6.

Es importante reconocer a la Microcuenca la Pila, porque abastece un centro poblado importante como lo es Cabrera y que a su vez aporta también al abastecimiento de agua para la ciudad de Pasto, además de que se proyecta como una zona expansión urbana y zona turística.

Cuadro 6. Zonificación y Codificación hídrica Microcuenca La Pila

CODIGO		AREA HIDROGRAFICA	ZONA HIDROGRAFICA ORDEN 1	SUB ZONA ORDEN 2	ORDEN 3	ORDEN 4	ORDEN 5	
LLAVE		P A C I F I C O	RIO PATIA					
PRIMARIA	FORANEA							
5204					RIO JUANAMBU			
5204	0 71					RIO PASTO		
5204	0 82						Q. LA PILA	
5204	0 01							Q. YUNGALCHE
5204	0 02							Q. CUSCUNGO
5204	0 03							Q. PURGATORIO
5204	0 04							Q. ARRAYAN
5204	0 05					Q. SAN FRANCISCO		

Fuente: CORPONARIÑO. Zonificación Y Codificación de las Cuencas Hidrográficas en el Departamento de Nariño, diciembre 2007. Este estudio

7.4 COBERTURA Y USO DE SUELO

El proceso de determinación del índice de escasez en la microcuenca la Pila, en cuanto a la definición de la demanda de agua a nivel agrícola requiere la identificación de la cobertura de uso de suelo, relacionada con el sector hídrico. Para ello se contó con información secundaria y observación directa en campo.

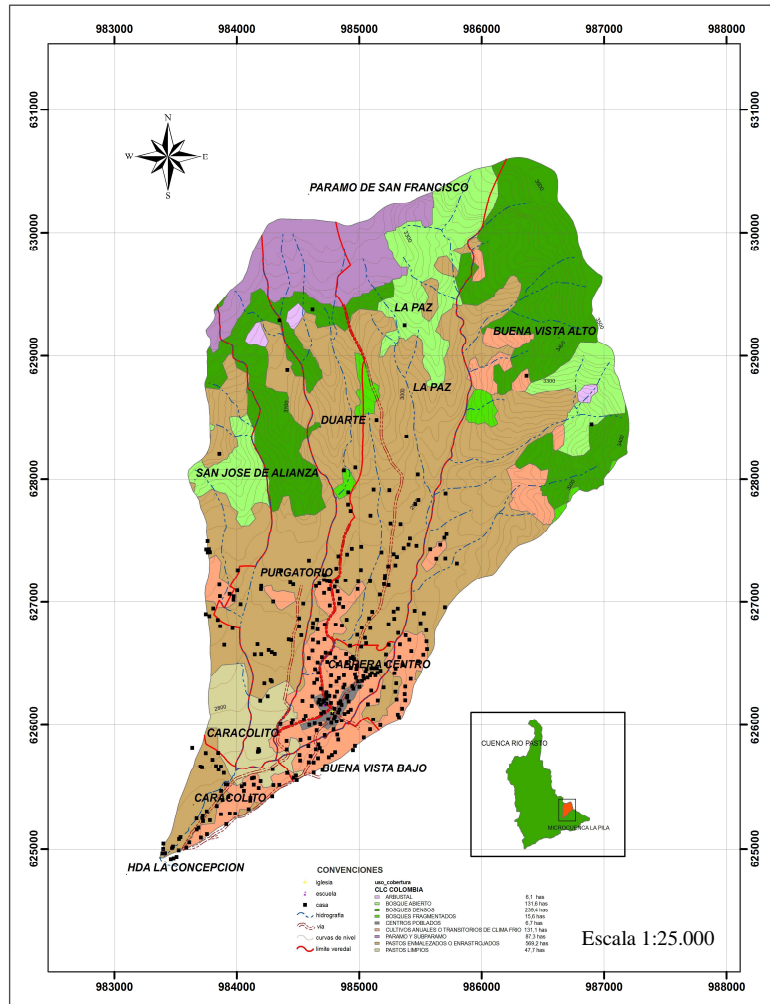
Por parte del grupo interdisciplinario para el Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca La Pila.

Cuadro 7. Cobertura y uso según Corine Land Cover Colombia para la microcuenca La Pila

USO Y COBERTURA CLC COLOMBIA	HECTÁREAS	%
Arbustal	61,1	0,5
Bosque abierto	131,6	10,7
Bosque denso	239,4	19,4
Bosque fragmentado	15,6	1,3
Centro poblado	6,7	0,5
Cultivos anuales o transitorios de clima frío	131,1	10,6
Paramo y subparamo	87,3	7,1
Pastos enmalezados o enrastrados	569,2	46,1
Pastos limpios	47,7	3,9
total	1235	100

Fuente: Este Estudio

Mapa 3. Distribución de cobertura y uso de suelo en la microcuenca La Pila



Fuente: Este estudio

El uso de la tierra se define como el conjunto de actividades provenientes de la intervención humana, cíclica o permanente, sobre los recursos que hacen parte de la misma con el fin de satisfacer las necesidades del hombre, en alimento, materiales de construcción energía y demás insumos básicos de estos procesos.

La mayor parte las familias se ubica en la parte media y baja de la Microcuenca La Pila donde se observa alta pérdida de la cobertura vegetal, causada por la tala de los bosques, que ha conllevado a la disminución de fuentes hídricas y con tendencia a tener problemas de abastecimiento de agua a mediano plazo, al tiempo que contribuye en gran parte a los procesos de degradación de los suelos.

