

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 5
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-04-19
		Página 1 de 8

21.1

FECHA	
--------------	--

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Extensión Facatativá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo de Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Sánchez Salamanca	Johan David	1.073.174.911
Herrera Colomba	Camila Alexandra	1.073.176.239

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

 UDEC UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 5
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-04-19
		Página 2 de 8

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Bedoya Ríos	Diego Fernando

TÍTULO DEL DOCUMENTO
EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL A PARTIR DE UN ANÁLISIS OFERTA REAL- DEMANDA EN EL MUNICIPIO DE MADRID-CUNDINAMARCA.

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO AMBIENTAL

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
2021	123 pág.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 5
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-04-19
		Página 3 de 8

DESCRPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1. Caudal ecológico	Ecological flow
2. Microcuenca del río Subachoque	Subachoque river micro-basin
3. Demanda hídrica	Water demand
4. Disponibilidad del recurso hídrico	Availability of the water resource
5. Oferta hídrica	Hydric supply
6. Potencial hídrico	Water potential

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

La evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico brinda información base para la gestión y administración de las fuentes hídricas, lo que garantiza el cubrimiento de las necesidades de la población o de las actividades económicas y productivas. El objetivo de esta investigación es evaluar el potencial hídrico superficial de la microcuenca del río Subachoque en Madrid, para ello se utilizó información proveniente de diferentes actores oficiales y repositorios de información académica; con los datos recolectados se realizó un análisis oferta real-demanda, determinando la Demanda Hídrica actual del municipio de Madrid que es de $3,12 \text{ m}^3/\text{s}$ de la cual el 90% está destinada al sector agropecuario, el caudal ecológico cuyo resultado es de $0,315 \text{ m}^3/\text{s}$ y la Oferta Hídrica Total Disponible de la microcuenca cuyo total final es $5,27 \text{ m}^3/\text{s}$ y comparando estos datos bajo un condicional de balance hídrico a través del tiempo, en el cual, se indicó que en el año en el que la demanda superará la oferta hídrica de la microcuenca del río Subachoque ya no sería capaz de suplir las necesidades hídricas del municipio, de esta manera se estableció que la microcuenca del río Subachoque tiene un potencial hídrico de explotación durante un lapso de 65 años suponiendo que el total de los sectores productivos presentes y la totalidad de sus habitantes se abastecieran del río como única fuente del recurso hídrico.

ABSTRACT:

The evaluation of the availability of the water resource provides basic information for the management and administration of the water sources, which guarantees the coverage of the needs of the population or of the economic and productive activities. The objective of this research is to evaluate the surface water potential of the Subachoque river micro-basin in Madrid, for this,

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 5
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-04-19 Página 4 de 8

information from different official actors and repositories of academic information was used; With the data collected, a real supply-demand analysis was carried out, determining the current Water Demand of the municipality of Madrid which is $3.12 \text{ m}^3/\text{s}$ of which 90% is destined to the agricultural sector, the ecological flow whose result is $0.315 \text{ m}^3/\text{s}$ and the Total Available Water Supply of the micro-basin whose final total is $5.27 \text{ m}^3/\text{s}$ and comparing these data under a conditional water balance over time, in which it was indicated that in the year in which the demand will exceed the water supply of the Subachoque river micro-basin, it would no longer be able to meet the water needs of the municipality, in this way it was established that the Subachoque river micro-basin has a water potential for exploitation during a period of 65 years assuming that the total of the productive sectors present and all of its inhabitants were supplied from the river as the only source of the water resource.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública, masiva por cualquier procedimiento, medio físico, electrónico y digital	X	

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 5
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-04-19
		Página 5 de 8

3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional con motivos de publicación, en pro de su consulta, vicivilización académica y de investigación.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, *“Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los*

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 5
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-04-19 Página 6 de 8

autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):
 Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. SI _____ NO **X** .
 En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica
- El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 5
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-04-19
		Página 7 de 8

es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 5
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-04-19
		Página 8 de 8

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. Nombre completo del trabajo.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL A PARTIR DE UN ANÁLISIS OFERTA REAL-DEMANDA EN EL MUNICIPIO DE MADRID-CUNDINAMARCA.PDF	
2.	
3.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:	
APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Herrera Colomba Camila Alexandra	
Sánchez Salamanca Johan David	

21.1-51-20

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

**EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL
A PARTIR DE UN ANÁLISIS OFERTA REAL- DEMANDA EN EL MUNICIPIO DE
MADRID- CUNDINAMARCA.**

Camila Alexandra Herrera Colomba

Johan David Sánchez Salamanca

Universidad de Cundinamarca, Extensión Facatativá

Facultad de ciencias agropecuarias

Programa de ingeniería ambiental

Facatativá, Colombia

2021

**EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO
SUPERFICIAL A PARTIR DE UN ANÁLISIS OFERTA REAL- DEMANDA EN EL
MUNICIPIO DE MADRID- CUNDINAMARCA.**

Camila Alexandra Herrera Colomba

Johan David Sánchez Salamanca

Director

Diego Fernando Bedoya Ríos

Universidad de Cundinamarca, Extensión Facatativá

Facultad de ciencias agropecuarias

Programa de ingeniería ambiental

Facatativá, Colombia

2021

Tabla de contenido

Resumen.....	8
Palabras claves:	8
Justificación.....	12
Objetivos	13
Objetivo General	13
Objetivos específicos.....	13
Marco referencial.....	14
Marco geográfico	19
Localización:	19
Marco Metodológico	22
General:	24
Unidades de observación:.....	24
Técnicas e instrumentos:	24
Tratamiento de datos:	25
Fuentes de información:	25
Determinación de la demanda hídrica actual y futura.....	25
Descripción del área de estudio:	25
Proyección poblacional.....	26
Demandas	26

Demanda doméstica.....	26
Demanda agropecuaria.	27
Demanda del sector agrícola.....	27
Demanda sector pecuario:	27
Demanda de industria y comercio.	28
Demanda institucional.	28
Demanda para fines públicos.....	29
Demanda hídrica futura:	29
Cálculo de la Oferta Hídrica Real	29
Caudal ecológico	29
Selección de los datos.....	29
Corrección de datos:	31
Caudal ecológico.	31
Generación de polígonos de Thiessen	34
Caudal ecológico real	34
Cálculo de la Oferta Hídrica Total Superficial	34
Cálculo de la Oferta Hídrica Total Disponible:.....	35
Evaluación del potencial hídrico de la microcuenca del río Balsillas.....	35
Resultados.....	35
Determinación de la demanda hídrica actual y futura.....	35

Descripción del área de estudio:	35
Aspectos Generales de la zona de estudio.	35
Clasificación climática Caldas – Lang.	35
Temperatura.	36
Precipitación.	37
Evaporación.	38
Usos del suelo:	39
Zona norte Subachoque-Madrid.	40
Zona noroccidente El Rosal-Madrid.....	40
Zona occidente Facatativá-Madrid.	42
Zona Oriental Mosquera-Madrid.....	42
Madrid.	43
Proyección de la población:.....	44
Identificación de las demandas hídricas	45
Demanda doméstica.....	45
Demanda agropecuaria	46
Demanda agrícola:	46
Demanda pecuaria:	48
Demanda Agropecuaria	49
Demanda de industria y comercio	50

Demanda institucional y para fines públicos	50
Cálculo de la demanda neta:	51
Oferta Hídrica Real:	52
Caudal ecológico:	52
Oferta hídrica total superficial (OHTS):.....	53
Oferta hídrica total disponible (OHTD):	53
Evaluación del potencial hídrico	54
Análisis.....	54
Determinación de la demanda hídrica actual y futura.....	54
Análisis área de estudio:	54
Usos del suelo:.....	57
Proyección poblacional:	58
Identificación de las demandas hídricas:	60
Demanda doméstica:.....	60
Demanda agropecuaria:	61
Demanda agrícola.	61
Demanda Pecuaria.	64
Demanda agropecuaria.	67
Demanda industrial:.....	68
Demanda Comercial:	70

Demanda Institucional y para fines públicos:.....	73
<i>Demanda Neta</i> :.....	75
Análisis Oferta Hídrica Real	78
Caudal ecológico:	79
Oferta hídrica total superficial (OHTS):.....	83
Oferta hídrica total disponible (OHTD):	¡Error! Marcador no definido.
Evaluación del potencial hídrico de la microcuenca del río Subachoque	90
Conclusiones	96
Bibliografía	¡Error! Marcador no definido.
Agradecimientos	¡Error! Marcador no definido.
Anexos	114
Años proyectados mediante el método geométrico.....	114
Identificación de la demanda neta:	115
Oferta hídrica total disponible (OHTD)	120

Resumen

La evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico brinda información base para la gestión y administración de las fuentes hídricas, lo que garantiza el cubrimiento de las necesidades de la población o de las actividades económicas y productivas. El objetivo de esta investigación es evaluar el potencial hídrico superficial de la microcuenca del río Subachoque en Madrid, para ello se utilizó información proveniente de diferentes actores oficiales y repositorios de información académica; con los datos recolectados se realizó un análisis oferta real-demanda, determinando la Demanda Hídrica actual del municipio de Madrid que es de $3,12 \text{ m}^3/\text{s}$ de la cual el 90% está destinada al sector agropecuario, el caudal ecológico cuyo resultado es de $0,315 \text{ m}^3/\text{s}$ y la Oferta Hídrica Total Disponible de la microcuenca cuyo total final es $5,27 \text{ m}^3/\text{s}$ y comparando estos datos bajo un condicional de balance hídrico a través del tiempo, en el cual, se indicó que en el año en el que la demanda superará la oferta hídrica de la microcuenca del río Subachoque ya no sería capaz de suplir las necesidades hídricas del municipio, de esta manera se estableció que la microcuenca del río Subachoque tiene un potencial hídrico de explotación durante un lapso de 65 años suponiendo que el total de los sectores productivos presentes y la totalidad de sus habitantes se abastecieran del río como única fuente del recurso hídrico.