7.4.1 Definición de la leyenda. Se retomó la leyenda ó nomenclatura «CORINE LAND COVER» COLOMBIA

7.4.1.1 Bosques y áreas seminaturales. Son áreas naturales o semi_naturales con una cobertura de bosque primario o secundario, compuesto de especies nativas o exóticas.³⁸ Las categorías identificadas para la microcuenca son el bosque denso, bosque abierto y bosque fragmentado que corresponden a un área de 386,6 Ha, equivalente al 31,4 del área total de la microcuenca.

a. Bosque natural denso: *“Son las formaciones vegetales dominadas por elementos típicamente arbóreos de más de 8 metros de altura, los cuales forman por lo menos un estrato de copas (dosel) más o menos continuo donde los árboles tienen una cubierta aparente (proyección vertical al suelo de la corona) superior al 90%. Incluye los arbustos y matorrales cubiertos por los árboles”³⁹.* Este tipo de bosque tiene un área 239,4 hectáreas que corresponden al 19,4% del área total de la microcuenca. Se encuentra en las partes altas de las veredas de Purgatorio, Duarte y Buena Vista.

b. Bosque abierto: *“Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a 5 metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales. entre las familias más representativas están Piperácea, Melastomataceae, Asterácea, Cunnoniaceae, y Compositae”⁴⁰.*

El bosque abierto corresponde a un área de 131,6 hectáreas equivalentes al 10,7% del área de la microcuenca. Se encuentra principalmente hacia la vereda La Paz y Buena Vista. Este bosque tiene intervención antrópica para extracción de leña.

c. Bosque fragmentado: *“Son las formaciones vegetales con intervención humana pero mantiene su característica de bosque natural. Se notan transformaciones completas de la cobertura en su interior, originando manchas de otras coberturas como pasto, cultivos y/o rastrojos que ocupan áreas no mayores al 30% de la unidad”⁴¹.* En la parte alta de la microcuenca se presentan parches de cultivos de papa y de pastos naturales, lo que ha conducido a la destrucción de

³⁸ CORMAGDALENA, IDEAM, IGAC, IGN FRANCE. Nomenclatura Corine Land Cover, Colombia. Bogotá: p. 3.

³⁹ *Ibíd.*, p 7.

⁴⁰ *Ibíd.*, p 8.

⁴¹ *Ibíd.* p 12.

zonas de recarga hídrica en su área de influencia. Tiene una extensión de 15,6 Ha, equivalentes al 1,3 % del área total de la microcuenca, se encuentran distribuidos en toda la microcuenca.

7.4.1.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva. Estas coberturas corresponden a las etapas sucesionales del bosque natural de hábito arbustivo y/o herbáceo, y a las áreas de páramo y subpáramo, con o sin ninguna intervención. Comprende un área de 93,4 Ha, equivalente a 7,6% del área total de la microcuenca.

b. Páramo y subpáramo: En la microcuenca la Pila a nivel de subpáramo la vegetación se va tornando escasa y de menor tamaño a medida que se aproxima al páramo propiamente dicho el cual se encuentra cubierto por formaciones vegetales de pajonales (*calamagrostis* sp) y caulirósulas sésiles o altas (*Espeletia* sp). En el páramo San Francisco la vegetación se halla esparcida sobre un suelo arenoso - rocoso conformado por plantas en cojín (*Hypochoeris* sp y *Lachemilla* sp). Estructuralmente se distinguen tres estratos: el arbustivo, el herbáceo y el rasante.

Este tipo de vegetación tiene una extensión de 87,3 hectáreas que corresponden al 7,1% del área total de la microcuenca, y sustenta significativamente la regulación hídrica de las principales fuentes de agua de la microcuenca.

c. Arbustal (Arbustos y Matorrales): Vegetación natural de porte bajo en zonas abandonadas, producto de actividades antrópicas, constituyendo un estado sucesional temprano, caracterizado por cubiertas vegetales donde sus copas pueden estar juntas o esparcidas entre sí. Este estrato posee una altura comprendida entre 1,5 y 8 m⁴². Este tipo de cobertura tiene una área de 6,1 hectáreas es decir el 0,5% del área de la microcuenca. Las especies más representativas son Chilco blanco (*Bacharis floribunda*), Pucasacha o flor de mayo (*tribouchina mollis*), Chaquilulo (*Cavendishia bracteata*)

7.4.1.3 Territorios agrícolas. Tierras ocupadas principalmente para la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho⁴³. Estas áreas corresponden a las zonas de producción y/o vocación agrícola y pecuaria que se encuentran sobre la parte media y baja de la microcuenca.

⁴² Ibíd.

⁴³ Ibíd.

a. Cultivos anuales o transitorios: Áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo dura un año o menos, llegando incluso a ser de unos pocos meses; tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo⁴⁴. El área de cultivos transitorios tiene una extensión de 131,1 hectáreas equivalentes al 10,6% del área de la microcuenca. Se encuentra haciendo parte de las veredas de Purgatorio, Duarte, Buena Vista, La Paz y Caracolito.

b. Pastos limpios: Tierras cubiertas con pastos que no presentan malezas ni están arboladas, debido a que la serie de prácticas culturales (limpieza, enclamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden su presencia⁴⁵. Las principales especies de pasturas que se cultivan son kikuyo asociado con trébol y falsa poa, ray grass, azul orchoro, saboya.

En la microcuenca La Pila corresponde a una área de 47,7 has. que representan el 3.3 % de la cuenca y se encuentra distribuidas en toda la parte media y baja de la microcuenca.

c. Pastos enmalezados o enrastrados: Tierras con pastos que debido a las escasas prácticas de manejo o abandono son invadidas por malezas y rastrojos con densidad $5\% < \text{densidad} \leq 30\% - 50\%$ ⁴⁶. La altura de este estrato es menor de 1,5 m. Este tipo de vegetación corresponde generalmente a kikuyo asociado con lengua de vaca y corazón herido. En la microcuenca La Pila existen 569,2 hectáreas de pastos enmalezados que corresponden al 46,1% del área de la microcuenca. Y que se encuentran distribuidos en todas las veredas que hacen parte de la microcuenca estas áreas sustentan la producción pecuaria de la zona.

7.4.1.4 Centro poblado. El área comprende una zona de expansión urbana y viviendas con huertas caseras para un total de 6,7 hectáreas, que corresponde al 0,5 % del total de la microcuenca. Estos centros poblados han ido cubriendo alguna parte de la microcuenca con áreas de construcción que se encuentra en una etapa de transición de lo rural a lo urbano, esta zona de la microcuenca se ve altamente presionada por la continua llegada de habitantes de la ciudad de Pasto para desarrollar proyectos de vivienda (chalets, fincas campestres) y/o con fines recreativos los fines de semana, lo que de una u otra manera conlleva a presionar la parte de bosque nativo ubicada en la zona alta de la microcuenca, y una mayor demanda por servicios ambientales con un proceso de migración poblacional.

⁴⁴ Ibíd. p 10.

⁴⁵ Ibíd. p 11.

⁴⁶ Ibíd. p 12.

8. OFERTA HIDRICA SUPERFICIAL TOTAL

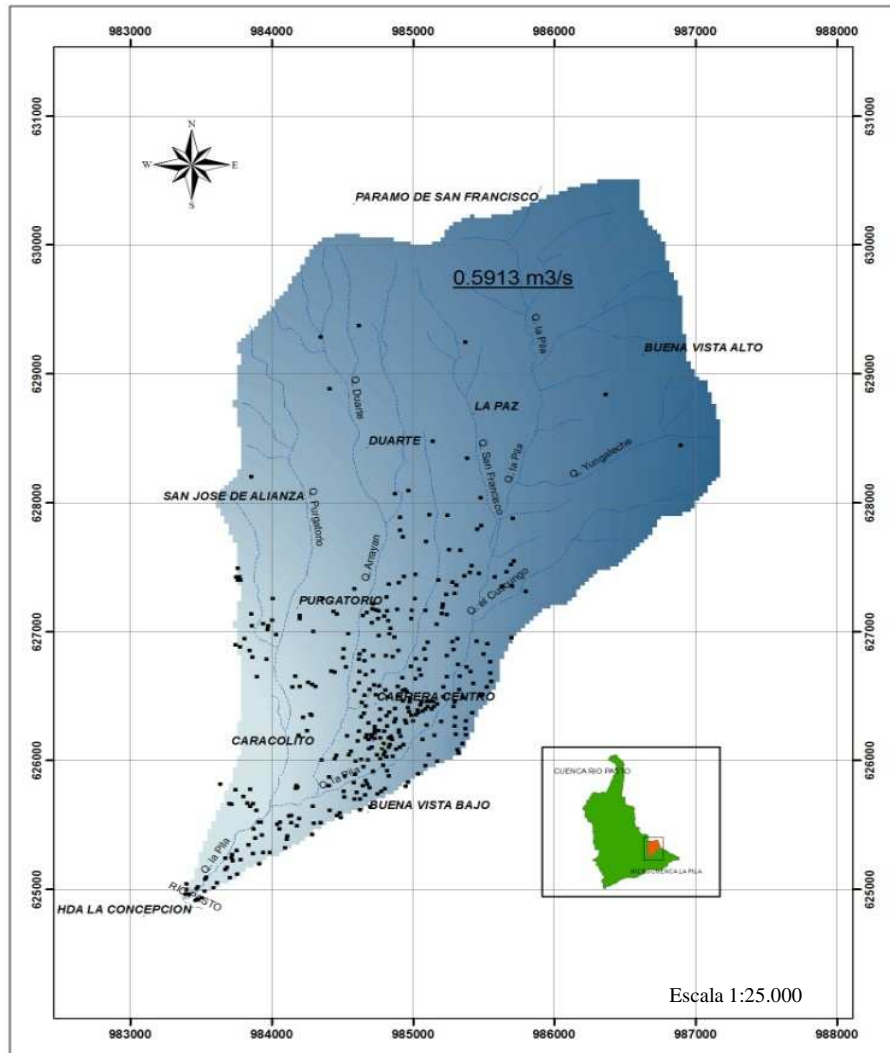
Para este estudio se tomó información de CORPONARIÑO en cuanto a oferta hídrica Total, parte Alta de la Cuenca del río Pasto en formato Raster (unidades m^3/s): Obtenido a partir del mapa Raster de precipitación del Plan de Ordenamiento de la cuenca del río Pasto y del mapa Raster de Temperatura del proyecto de índice de escasez de la cuenca del Río Pasto. Con estos mapas se calculó la evapotranspiración real con la fórmula de TURC, adaptable para superficies con predominancia natural.