Palabras claves: Caudal ecológico, microcuenca del río Subachoque y Balsillas, demanda hídrica, disponibilidad del recurso hídrico, oferta y potencial hídricos.

Evaluación de la Disponibilidad del Recurso Hídrico Superficial a Partir de un Análisis Oferta Real- Demanda en el Municipio de Madrid- Cundinamarca.

Según el (DANE, 2005, 2019), el municipio de Madrid Cundinamarca, para el año 2005 tenía una población de 61599 habitantes y para el 2018 de 109696 habitantes lo que se traduce en un acelerado crecimiento poblacional, esto se ve reflejado en la información suministrada por (Alcaldía de Madrid, 2020; Instituto Nacional Agropecuario, 2020), de igual manera en el desarrollo de los diferentes sectores productivos del municipio, tales como el industrial, comercial, agrícola, pecuario o institucional

Por otra parte, las fuentes de abastecimiento de agua de Madrid según el (Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, 2020; SUI, 2013, 2021), son el agua en bloque suministrada por la ciudad de Bogotá, cuatro pozos subterráneos y por último el agua procedente de la microcuenca del río Subachoque empleada en menor medida en comparación con las anteriores.

Al realizar una indagación preliminar sobre información del potencial económico y de servicios de esta fuente hídrica superficial, se evidencia que las empresas no cuentan con los datos y análisis suficientes para determinar si es posible realizar una explotación y gestión responsable del recurso.

Siendo esta la problemática, la evaluación del potencial hídrico de las fuentes hídricas superficiales, es un prerrequisito para la gestión del recurso, ya sea, con el “propósito de suministrar agua a la población, la agricultura, la industria o la producción de energía” (Aparicio Mijares et al., 2014). Por lo tanto, es una responsabilidad nacional encontrar información sobre las diferentes fuentes hídricas que pueden proveer servicios a una población.

Esta investigación se dividió en tres grandes procesos, primero, la determinación de la demanda hídrica actual y futura del municipio, donde se tomaron las demandas hídricas domésticas, industriales, comerciales, agropecuarias, institucionales y de fines públicos, segundo, se calculó el caudal ecológico, la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) y la Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD) y por último, se evaluó el potencial hídrico superficial de la microcuenca del río Subachoque, para lo cual se realizó un balance hídrico con el cumplimiento de un condicional, que especifica que en el momento en que la demanda neta del municipio supere la OHTD, el río Subachoque no podrá abastecer las necesidades de Madrid.

Uno de los antecedentes importantes tenidos en cuenta durante el proceso de investigación es la “Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá, Subcuenca del río Balsillas”(Ecoforest Ltda., 2020) en el cual se realiza una descripción total de esta subcuenca, en donde se encuentran datos correspondientes al caudal ecológico y la OHTD, además, la temática de caudales ambientales también es tratada por (Goyena, 2019) en su escrito Estimación del Caudal ecológico en la cuenca del río Subachoque, municipio de El Rosal, a partir de la generación de caudales medios utilizando el modelo agregado de tanques.

Cabe anotar que en esta investigación se evaluó el potencial hídrico superficial suponiendo un escenario en el que la microcuenca del río Subachoque abastece a la totalidad de los habitantes y a las actividades que se realizan en el municipio, no solamente al potencial hídrico con fines de explotación de la fuente para consumo humano.

Se espera que esta información se emplee en diferentes procesos investigativos y de consulta, con la finalidad de que sea útil al realizar una gestión ambiental; pues sus datos permiten generar una base para el uso racional del agua, al respetar el caudal ambiental o volumen de agua

necesario para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y las actividades socioeconómicas, explicación dada por (Casanova & Figueroa, 2015, pp.18-22). Dando valores iniciales que pueden emplear los actores involucrados en el manejo del recurso hídrico, como la comunidad, organizaciones del estado, empresas privadas, entre otros (Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación, 2011).

Teniendo en cuenta la problemática descrita anteriormente, nace la interrogante de ¿Cuál es la Oferta Hídrica Total Disponible de la microcuenca del Subachoque y durante cuánto tiempo podrá abastecer las necesidades hídricas del municipio de Madrid Cundinamarca?, es por ello por lo que el objetivo central de este trabajo de grado es evaluar la disponibilidad del recurso hídrico superficial a partir de un análisis oferta real- demanda en el municipio de Madrid, Cundinamarca.

Se espera obtener una OHTD con un valor inferior al especificado para la subcuenca del río Balsillas, puesto que la microcuenca del río Subachoque pertenece a esta, por otra parte, actualmente no hay estudios que indiquen la correlación entre la OHTD y un tiempo mínimo de abastecimiento, motivo por el cual, se establece un mínimo de 25 años de potencial hídrico de esta microcuenca pensando en la viabilidad económica de cualquier proyecto aplicado enfocado en recurso hídrico superficial en esta zona.

Justificación

Las fuentes hídricas constituyen un pilar central en el desarrollo socioeconómico y cultural de un territorio, es por ello que generar y obtener información detallada se convierte en una necesidad para cualquier campo del conocimiento, esto implica desarrollar procesos investigativos que sirvan como herramientas de análisis, evaluación, seguimiento y gestión del recurso hídrico y así poder generar un correcto aprovechamiento, maximizando el bienestar social y económico equitativo, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

Con la finalidad de promover lo anteriormente expuesto, se espera contribuir por medio de esta evaluación con los objetivos de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos y el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, que propende “la implementación de programas y proyectos de carácter regional que promuevan la recuperación y preservación de las fuentes hídricas, entre ellas la microcuenca del río Subachoque” (Muñoz, 2006^a,p.13).

Esta investigación aportará al municipio de Madrid Cundinamarca, datos del potencial hídrico superficial de la microcuenca del río Subachoque, que servirán como material de apoyo informativo para futuras investigaciones, planes de gestión, políticas o demás herramientas administrativas para este territorio.

Los resultados de esta evaluación son relevantes para la ingeniería ambiental, pues trata uno de los ejes esenciales de su campo de acción que es el recurso hídrico, el cual tiene influencia sobre factores sociales, económicos, políticos, ambientales, entre otros.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la disponibilidad del recurso hídrico superficial a partir de un análisis oferta real-Demanda en el municipio de Madrid- Cundinamarca.

Objetivos específicos

Determinar la demanda hídrica actual y futura del municipio de Madrid- Cundinamarca.

Calcular la oferta hídrica real, mediante un análisis de caudal ecológico y disponibilidad en la microcuenca del río Subachoque en Madrid -Cundinamarca.

Evaluar el potencial hídrico de la microcuenca del río Subachoque de acuerdo con el análisis de oferta real -Demanda.

Marco referencial

La gestión del agua ha sido una temática ampliamente tratada desde inicios de la década de los setenta, la importancia de la misma ha sido trabajada por (Pérez A, 2013) en su libro Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la Gestión Integral del Recurso Hídrico, donde hace un recorrido por la historia y los pactos que se realizaron a nivel global, con una sección enfocada en la zona de América Latina y el Caribe.

Hace una explicación sobre los elementos necesarios para una propuesta de gestión integral del agua, así como los criterios de priorización al determinar estrategias en áreas de trabajo adecuadas con una planificación basada en un manejo ecosistémico.

(Perez A, 2013), aclara que las cuencas hidrográficas, han sido reconocidas internacionalmente como las unidades territoriales de planificación más adecuadas para la gestión integrada de los recursos hídricos, pues cumplen un rol crítico en el funcionamiento natural de la tierra, realizando un análisis sobre la situación en América Latina y el Caribe, partiendo de los servicios ecosistémicos, sus características y amenazas.

Este punto de vista es apoyado por (Aguirre, 2011), quien agrega en su publicación La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos como se realiza la delimitación y codificación de cuencas, con la finalidad de generar un ordenamiento por medio de metodologías y expone como la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) contribuye con el manejo de humedales, agua y ecosistemas; esta Unión promueve iniciativas como: reglamentación y gestión de los caudales ambientales y conformó el portal abierto de la red global de caudales ambientales.