Ésta ecuación es aplicable para regiones con deficiencias de información tales como radiación solar, humedad relativa del suelo, etc. posteriormente se aplicó la fórmula de balance hídrico simplificado con lo cual se obtuvo el mapa raster de escurrimiento total el cual fue convertido de lámina de agua a metros cúbicos. Como se aprecia en la Figura 3.

Por lo tanto para la microcuenca la Pila, la oferta hídrica total se expresa así:

$$OHTOTAL = 0.5913 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Figura 3. Imagen raster microcuenca La Pila



Fuente. Este estudio

9. OFERTA HÍDRICA NETA DISPONIBLE

Para obtener la oferta hídrica neta disponible se requiere reducir la oferta hídrica total calculada por calidad de agua y por caudal mínimo ecológico. Según la disposición en Resolución 865 de 2004 en cuanto a la metodología para el cálculo de oferta hídrica se establece:

OH Neta Disponible = OH Total * Reducciones
(25% Calidad Agua + 25% Q Mín. Ecológico)

Con base en lo anterior se determino la oferta hídrica neta así:

9.1 CÁLCULOS PARA LA MICROCUENCA LA PILA

Oferta hídrica superficial total por caudales medios
Caudal: 0.5913 m³/seg.

- Oferta hídrica superficial total por caudales modales

Área 1235 ha= 12,35 km²

M : Escorrentía superficial expresada en términos de rendimiento hídrico [lt/s.km²];

Aplicando la formula

$$M = \frac{\bar{Q} \times 10^3}{A}$$

$M = 21,74$ lt-seg-km²

Caudal = 0,268 m³/seg.

- Oferta hídrica superficial neta resulta de la siguiente expresión:

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

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.

$$On = 0,5913 \frac{m^3}{seg} - (0,5913 m^3/seg. * 0.55)$$

$$On = 0,266085 m^3 / seg. = \mathbf{8391256,56 m^3 / año}$$

$$On = 0,268 \frac{m^3}{seg} - (0,268 m^3/seg. * 0.55)$$

$$On = 0,1206 m^3 / seg. = \mathbf{3803241,6 m^3 / año}$$

El resultado de la oferta hídrica superficial neta es de 3803241,6 m³ / año, cantidad de agua que ofrece la microcuenca La Pila, volumen disponible para satisfacer la demanda por actividades socioeconómicas; luego de haber tomado en cuenta la cantidad de agua que debe quedar en ella para efectos de mantener la dinámica de aguas bajas, en épocas secas, y para proteger las fuentes frágiles.

10. DEMANDA HÍDRICA

La demanda hídrica corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales (actividades antrópicas sociales y económicas) expresado en millones de metros cúbicos. El proceso de estimación de demanda se fundamenta 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 valoraciones no contemplan las pérdidas en los sistemas de conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución del agua, tampoco tienen en consideración el nivel tecnológico, los métodos de producción limpia y el uso que del agua hace la industria extractiva.

10.1 MÓDULOS DE CONSUMO PARA LA DEMANDA HÍDRICA

Debido a que generalmente no es factible medir directamente en los predios los caudales reales de consumo total o los utilizados para los diferentes usos en la finca, ya que no cuentan con contadores a nivel predial, se hace necesario estimar de manera aproximada e indirecta la demanda, efectuando una asignación de consumos dependiendo de los distintos usos (doméstico, animal, agrícola, industrial, recreacional, etc.).

El módulo es una medida de consumo de agua expresada en términos de caudal por uso o por individuo, necesaria para satisfacer la demanda en un período de tiempo determinado. Los valores utilizados en este caso se han tomados de la Norma Ras 2000⁴⁷, literatura y de los rangos establecidos por la Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO. De acuerdo con los distintos usos se presentan en el cuadro 5.

⁴⁷ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Dotación neta mínima y máxima (Artículo 67) Bogotá. Noviembre. 2000. p 10.

Cuadro 8. Módulos de consumo utilizados en el cálculo de la demanda hídrica.

TIPO DE CONSUMO	CONSUMO PROMEDIO	UNIDAD DE MEDIDA
Consumo doméstico de habitantes	150	l/hab/día
Consumo doméstico de habitantes temporales (Instituciones educativas)	75	l/hab/día
Consumo doméstico de habitantes temporales (Restaurantes)	40	l/hab/día
Consumo doméstico de habitantes temporales (Centro de salud)	100	l/hab/día
Consumo pecuario de ganado bovino	40	litros/animal/día
Consumo pecuario de ganado equino	20	litros/animal/día
Consumo pecuario de ganado porcino	15	litros/animal/día
Consumo pecuario avicultura	0,24	litros/animal/día
Consumo pecuario cuyes	0.12	litros/animal/día
Consumo pecuario conejos	0,2	litros/animal/día
Consumo agrícola de cultivos limpios, pastos	0.3-0.6	litros/seg/Ha
*/ los valores promedio deben ser convertidos a unidades de caudal compatibles (ej. l/s) con las unidades de oferta hídrica para realizar las sumatorias y cálculos correspondientes.		

Fuente: Ras 2000⁴⁸, SUBCEA-CORPONARIÑO.

⁴⁸ Ibid., p 11.