La temática de caudales ambientales también es tratada por (Goyena, 2019), en su tesis Estimación del caudal ecológico en la cuenca del microcuenca Subachoque, municipio El Rosal, a partir de la generación de caudales medios utilizando el modelo agregado de tanques, que tiene una metodología adecuada en similitud para la realización de este estudio, en cuanto al cálculo del caudal ecológico y dará continuidad a los datos establecidos para el microcuenca Subachoque.

Los autores anteriormente mencionados, enfocan sus estudios a una temática central; de igual forma, (Schuartz Pacheco Mestrinho et al., 2005), definen los recursos hídricos como: toda fuente de agua esencial para el funcionamiento de los ecosistemas y las diferentes actividades humanas. Su uso depende de la variación de la disponibilidad, pues este recurso no se reparte equitativamente a lo largo del planeta, lo que lleva a las sociedades a obtener agua superficial, subterránea o de formas no convencionales.

Esta obtención de recurso debe cumplir con ciertos volúmenes necesarios para el funcionamiento general de la dinámica ambiental, algunos de los valores más importantes para tener en cuenta es la Oferta hídrica total superficial (OHTS) y la Oferta hídrica disponible, que utiliza el valor de caudal ecológico que está definido en el Decreto 3930 de 2010 como:

Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2015).

(Goyena, 2019) también especifica que el caudal ambiental o caudal ecológico que ha sido empleado en múltiples disciplinas como la hidrología o la hidráulica y se puede calcular

mediante diferentes metodologías, una de ellas es el uso de estaciones limnimétricas que trabaja directamente con caudales en intervalos mensuales, a diferencia de otros modelos que utilizan caudales diarios, y permite identificar la escorrentía con base en la función de producción y transferencia.

Según (Cabra Soto & Corradine Moyano, 2014), este procedimiento incluye la aplicación del método *Q95*, tiene este nombre porque se refiere básicamente al caudal que tiene un 95% de posibilidad de ser igualado o superado a escala anual y corresponde al caudal igualado o excedido el 95% del tiempo a partir de la construcción de una curva de duración de caudales medios diarios. En la literatura se sugiere realizarlo a partir de la totalidad del registro histórico diario o mes a mes.

El método mencionado anteriormente, en conjunto con los datos de caudales y ofertas hídricas, deben basarse en la población que estadísticamente es definida por (López, 2004), como el conjunto de objetos del cual se desea conocer algo en una investigación, esta puede estar constituida por cualquier objeto, persona u animal, tomando este concepto para población humana, sería un colectivo de individuos definidos por una característica o razón especial o en común, comúnmente esta característica es tomada como el espacio geográfico que este conjunto de individuos ocupa.

La población dentro de un espacio no es constante, ya que dentro de este ocurren fenómenos de migración, inmigración, nacimientos y fallecimientos, lo que hace que el número de personas en ese lugar puntual fluctúe, la comprensión de este comportamiento poblacional es importante pues permite tomar las decisiones coherentes frente a la administración de los recursos necesarios para suplir las diferentes necesidades de esta, es por ello que las entidades

administrativas de los territorios llevan a cabo diferentes estudios para entender todas las variables que afectan el crecimiento poblacional.

Uno de los principales estudios realizados es la proyección poblacional, que sirve como herramienta para la planificación económica y social (Rincón, 1984). Se toma como referencia para realizar la proyección de la población el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), adoptado por la resolución 0330 de 2017 que actualmente se encuentra vigente, específicamente el título B, literal B.2 de este reglamento, que indica los procedimientos necesarios para realizar la estimación de la población.

Tabla 1. *Asignación del Nivel de Complejidad*

Nivel de la complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	<2,500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12,501 a 60,000	Media
Alto	>60,000	Alta

(Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2003)

Como primera medida, se asignan los niveles de complejidad que se observan en la tabla 1, estos niveles se utilizan de acuerdo con la población en la zona objeto de estudio y la capacidad económica que tienen los habitantes, además, constituye uno de los pasos más importantes para poder determinar cuál es el mejor método de proyección.

Tabla 2. *Métodos de Cálculo Permitidos Según el Nivel de Complejidad del Sistema.*

Método / Complejidad	Medio				Características
	Bajo	Medio	alto	Alto	
Aritmético	X	X			Recomendado para poblaciones que aumenten a una tasa de crecimiento aritmético, en municipios pequeños y de poco desarrollo, poca actividad económica o zonas de crecimiento casi nulas
Geométrico	X	X	X	X	Útil en poblaciones con actividad económica importante, nivel de desarrollo apreciable y áreas de expansión importantes
Wappaus	X	X	X	X	Es poco común pero sus resultados son confiables, tiene condicional de aplicación, representada en su tasa de crecimiento i la cual debe ser inferior a 200
Exponencial	X	X	X		Requiere por lo menos tres censos para determinar el promedio de la tasa de crecimiento

(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

Estos métodos de proyección poblacional (tabla 2) permiten determinar en diferentes espacios temporales el comportamiento de variables como la demanda hídrica, que es definida en el Estudio Nacional de Agua como:

La sustracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades y los requerimientos de consumo humano, producción sectorial y demandas esenciales de los ecosistemas existentes sean intervenidos o no. La extracción y, por ende, la utilización del recurso implica sustracción, alteración, desviación o retención temporal del recurso hídrico, incluidos en este los sistemas de almacenamiento que limitan el aprovechamiento para usos compartidos u otros usos excluyentes. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2015).

Para determinar la demanda hídrica, es necesario obtener los datos de dotación neta máxima, definida como “la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades

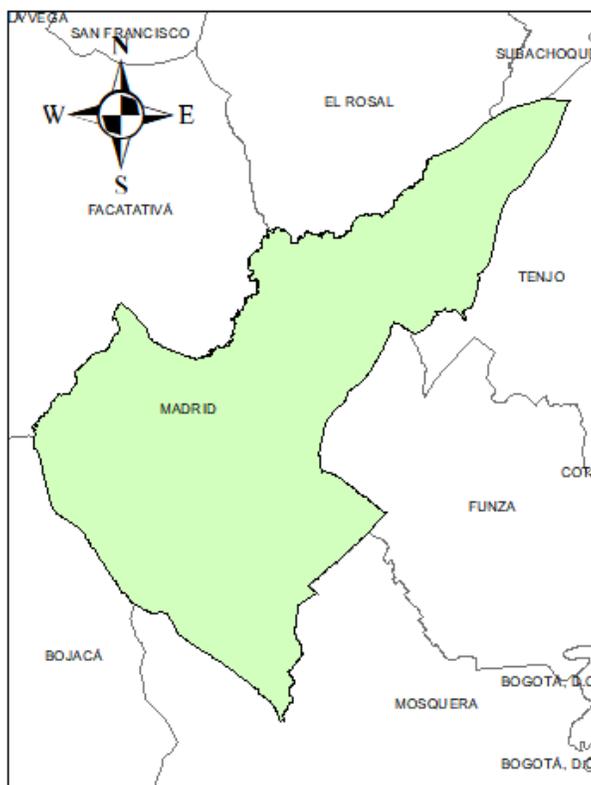
básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto”(Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2014), que variará dependiendo de diferentes factores como temperatura o altitud. Con los datos de dotación neta se llega al valor de dotación bruta, que básicamente otorga el valor real, cuantificado en conjunto con las pérdidas técnicas máximas admisibles.

Marco geográfico

Localización:

El área de estudio se encuentra en la microcuenca del río Subachoque, específicamente a su recorrido dentro de Madrid Cundinamarca, zona que pertenece a la microcuenca del microcuenca Subachoque este, a su vez, corresponde a la subcuenca del Balsillas y la cuenca media del río Bogotá; administrativamente hablando, el municipio de Madrid, pertenece a la Sabana de Occidente, una de las 15 provincias del departamento de Cundinamarca, esta área colinda al norte con el municipio de El Rosal, al occidente con el municipio de Facatativá, al sur occidente con el municipio de Bojacá, al sur con el municipio de Mosquera, al sur oriente con el municipio de Funza, al oriente con el municipio de Tenjo y al Nororiental con Subachoque. (Ilustración 1).

Ilustración 1 *Imagen de Madrid Cundinamarca y los municipios colindantes.*

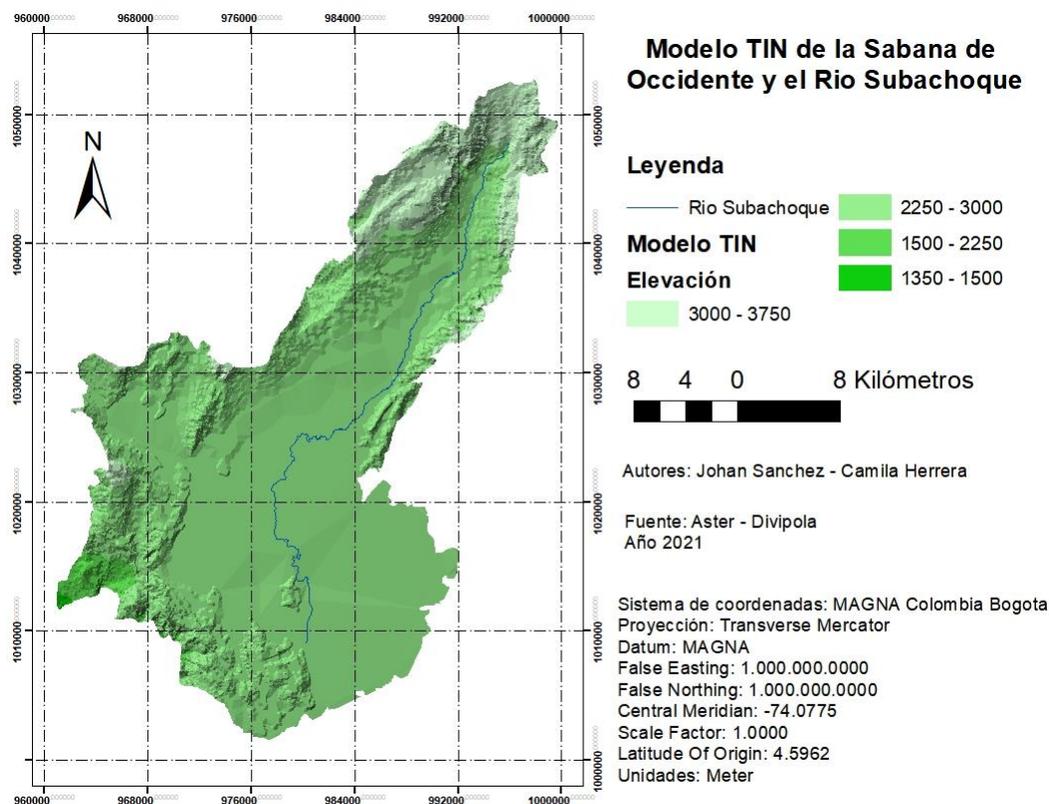


La microcuenca del río Subachoque nace en la zona nororiental del municipio de Subachoque, a una altitud aproximada a los 3000 msnm y se une con la microcuenca del río Bojacá en el municipio de Mosquera a una altitud de 2600 msnm, punto en el cual se origina la subcuenca del río Balsillas, es con este nombre como se le conoce a la subcuenca que enmarca esta zona (Ilustración 2).

La subcuenca del río Balsillas se encuentra ubicada en la cuenca media del río Bogotá, esta comprende en total 18 municipios del departamento de Cundinamarca y se compone por dos grandes ríos tributarios que son la microcuenca del río Subachoque y la microcuenca del río Bojacá (Ecoforest,2020).

Ilustración 2 Modelo TIN de la Sabana de Occidente junto con la microcuenca del río

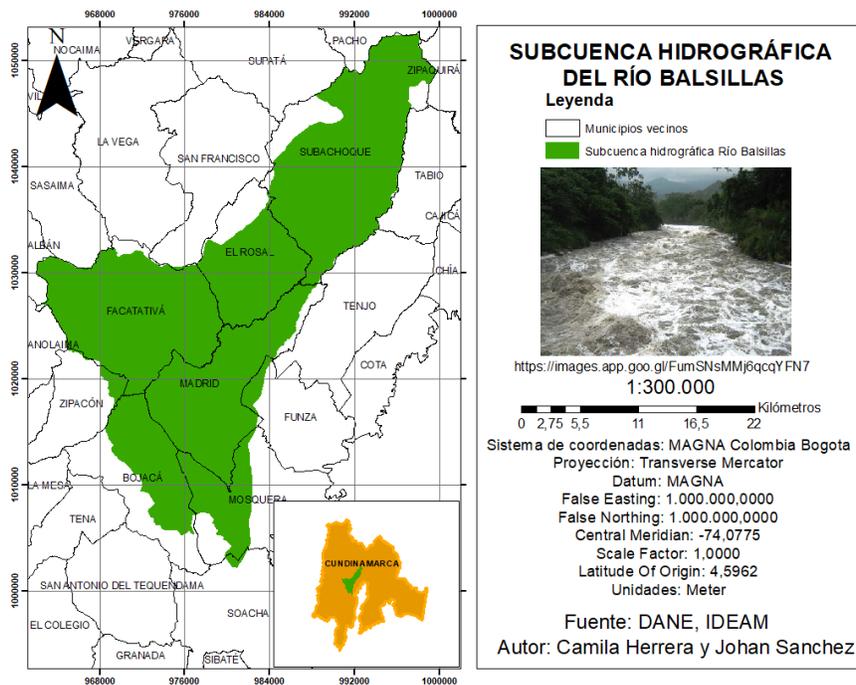
Subachoque



(Elaboración propia)

De manera más puntual, la microcuenca del río Subachoque influye directamente sobre cinco de los ocho municipios de la Sabana de Occidente, pues este nace en el municipio de Subachoque, pasa por los municipios de El Rosal, Facatativá, Madrid y finalmente desemboca en la microcuenca del río Bojacá en los territorios del municipio de Mosquera, recorrido que tiene una longitud de 58,8 Km. Este no tiene contacto con Funza, Zipacón y Bojacá, más una pequeña parte de estos municipios si tienen parte de su territorio dentro de la microcuenca como se logra observar en la ilustración 3.

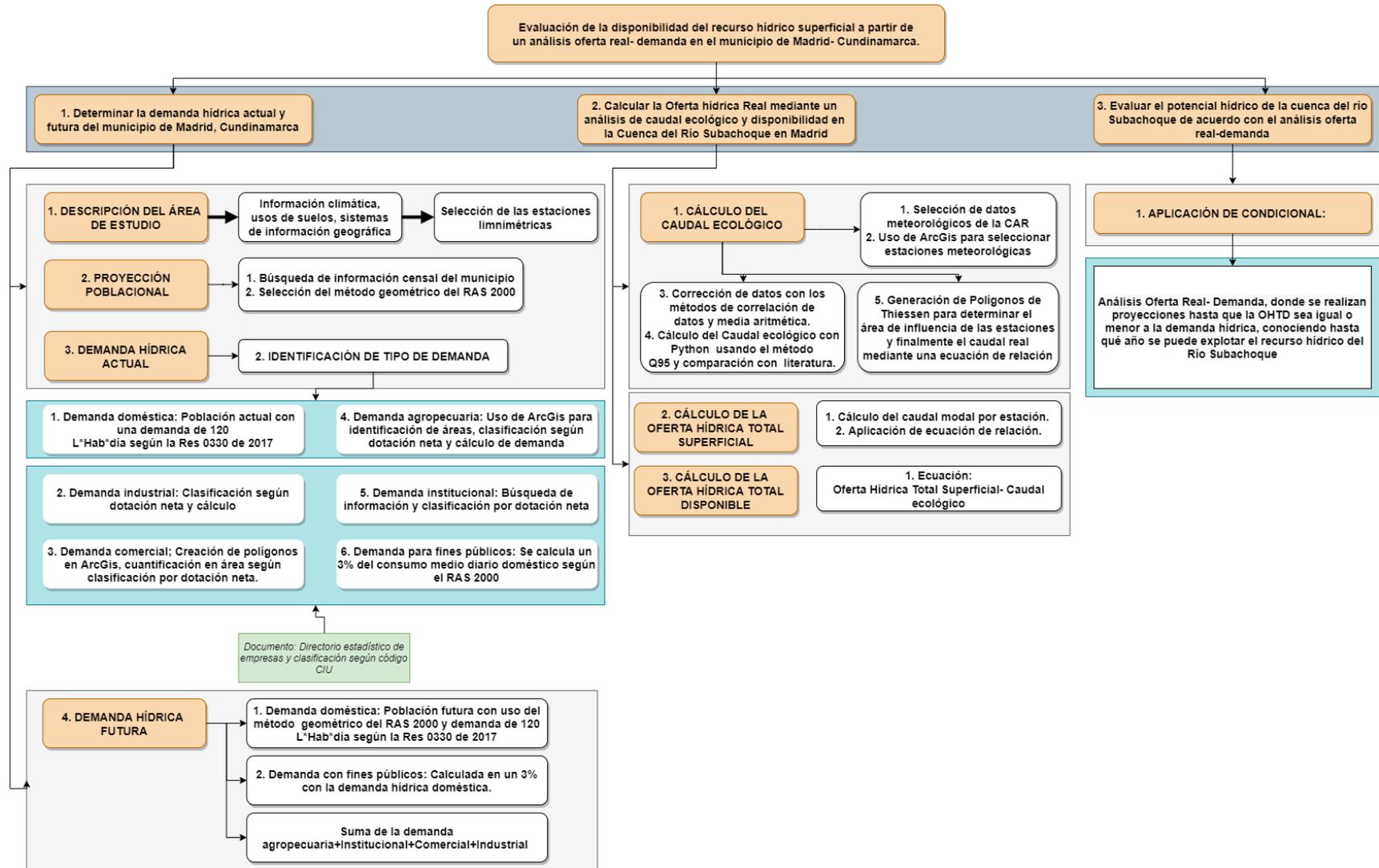
Ilustración 3 Subcuenca hidrográfica del río Balsillas.