10.2 DEMANDA SECTORIAL

10.2.1 Demanda Para Uso Domestico (DUD):

Figura 4. Acueducto purgatorio



Fuente: Este estudio

La demanda para uso domestico se establece de la cantidad de agua expresada en términos de volumen en metros cúbicos que es consumida por la población urbana del caserío de Cabrera Centro y la población rural de la microcuenca, para suplir sus necesidades de abastecimiento de agua para consumo humano y doméstico y que de acuerdo al decreto 1594 de 1984, Artículo 30: se relacionan con las siguientes actividades; a. Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato. b. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.

Para determinar la demanda de uso doméstico se requirió especificar la dotación neta tomando como base el Consumo per_capita Fuente RAS⁴⁹: Dotación neta mínima y máxima (Artículo 67), según la cual la dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. La dotación neta depende del nivel de complejidad del sistema y sus valores mínimo y máximo se establecen de acuerdo con el cuadro 9.

Es importante tener en cuenta que la actividad productiva relacionada con la cría de especies menores (cuyes, cerdo, conejos y aves) es muy generalizada a nivel de los núcleos familiares de la zona rural y por lo tanto requieren del recurso hídrico especialmente para tareas específicas como es el lavado de las instalaciones, y que al no existir un control al respecto se debe tener en cuenta

⁴⁹ Ibíd., p 41.

como consumo significativo, por lo que se considera tomar una dotación neta de 150 litros/habitante/día.

Cuadro 9. Consumo per_capita – Dotación neta

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	DOTACIÓN NETA MÍNIMA L/HAB-DIA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA L/HAB-DIA
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: RAS 2000⁵⁰.

De otra parte se contó con la información sobre población de las veredas en base a los Planes de Vida de los corregimientos de Cabrera y Buesaquillo, además de la información sobre número de usuarios de los acueductos que suministran agua a las poblaciones del Sector rural (Veredas Duarte, La paz, Purgatorio, Buenavista, San José de Buesaquillo, Pejendino Reyes), y sector urbano (Cabrera), cabe anotar que las Juntas de Acueducto, debido a una evidente falta de organización, no llevan registros actualizados y los datos suministrados por ellas se hizo a través de comunicación verbal y por lo tanto se estiman de manera aproximada.

Respecto a la vereda Caracolito no se abastece de agua de la microcuenca, por cuanto el acueducto se surte de la microcuenca Barbero, por lo cual no se tiene en cuenta la población de esta vereda. Se incluye la población de Pejendino Reyes, la cual se encuentra fuera de la microcuenca pero que se abastece del acueducto localizado en la microcuenca La Pila.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores la demanda de agua para consumo humano y domestico se calculó de la siguiente manera:

DUD = Demanda percápita urbana * número de habitantes urbanos + Demanda per cápita rural * número de habitantes rurales.

DUD= 150 l-hab/dia* 2562 hab + 150 l-hab/dia *590 hab.

DUD = 384300 lt/dia + 88500 lt/dia

DUD = 472800lt/dia = 172.572 m³/año

⁵⁰ Ibíd., p 8.

Cuadro 10. Demanda - Uso domestico (Acueductos)

QUEBRADA	SISTEMA DE ACUEDUCTO	POBLACION ACTUAL		DEMANDA ACTUAL M3/AÑO	DEMANDA USO DOMESTICO ACTUAL (l/s)
		NUMERO DE USUARIOS	NUMERO DE HABITANTES	DOTACION (L/H/D)	
				150	
Q. Purgatorio	Acud. Purgatorio	50	272	14892	0,91
	Acud. Pejendino R	140	900	49275	3,00
	Subtotal	190	1172	64167	3,91
Q. Arrayan	Acud. Duarte	65	323	17684	1,08
	Subtotal	65	323	17684	1,08
Q. La Pila	Acud. Buena vista	25	184	10074	0,61
	Acud. Central	219	978	53520	3,26
	Subtotal	244	1162	63594	3,87
Q. San Francisco	Acud. Central	74	330	18084	1,10
	Acud. Central	37	165	9042	0,55
	Subtotal	111	495	27127	1,65
TOTALES		610	3.152	172.572	10,5

Fuente: Plan de Ordenamiento del recurso hídrico microcuenca La Pila

Los anteriores cálculos indican que la Demanda Doméstica Total (DDT) de la microcuenca La Pila, que está compuesta por la suma de los componentes urbano y rural, actualmente se estima en aproximadamente 10,5 litros/segundo y/o 331128 m³/año pero que se espera que aumente significativamente en los próximos años, si se tiene en cuenta que esta zona por su cercanía a la ciudad de Pasto, es objeto de procesos de chaletización.

10.2.2 Demanda de agua para el sector servicios. (DUS)

Figura 5. Institucion Educativa



Fuente. Este estudio

Se considera a la demanda de agua para el sector servicios: a la cantidad de agua consumida por sectores de 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.

Para la microcuenca la pila se tomó la información de los establecimientos representados tres sectores principales; sector de educación, sector de salud, sector de restaurantes. Ver cuadro 11.

Cuadro 11. Demanda – Uso Servicios

USUARIOS	INSTITUCIONES EDUCATIVAS		CENTRO DE SALUD	RESTAURANTES									
No. ESTABLECIMIENTOS	2		1	10									
ESTABLECIMIENTO	COLEGIO BRITANICO	I.E.M. CABRERA	CENTRO DE SALUD-Cabrera Centro	PICANTERIA PATY	PICANTERIA CABRERA	MI CABAÑA	R4	R5	R6	R7	ASOCIACION ARCOIRIS	R9	R10
X	625551	626165	626212	626102	626098	626095	626119	626110	626110	626115	625763	625352	625082
Y	983894	984738	984811	984757	984762	984768	984779	984753	984750	984774	984327	983785	983588
ALTURA	2753	2795	2810	2814	2809	2809	2810	2810	2810	2812	2746	2761	2751
ESTUDIANTES	90	318											
DOCENTES	10	14											
ADMINISTRATIVOS	3	4											
RECTOR	1	1											
EMPLEADOS			8										
PACIENTES			24/Dia										
CLIENTES PROMEDIO /FIN DE SEMANA				77	64	81	52	62	71	75	72	82	77
TOTAL	104	337	32	77	64	81	52	62	71	75	72	82	77

Fuente: Plan de Ordenamiento del recurso hídrico microcuenca la Pila

El cálculo de la demanda para el sector servicios se realiza utilizando la siguiente expresión⁵¹:

$$DUS = \sum_{i=1}^n N_i * Fcs_i$$

En donde:

DUS = Demanda de agua para el sector servicios
N_i = Número de establecimientos por tipo de servicio
Fcs_i = Factor de consumo por tipo de servicio

⁵¹ IDEAM. Op. cit., p 24.

Escuelas (2)

DUS= 441 población flotante * 75 Lt- persona/día

DUS= 33075 lt/día= 12072,4 m³/año

Restaurante (10)

DUS = 713población flotante * 40 Lt- persona/día

DUS= 28520 Lt- /día= 10409,8 m³/año

Centro de salud (1)

DUS = 32 población flotante * 100 Lt-personas-día

DUS= 3200 lt /día = 1168 m³/año

DUS total= 12072,4 m³/año + 10409,8 m³/año + 1168 m³/año

DUS total= 23650,2 m³/año

Se optó por estimar la demanda de servicios, (con base en los datos del censo) de manera global utilizando el número de población flotante y/o temporales y aplicando la dotación definida en los módulos de consumo utilizados, como se presenta en el cuadro 11. Al aplicar la conversión de unidades de la demanda de uso servicios total, el caudal estimado para este uso sería de 0,7 litros por segundo.

Como resultado del atractivo turístico-recreacional y cercanía a la ciudad de Pasto, la microcuenca y en especial la cabecera Cabrera Centro y la vereda Caracolito, evidencian un creciente desarrollo en el servicio comercial de restaurantes.

10.2.3 Demanda de Agua Uso Pecuario, (DUP):

Figura 6. Ganado en alta pendiente



Fuente. Este estudio

Figura 7. Cuyes en galpón



Fuente. Este estudio

Es el resultado de multiplicar el volumen de producción de animales de importancia comercial, (cuadro 12), por un factor de consumo promedio aproximado.

$$\text{DUP} = \text{Vpai} * \text{Fca}$$

En donde:

DUP: Demanda de agua para uso pecuario

Vpai: Volumen de producción por tipo de animal industrial

Fca: Factor de consumo según producción animal

$$\text{DUP} = 276 \text{ bovinos} * 40 \text{ Lt-bovino-día}$$

$$\text{DUP} = 11.040 \text{ Lt- día} = 4029,6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{DUP} = 9 \text{ equinos} * 20 \text{ Lt-equino-día}$$

$$\text{DUP} = 180 \text{ Lt- día} = 65,7 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{DUP} = 252 \text{ aves} * 0,24 \text{ Lt-aves-día}$$

$$\text{DUP} = 0,504 \text{ Lt- día} = 0,184 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{DUP} = 117 \text{ porcinos} * 15 \text{ Lt-porcino-día}$$

$$\text{DUP} = 1.755 \text{ Lt- día} = 640,575 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{DUP} = 2759 \text{ cuyes} * 0,12 \text{ Lt- cuyes-día}$$

$$\text{DUP} = 331,08 \text{ Lt- día} = 120,8442 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{DUP} = 78 \text{ conejos} * 0,2 \text{ Lt- conejos-día}$$

$$\text{DUP} = 15,6 \text{ Lt- día} = 5,694 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{DUP total} = 4029,6 \text{ m}^3/\text{año} + 65,7 \text{ m}^3/\text{año} + 0,184 \text{ m}^3/\text{año} + 640,575 \text{ m}^3/\text{año} + 120,8442 \text{ m}^3/\text{año} + 5,694 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{DUP total} = 4862,597 \text{ m}^3/\text{año}$$

La demanda de agua para uso pecuario para los predios en la microcuenca se estima en 0,15 litros/segundo, domina el consumo bovino con el 82,9%, seguido de los porcinos (13,2%), cuyes (2,5%), equinos (1,4%) y el restante 1,04% corresponde a conejos y aves. En el censo no se reportaron otras especies pecuarias.

Cuadro 12. Demanda - Uso pecuario

ESPECIES	No ANIMALES	No PREDIOS	No ANIMALES POR PREDIO	DEMANDA DE AGUA M3/AÑO	%
AVES DE CORRAL	252	29	9	0,184	0,004
BOVINOS	276	33	8	4029,6	82,9
EQUINOS	9	4	2	65,7	1,4
PORCINOS	117	12	10	640,575	13,2
CUYES	2.759	330	8	120,8442	2,5
CONEJOS	78	8	9	5,694	0,1
TOTAL	3.491	416		4862,5972	100

Fuente: Plan de Ordenamiento del recurso hídrico Microcuenca La Pila – Año 2009

10.2.3.1 Demanda piscícola:

Figura 8. Estanque piscícola para prácticas de pesca deportiva



Fuente. Este estudio

Según estudios e información secundaria el caudal captado para la producción piscícola, retorna en la misma cantidad al cauce, por lo tanto no se toma para la demanda total, ya que no se afecta la cantidad.