Marco Metodológico

El proceso metodológico se dividió en tres fases, primero, la determinación de demandas hídricas actuales y futuras, segundo; el cálculo de la Oferta Hídrica Total Superficial, caudal ecológico y Oferta Hídrica total Disponible y por último la evaluación de la disponibilidad, la ilustración 4 resume todo este proceso.

Ilustración 4 Mapa conceptual metodológico del proceso llevado a cabo durante el proyecto.



General:

Esta propuesta de investigación se caracteriza por ser no experimental, pues no presenta características experimentales, ya que durante la ejecución del estudio no se manipulará ninguna variable que condicione el fenómeno a estudiar, por lo tanto, será descriptiva, pues los datos obtenidos describirán el estado actual y el potencial a futuro del recurso.

Desde un enfoque temporal la investigación es de tipo longitudinal y retrospectiva, pues se analizan intervalos de tiempo y el comportamiento de los datos a través de estos, además, la recolección de la información se hace posterior a la ocurrencia del fenómeno; por último, el enfoque seleccionado es cuantitativo, ya que los datos recolectados serán sometidos a análisis estadísticos con el fin de describir puntualmente el escenario.

Unidades de observación:

Las unidades por observar son: i) la microcuenca del río Subachoque, del cual se obtendrá su potencial hídrico calculando la oferta hídrica total superficial (OHTS), el caudal ecológico y la oferta hídrica disponible (OHTD); ii) la población del municipio de Madrid Cundinamarca, de la cual se obtendrá la población actual, proyecciones poblacionales y sus respectivas demandas hídricas.

Técnicas e instrumentos:

Para este proyecto de investigación, se emplearon datos de caudales medios mensuales de estaciones limnimétricas con corrección estadística de donde se obtuvo la Oferta hídrica total superficial, una vez identificados los valores se utilizó el lenguaje de programación Python en el que se usó el método Q_{95} , con el que se determinó el caudal ecológico de la microcuenca del río Subachoque y con ello la oferta hídrica total disponible, además, se aplicaron las metodologías de proyección poblacional dispuestas en el RAS; específicamente el método aritmético,

geométrico y exponencial; de entre estos se seleccionó el geométrico que arrojó la población futura del municipio determinando la demanda hídrica.

Tratamiento de datos:

Se hizo por medio de un tratamiento estadístico, utilizando el método Q_{95} , junto con la herramienta de Microsoft Excel.

Fuentes de información:

Se hizo uso de información secundaria, correspondiente a los datos limnimétricos, específicamente caudales máximos, mínimos y medios mensuales que fueron tomados de las estaciones de monitoreo de la CAR, en cuanto a la información poblacional, fue colectada en bases de datos del DANE principalmente, además, con la finalidad de disminuir el error en las estimaciones poblacionales, se tomaron fuentes como el SISBEN, datos de usuarios de la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Madrid (EAAAM), bases de datos de la universidad de Cundinamarca, otras universidades y la alcaldía municipal.

Determinación de la demanda hídrica actual y futura

Descripción del área de estudio:

Se recolectó información de fuentes como la CAR, el IDEAM y de los Planes de Ordenamiento Territorial del municipio que tienen contacto con el recorrido de la microcuenca del río Subachoque, de allí se tomaron los datos de temperatura, clasificación climática, evaporación y los usos del suelo que tienen las zonas más próximas del río.

Además, se hizo uso de sistemas de información geográfica, que facilitan la identificación de coberturas vegetales, modelos de elevación geográfica y curvas de nivel, por último, esta descripción de la zona también permitió seleccionar las estaciones limnimétricas

más acordes para llevar a cabo la investigación, ya que se identificó su posición geográfica dentro del territorio y con ello se seleccionó de acuerdo con la proximidad del río y con la zona de estudio y su influencia.

Proyección poblacional.

En primera instancia se recolectó la información censal del municipio de Madrid a través de la plataforma del DANE, y se emplearon los datos poblacionales del año 1985, 1993, 2015 y 2018, ya que los “datos de los censos de 1928, 1938, 1951 y 1973 no pueden ser utilizados debido a su bajo grado de precisión en muchos de los datos obtenidos para diferentes municipios”(Espinel Ortiz, 2013)

Una vez recolectada la información se realizaron las proyecciones poblacionales con los diferentes métodos del RAS, se seleccionó el método geométrico, ya que demuestra una mayor adaptación con el comportamiento creciente que muestra el territorio, este tiene aplicación para poblaciones con nivel de complejidad alto y “es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera apreciable desarrollo” (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2014).

Demandas

Demanda doméstica.

Para obtener la demanda doméstica para cada uno de los años proyectados se utilizó una cantidad de 120 l/habitante*día, debido a que según la resolución 0330 de 2017 se establece esta cantidad para alturas mayores a los 2000 m.s.n.m, como es el caso del municipio analizado, esta se multiplicó por el número de habitantes por cada año dando así un caudal en L/Día.

Demanda agropecuaria.

Demanda del sector agrícola.

La demanda agrícola en Madrid se obtiene descargando una imagen satelital de Sentinel 2, trabajada en ArcGIS donde se manipulan las combinaciones de bandas para encontrar el uso de suelo, se creó un shapefile de puntos de muestra para zonas urbanas, áreas forestales, invernaderos, zonas agrícolas y pastos manejados.

Posteriormente se estableció un archivo de muestreo con la herramienta muestreo supervisado permitiendo obtener un ráster con colores representativos, que se transformó a polígonos, lo que permitió el cálculo de las áreas. Con las áreas identificadas se hace una clasificación en cultivos varios, invernaderos y pastos manejados con su respectiva dotación hídrica, calculando la demanda neta agrícola.

La Secretaria de Desarrollo Económico y Ambiente de Madrid, no cuenta actualmente con información censal o estadística del sector agropecuario, por lo cual, se emplearon datos del censo nacional agropecuario 2014 y el Plan Municipal de Desarrollo del periodo 2020-2023, para corroborar la confiabilidad de los resultados obtenidos en ArcGIS.

Demanda sector pecuario:

El primer paso realizado para obtener la demanda pecuaria fue la consulta de los censos bovinos, porcinos, equinos, ovinos, caprinos y aves del 2020, disponibles en el Instituto Colombiano Agropecuario, en donde se procedió a seleccionar los datos correspondientes al municipio de Madrid Cundinamarca, por otra parte, la investigación realizada por (Gamboa De La Torre & Sierra Casas, 2018) sirvió como guía para las dotaciones hídricas que se le asignaron a cada sector pecuario anteriormente mencionado, esto permitió el cálculo de la demanda neta.

Finalmente se realizó la sumatoria de la demanda del sector agrícola y del sector pecuario para obtener la demanda neta agropecuaria.

Además, se debió adquirir información sobre las diferentes instituciones, establecimientos comerciales e industriales, del directorio estadístico de empresas que “está clasificado con base en las actividades económicas registradas por las empresas” (DANE, 2021).

Posteriormente se tomaron todas las empresas registradas en el directorio, que estuvieran registradas en Madrid según el código CIIU y se les añadió la actividad económica correspondiente, esto con la finalidad de hacer una clasificación en industria, comercio, institucional y fines públicos.

Demanda de industria y comercio.

La demanda industrial se obtiene a partir de la clasificación del código CIIU, dándole una dotación neta dependiendo de su actividad, ya sea química, textil, siderúrgica, alimenticia, papel y celulosa, etc. La demanda comercial sigue el mismo proceso solo que requiere el área ocupada, por lo que se empleó creación de polígonos en ArcGis a partir de una imagen satelital para cuantificar los metros cuadrados aproximados según la clasificación en oficinas, locales comerciales, mercados y clubes deportivos y servicios privados, dándole a cada uno la dotación neta correspondiente.

Demanda institucional.

En el caso del hospital municipal, se manejan 33 camas (E.S.E. Hospital Santa Matilde, 2020) en el caso de los hoteles y colegios los datos se obtuvieron del directorio de empresas y el número de estudiantes total en el municipio se obtuvo del Plan de Desarrollo Madrid Crece Contigo 2020-2024 (Alcaldía de Madrid, 2020).

Demanda para fines públicos.

Debido a que no existen datos específicos del gasto en “servicios de aseo, riego de jardines y parques públicos, fuentes públicas y demás, se estimó un 3% del consumo medio diario doméstico” (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2014) tal y como lo establece el RAS.

A continuación, se debe seguir el procedimiento del Título B del RAS para calcular el caudal medio, máximo diario y horario de la demanda del agua con cada uno de los años proyectados.

Demanda hídrica futura:

Para la determinación de la demanda hídrica futura se utilizó la demanda doméstica, en la que se empleó la dotación neta por altitud avalada en la resolución 0330 del 2017 junto con la proyección poblacional, de esta depende el sector para fines públicos añadió, cuya demanda equivales al 3% de la demanda hídrica doméstica; una vez obtenidos estos dos valores se les sumó las demandas hídricas de los demás sectores.

Cálculo de la Oferta Hídrica Real

Caudal ecológico

Selección de los datos.

Inicialmente se descargaron datos de caudal mínimo, medio y máximo de las estaciones limnimétricas de la zona con las que cuenta la CAR, posteriormente se utilizó ArcGis para ayudar a visualizar las estaciones más útiles y su cercanía espacial con la microcuenca del río Subachoque (ilustración 5 y tabla 3). Una vez finalizado este proceso, se seleccionó una línea de tiempo de datos desde 1992 hasta 2017, debido a que todas las estaciones tienen datos desde esta

fecha y a pesar de la existencia de datos anteriores en las opciones seleccionadas más antiguas estas presentan largos periodos de tiempo sin información, lo que aumenta el margen de error.

Ilustración 5 Ubicación espacial de las estaciones limnimétricas de la microcuenca del río Subachoque, municipio de Madrid, Cundinamarca

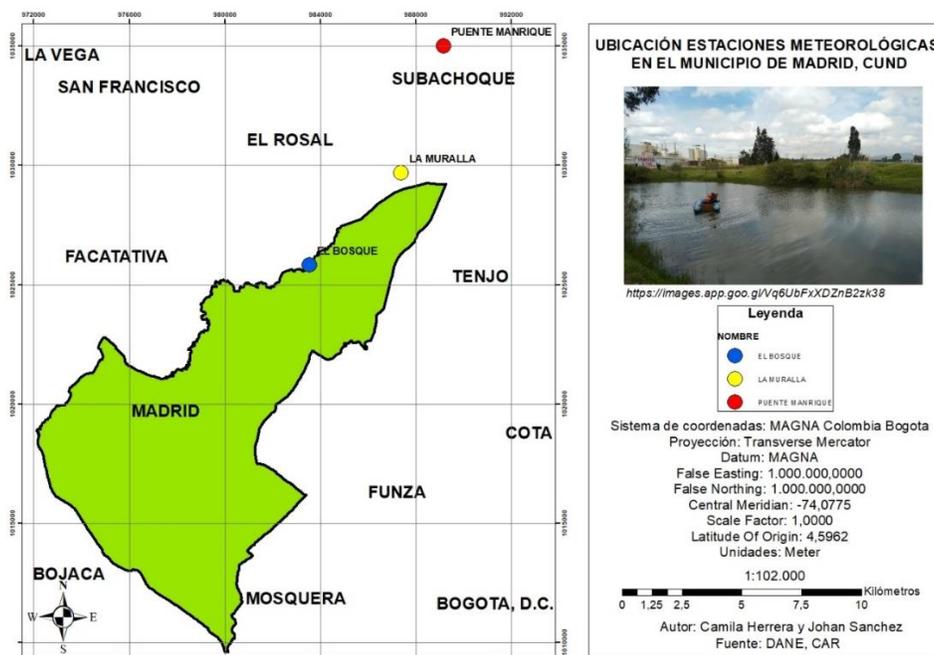


Tabla 3 Estaciones Limnimétricas Seleccionadas para la obtención de la Oferta hídrica total superficial

Código	Estación Limnimétrica	Categoría	Longitud	Latitud	Elevación
2120845	El Bosque	Convencional Limnimétrica	-74.22577	4.8298	2592
2120758	La Muralla	Convencional Limnimétrica	-74.19122	4.8646	2622
2120800	Puente Manrique	Convencional Limnimétrica	-74.175333	4.9127	2639

Corrección de datos:

Con la finalidad de completar los datos faltantes se utilizó el método de correlación de datos con una R superior en todos los casos al 0,7, después del uso de esta metodología se empleó la media aritmética para completar los datos restantes debido a que no representaban una cantidad significativa.

Caudal ecológico.

Una vez hallados los caudales medios de las estaciones se procedió a calcular el caudal ecológico, este resultado se obtiene mediante el lenguaje de programación Python (Ilustración 6) en donde se aplica un análisis estadístico por medio del método Q95 que se refiere al “caudal que tiene un 95% de posibilidad de ser igualado o superado a escala anual” que permitió identificar el caudal ecológico. A continuación, se muestra el procedimiento en Python para encontrar los resultados de una de las estaciones meteorológicas.

Ilustración 6 *Proceso llevado a cabo en Python para encontrar el caudal ecológico de las estaciones limnimétricas.*

```
In [2]: %pylab inline
import pandas as pd

ElBosque = pd.read_csv('Datos_El_Bosque.csv', index_col=0, parse_dates=True)

Populating the interactive namespace from numpy and matplotlib
```

```
In [3]: ElBosque.head()
```

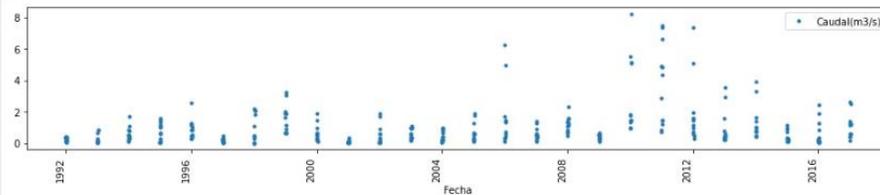
```
Out[3]:
```

Fecha	Caudal(m ³ /s)
1992-01-01	0.4100
1992-01-02	0.2840
1992-01-03	0.1110
1992-01-04	0.3480
1992-01-05	0.3762

```
In [4]: ElBosque.tail()
```

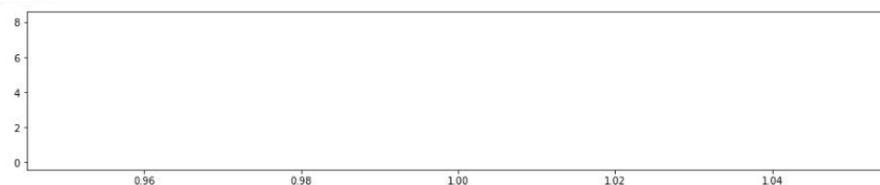
```
Out[4]:
```

Fecha	Caudal(m ³ /s)
2017-01-08	0.424
2017-01-09	0.593
2017-01-10	1.182
2017-01-11	2.530
2017-01-12	1.236



```
In [8]: ElBosquemensuales = DatosbosqueFilter.groupby(lambda m: m.month)
```

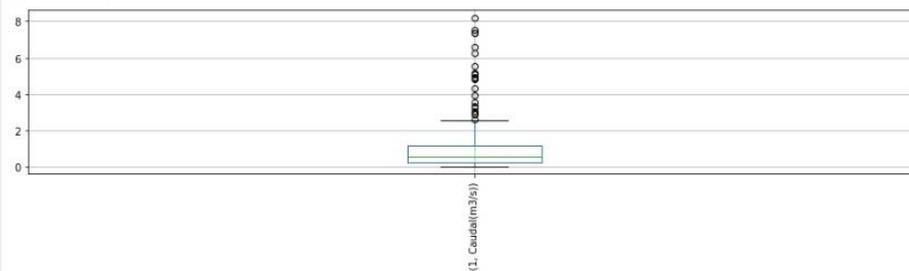
```
In [9]: import matplotlib.pyplot as plt
plt.plot(ElBosquemensuales.max())
plt.plot(ElBosquemensuales.mean())
plt.plot(ElBosquemensuales.median())
plt.plot(ElBosquemensuales.min())
figsize(16,3)
plt.show()
```



```
Out[9]: (<module 'matplotlib.pyplot' from 'C:\\Users\\sanch\\anaconda3\\lib\\site-packages\\matplotlib\\pyplot.py'>,
None)
```

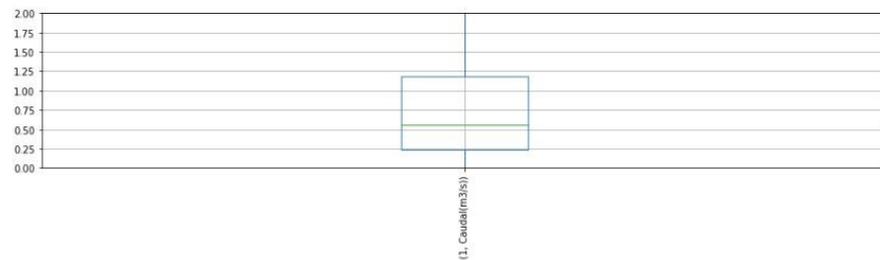
```
In [10]: ElBosquemensuales.boxplot(subplots=False, return_type='dict');
xticks(rotation='vertical')
```

```
Out[10]: (array([1]), [Text(1, 0, '(1, Caudal(m3/s))')])
```



```
In [11]: ElBosquemensuales.boxplot(subplots=False, return_type='dict');
xticks(rotation='vertical')
ylim(0,2)
```

```
Out[11]: (0.0, 2.0)
```



```
In [12]: ElBosquemensuales.quantile(0.05)
```

```
Out[12]:
Caudal(m3/s)
1    0.03475
```

```
In [13]: ElBosquemensuales.quantile(0.1)
```

```
Out[13]:
Caudal(m3/s)
1    0.0785
```

Generación de polígonos de Thiessen

Una vez obtenido este caudal ecológico se sometieron las estaciones meteorológicas a un proceso en ArcGis para realizar una selección del área de influencia mediante polígonos de Thiessen, para identificar el área de cobertura en el territorio de las estaciones seleccionadas se empleó la ecuación 1 para calcular el caudal ecológico corregido:

Caudal ecológico real

Ecuación 1 *Relación para la Generación de Caudales*

$$(Q_1 * A_2)/A_1 = Q_2$$

Donde: Q1: Caudal ecológico de la estación meteorológica (m^3/s)

Q2: Caudal ecológico total en la subcuenca río Balsillas (m^3/s), A1: Área de la estación meteorológica

A2: Área total de la subcuenca (Ecoforest Ltda., 2020)

Una vez aplicada esta ecuación, se identificaron los tres caudales ambientales a los que se les dio un ponderado porcentual según el área de influencia de la estación, obteniendo un valor total de caudal ecológico, posteriormente se hizo una comparación con la literatura que confirmó la veracidad de la información.