10.2.4 Demanda De Agua Uso Agrícola (DUA):

Figura 9. Cultivos de papa



Fuente. Este estudio

Figura 10. Cultivo de cebolla



Fuente. Este estudio

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. Se entiende por uso agrícola del agua, su empleo para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias asociadas a la agricultura irrigada.

El área de cultivos transitorios tiene una extensión de 131,1 hectáreas equivalentes al 10,6% del área de la microcuenca, en lo que respecta a pastos limpios se tiene un área de 47,7 has. Que representan el 3.3 % de la microcuenca. Por cultivos de acuerdo con el censo se estimó un área en cebolla de 67,8 hectáreas, papa de 34,7 hectáreas y otros cultivos (maíz, arveja, frijol, hortalizas, ulluco) 28,26 hectáreas. Las áreas reportadas no superan el 0,5 hectárea por unidad de producción, esto es evidente por cuanto se diagnosticó que los propietarios que poseen tierras con área menor a 2 has equivale a un 84,1%, propietarios de 2 a 5 has el 9,4 %, y los propietarios mayores de 5 has corresponden a un porcentaje de un 6,6%, y las áreas más extensas se clasifican en la zona de conservación es decir en la parte alta de la microcuenca.

Sin embargo, de estos cultivos, la cebolla es objeto de aplicación de riego, por ser el cultivo de mayor importancia económica en la zona. Los restantes cultivos normalmente son de subsistencia, en algunos casos de seguridad alimentaria, y que dependen más de la estacionalidad climática para la producción, y las áreas de papa de gran extensión normalmente se ubican hacia la parte alta en la zona de conservación y protección, donde por pendientes, la aplicación de riego no es posible.

La demanda agrícola estimada en la microcuenca para del área cultivada en cebolla se calcula de la siguiente manera, estimando un coeficiente de modelo de consumo de 0,4 litros por hectárea, de acuerdo a lo establecido por CORPONARIÑO para la zona de clima frío, si se tiene en cuenta que en un momento dado no todas las áreas cultivadas coinciden en una fase determinada del cultivo, lo que hace que el uso consuntivo varíe significativamente:

- $DUA = 0,4 \text{ litros/segundo/hectárea} * \text{No. De Hectáreas}$
- $DUA = 0,4 \text{ litros/segundo/hectárea} * 67,8 \text{ Hectáreas}$
- $DUA = 27,12 \text{ litros/segundo}$
- $DUA = 27,12 \text{ litros/segundo} *$
- $DUA = 855256,32 \text{ M}^3/\text{año}$

Las demandas adicionales para el sector agrícola se estiman sobre las mismas áreas de cebolla, cuando estas entran en rotación, o existe un cambio de renglón productivo como papa, o pastos mejorados. Casos en los cuales el uso consuntivo es menor o igual al de cebolla y las áreas objeto de aplicación de riego se mantienen constantes, de ahí que con esta demanda de uso agrícola total de acuerdo a los cálculos realizados se tiene que el sector agrícola representa con 27,12 litros/segundo la mayor demanda de todos los usos y por concepto de este uso es que existe la mayor presión sobre el recurso hídrico en la microcuenca.

10.2.5 Demanda Total (DT). Corresponde a la suma de las cantidades de agua que se destinan a los diferentes usos y aquella cantidad requerida por el ambiente (demanda ambiental o caudal ecológico). De tal forma que la demanda total para la microcuenca La Pila, se expresa como la sumatoria de las demandas parciales por tipo o sector de consumo y uso:

$$DT = DUD + DUS + DUP + DUI + DUA$$

Como se indicó la sumatoria de todos los usos descritos anteriormente constituyen la demanda total de la cuenca con los valores que se presentan en el cuadro 13.

Cuadro 13. Demanda por sector en el área de la microcuenca

CATEGORIA DE USO	DEMANDA HIDRICA LITROS/SEGU NDO	DEMANDA HIDRICA M3/AÑO	%
DOMÉSTICO	10,5	331.128,00	27,26
SERVICIOS	0,75	23.650,20	1,95
PECUARIO	0,15	4.862,60	0,40
AGRICOLA	27,12	855.256,32	70,40
TOTAL	38,5	1.214.897,12	100,00

Fuente. Este estudio

Resulta evidente que no todos los sectores contribuyen igualmente a la demanda estimada para la cuenca. El sector agrícola encabeza la lista con un 70,4% de la demanda total, seguido del consumo doméstico con 27,26% y del sector servicios con 1,95%. Todos los demás sectores contribuyen cada una con el 1,95% del total.

11. DETERMINACION DEL INDICE DE ESCASEZ

Los valores de oferta que se presentan son los valores totales de caudal disponible. Resulta claro que la demanda presiona más sobre la oferta durante la época seca. Durante los meses de precipitaciones normales no se presentan problemas de conflictos potenciales con la demanda.