Cálculo de la Oferta Hídrica Total Superficial

Se identificó la Oferta hídrica superficial del río Balsillas empleando la ecuación 1, pero reemplazando los caudales ecológicos por la moda de los caudales medios mensuales y finalmente se identificó la Oferta hídrica Total Disponible mediante la ecuación 2.

Cálculo de la Oferta Hídrica Total Disponible:

Ecuación 2 Operación Realizada para Obtener la OHTD en la Microcuenca del Río

Subachoque

$$\begin{aligned} & \text{Oferta hídrica superficial (m}^3 \text{ * s)} - \text{Caudal ecológico (m}^3 \text{ * s)} \\ & = \text{Oferta Hídrica Total Disponible(OHTD)(m}^3 \text{ * s)} \end{aligned}$$

Evaluación del potencial hídrico de la microcuenca del río Balsillas

Una vez realizado este proceso y como paso final, se tomaron cada una de las demandas hídricas por cada año proyectado en comparación con la OHTD del río Subachoque y se hizo un análisis oferta- demanda, hasta que se cumpliera la condición inicial: que la OHTD fuese igual o menor a la demanda hídrica, en este punto se detuvo la proyección, ya que hasta ese año se podrá explotar el recurso hídrico disponible en el río.

Resultados

Determinación de la demanda hídrica actual y futura

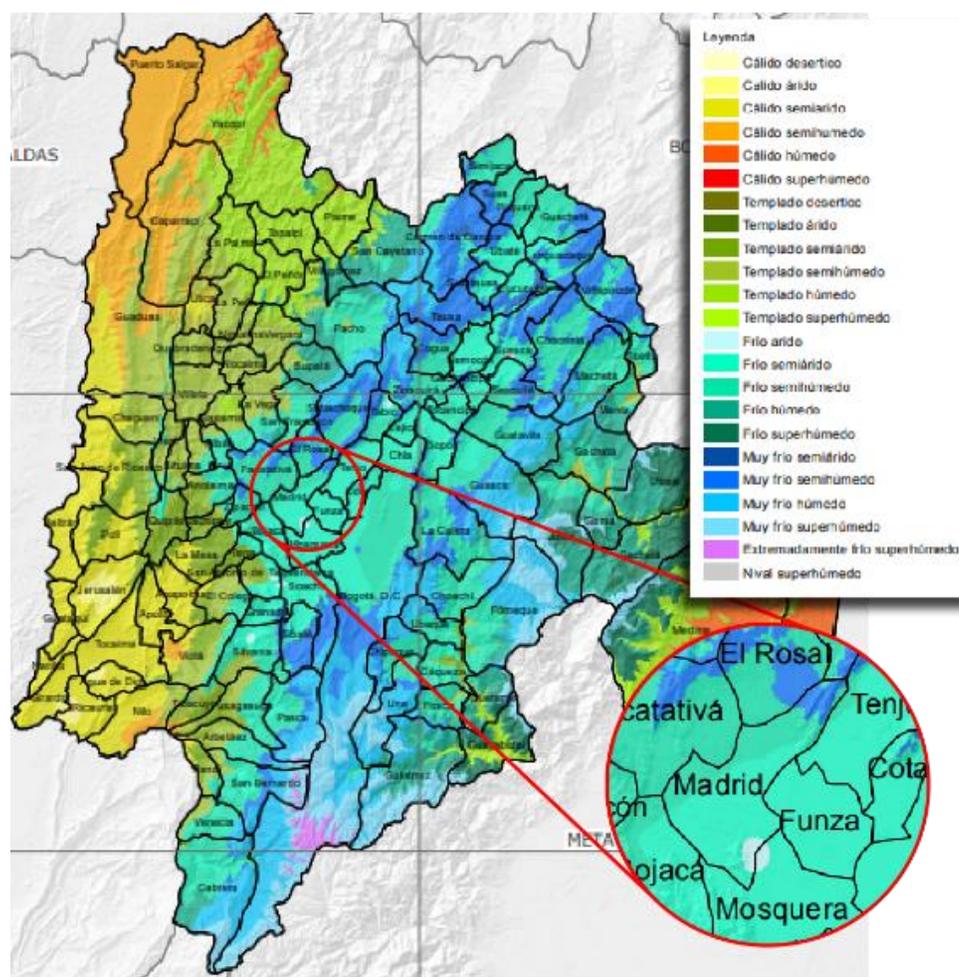
Descripción del área de estudio:

Aspectos Generales de la zona de estudio.

Clasificación climática Caldas – Lang.

Según el atlas climatológico del IDEAM, en su análisis por departamentos en el cual se encuentra la clasificación climática Caldas- Lang del departamento de Cundinamarca, se logra identificar que, en su mayoría, el municipio de Madrid presenta un clima frío semiárido, con algunos sectores como el costado occidental que es frío – semihúmedo, la zona del cerro es frío árido, y el norte del municipio en su parte más alta es muy frío semihúmedo. (Ilustración 7).

Ilustración 7 Clasificación climática Caldas – Lang

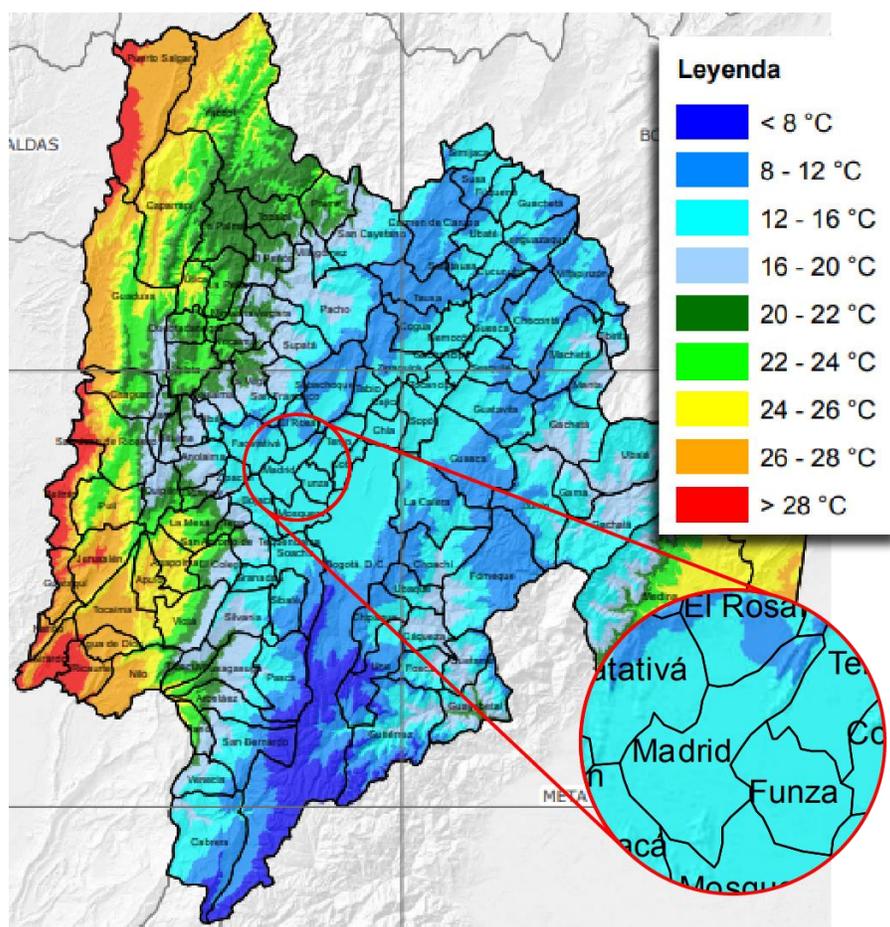


(IDEAM, 2019)

Temperatura.

Según el IDEAM en su atlas climatológico interactivo, el municipio de Madrid en su mayoría presenta temperaturas medias de 12 a 16 grados, solamente en su parte nororiental presenta temperaturas más bajas de ocho a 12 grados como se logra observar en la ilustración 8.