Mediante el cociente entre la demanda total y la oferta se establece el índice de escasez de la siguiente manera:

- **Calculo de índice de Escasez**

$$I = \frac{1214897,12 \text{ m}^3/\text{año}}{3803241,6 \text{ m}^3 / \text{año}} * 100$$

$$I = 31,9\%$$

Según los cálculos el índice de escasez de la microcuenca la pila es de 31, 9% encontrándose en el rango MEDIO según el umbral crítico de presión cuadro 1.

De acuerdo con la clasificación los valores medios de 20-40% de la oferta hídrica utilizada es necesario el ordenamiento de la oferta como de la demanda, se debe de priorizar usos, proteger los ecosistemas acuáticos, y realizar inversiones para mejorar la eficiencia del recurso hídrico.

La disponibilidad de agua es relativa no solo a la época del año sino que su cuantificación precisa depende en gran medida de la disponibilidad de información hidrométrica. La aproximación realizada con respecto al caudal potencialmente concesionable es un estimado cauteloso y se refiere a la cantidad que se puede concesionar bajo un escenario de estiaje bajo condiciones climáticas promedio; igualmente, el índice de escasez es variable durante el año, por lo que en su nivel más bajo quizá no es lo más representativo.

Con este fin, se establece una propuesta de ordenamiento del territorio de la microcuenca con base en la localización de las zonas productoras y de consumo en el contexto territorial de microcuencas, como elemento articulador de los resultados del censo de usuarios del recurso hídrico que se realizó en la zona.

12. CONCLUSIONES

La microcuenca La Pila, cuenca del río Pasto; como fuente abastecedora de los corregimientos de Cabrera, San Fernando y Buesaquillo en expansión urbana, y dicha microcuenca aporta agua a un acueducto de Pasto, se la evaluó en disponibilidad de agua, oferta hídrica, para satisfacer la demanda generada por las actividades socioeconómicas de la población y determinar el índice de escasez permitiendo establecer un umbral crítico de presión sobre el recurso hídrico. Se concluye que:

La oferta hídrica total es de: $0.5913 \text{ m}^3/\text{seg}$, relacionada por el mapa raster de escurrimiento total el cual fue convertido de lámina de agua a metros cúbicos.

La oferta hídrica neta es de: $3803241,6 \text{ m}^3 / \text{año}$, cantidad de agua que ofrece la microcuenca La Pila, para satisfacer la demanda por actividades socioeconómicas.

La demanda hídrica total es de: $1214897,12 \text{ m}^3 / \text{año}$, resultado particular para la microcuenca la Pila, que incluye los usos doméstico, servicio, pecuario y agrícola.

La mayor demanda está representada en el sector agrícola con el 70,4%, seguido del consumo doméstico con 27,26%, el sector servicios con 1,95%. Todos los demás sectores requieren el 1,95% del total de la demanda de agua en la microcuenca La Pila.

El índice de escasez para la microcuenca La Pila es de 31,9% encontrándose en el rango MEDIO según el umbral crítico de presión; donde es necesario el ordenamiento de la oferta como de la demanda, se debe de priorizar usos, proteger los ecosistemas acuáticos, y realizar inversiones para mejorar la eficiencia del recurso hídrico.

13. RECOMENDACIONES

Al convertirse la valoración del recurso hídrico en una herramienta de planificación con claridad para administrar y ordenar eficientemente el recurso, es recomendable:

Establecer control del uso del agua para la agricultura; en el riego de cebolla por ser este el que representa alta demanda en la microcuenca.

Evaluar el uso actual de las concesiones de agua asignadas en la microcuenca y tomar los correctivos pertinentes.

Adelantar proyectos de recuperación, conservación y protección de las zonas altas de recarga hídrica y franjas protectoras en las corrientes hídricas de la microcuenca.

Promover procesos de educación ambiental, el uso eficiente y ahorro del agua, en la población de la microcuenca.

BIBLIOGRAFÍA

- CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 388 de 1997. Ibagué. 1997. 123 p.
- CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. Índice de Escasez de agua Superficial Cuenca del Río Pasto. Pasto, 2008. 257 p.
- CORMAGDALENA, IDEAM, IGAC, IGN FRANCE. Nomenclatura Corine Land Cover, Colombia. Bogotá. p. 45
- CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Pasto. "Renace río Pasto". Pasto, Nariño. 2008. 296 p.
- FUNDACIÓN SOCIAL PLAN DE VIDA. Cabrera Corregimiento Saludable Planeación y Gestión Participativa del desarrollo Integral Local 2007-2023. Alcaldía Municipal de Pasto. Pasto. 2007. 25 p.
- GARCÍA, M. El Agua. El Medio Ambiente en Colombia. España. 1997.118 p.
- GONZALO RIVERA Hebert, DOMINGUEZ CALLE Efraín, MARIN RAMIREZ Rodrigo, VENEGAS Raquel. Metodología Para el Cálculo de Índice de Escasez de Agua Superficial. Instituto de Hidrología, Metereología y estudios Ambientales. Bogota D.C. 2004. 30 p.
- MAVDT, IDEAM. Informe Anual Sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia. 2008. 131p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984. Bogota D.E.1984. 79 p.
- MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 155 de 2004. Bogotá D.C. 2004. 9 p.
- MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución Número 0865. Bogotá. 2004. 32 p.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Dotación neta mínima y máxima (Artículo 67) Bogotá. Noviembre. 2000.
- UNESCO. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo, Uruguay. 1982. 60 p.