Ilustración 8 Mapa de temperatura de Cundinamarca

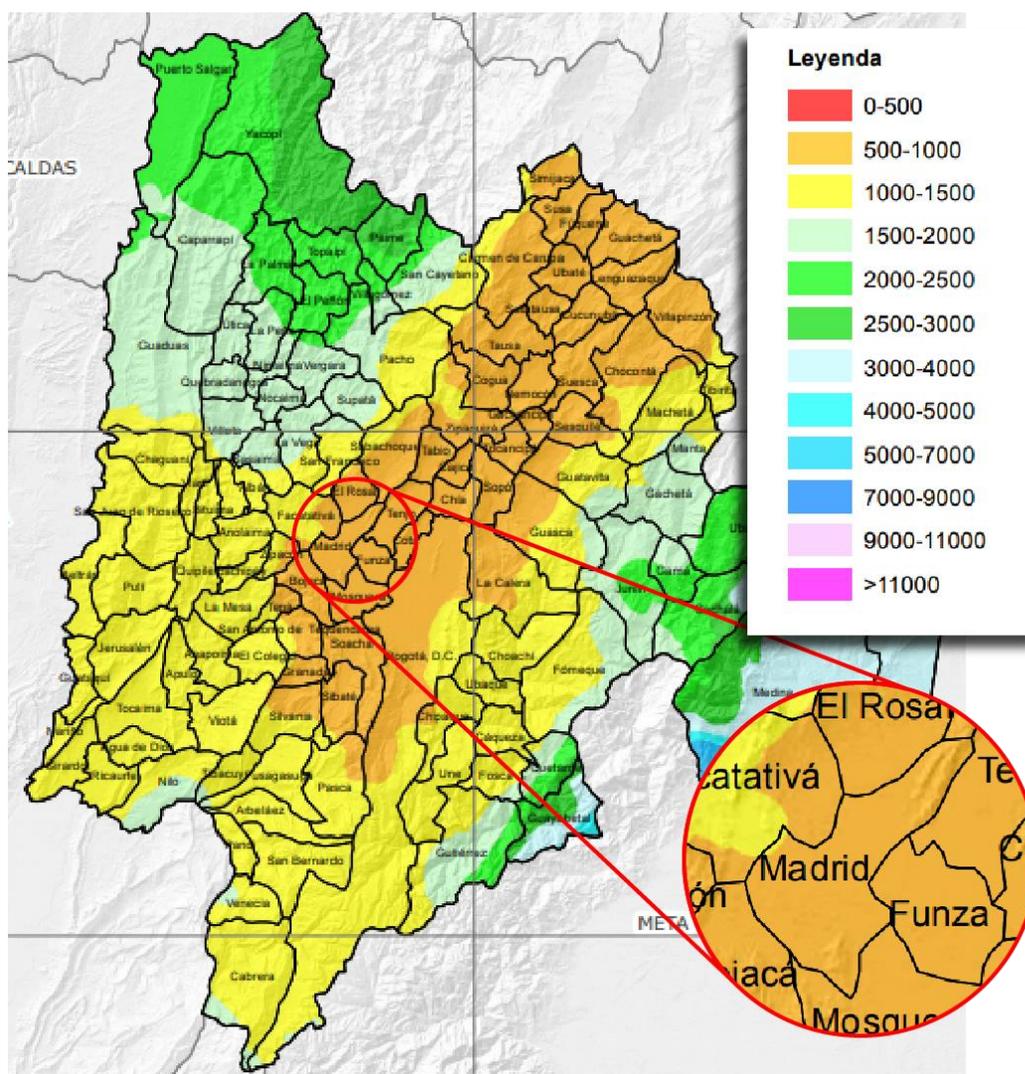


(IDEAM, 2019)

Precipitación.

Según el atlas climatológico interactivo disponible en el portal del IDEAM (ilustración 9), Madrid se encuentra ubicado en una zona donde se presentan precipitaciones de 500 a 1000 mm anuales, tan solo una pequeña parte al occidente del municipio presenta una pequeña variación de precipitación.

Ilustración 9 Precipitación en Madrid Cundinamarca

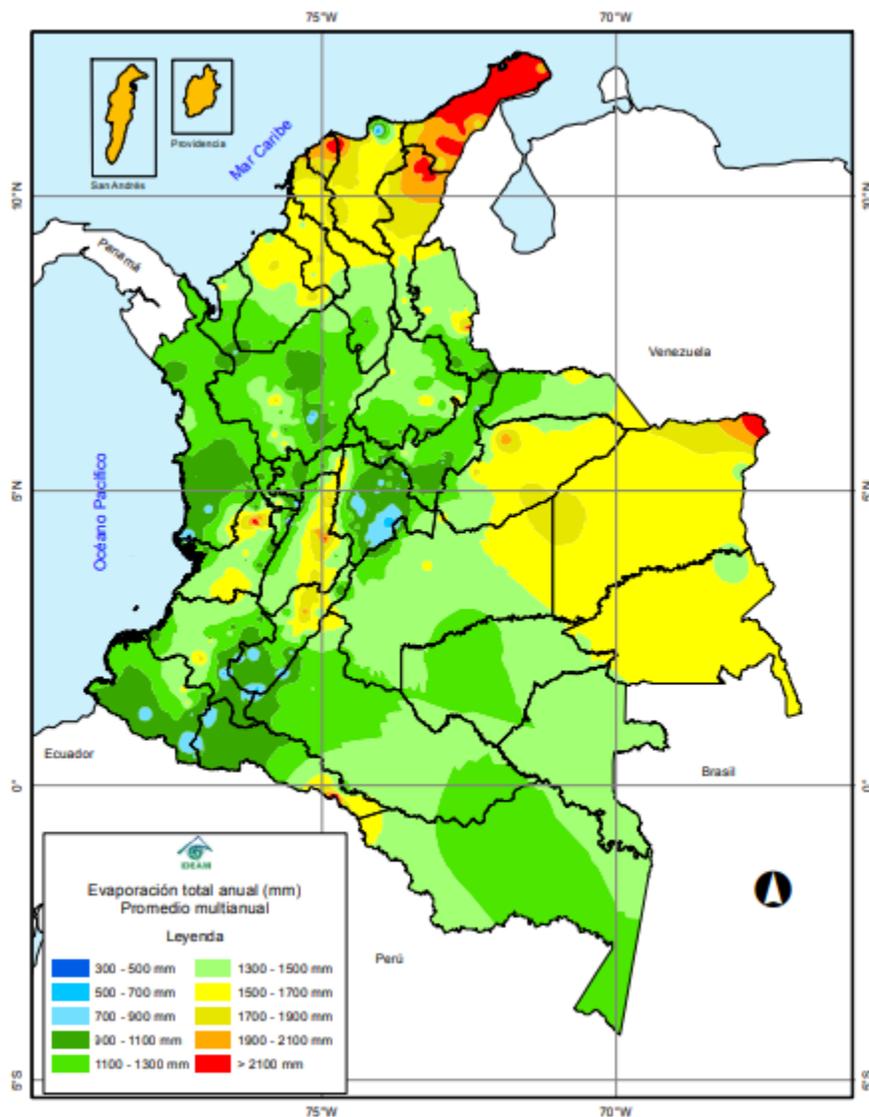


(IDEAM, 2019)

Evaporación.

La evaporación se tomó como la evaporación total anual en un promedio multianual, este corresponde al mapa de evaporación total anual del IDEAM de Colombia (Ilustración 10), donde se logra identificar que el sector donde se encuentra ubicada gran parte de la Sabana de Occidente y de Cundinamarca presenta una evaporación de 900 mm a 1100 mm anuales.

Ilustración 10 Mapa nacional de seguimiento de la evaporación total anual en mm tomados como un promedio multianual



Usos del suelo:

En las proximidades de la microcuenca del río Subachoque, se identificó que los municipios de Subachoque, El Rosal, Facatativá y Mosquera comparten el uso del recurso hídrico con el municipio de Madrid, en donde se denota usos de suelo un poco diferentes dependiendo de la zona de estudio y su vecino municipal.

Zona norte Subachoque-Madrid.

Para esta zona, el municipio de Subachoque se declaró como zona de recuperación y de cuidado ambiental todos los predios circundantes a la microcuenca del río Subachoque (Alcaldía Municipal de Subachoque, 2000) más en la actualidad tiene un fuerte uso agro pastoril, por parte del municipio de Madrid, donde además, se presenta una fuerte presión por usos agrícolas, ya que el río es usado como fuente del recurso hídrico, todo este fenómeno se presenta en las veredas la Cuesta, la Punta y Puente Piedra del municipio de Madrid, sector en el cual también se encuentra una zona declarada como área de protección ambiental que es el Valle del Abra, lo cual dará paso a un cambio gradual del uso del suelo en esta parte de la zona de estudio (Muñoz, 2006a).

Zona noroccidente El Rosal-Madrid.

La microcuenca del río Subachoque se ubica en la parte sur oriental del municipio del Rosal, siendo este el límite que colinda con los municipios de Subachoque y Madrid, en concreto pasa por las veredas de Puente del Rosal, San Antonio, el Rodeo y Chingafrio; los suelos alrededor del río pertenecen al área agropecuaria intensiva (Alcaldía Municipal El Rosal, 2011).

Según el (Alcaldía Municipal El Rosal, 2015) el área agropecuaria intensiva y semi - Intensiva comprende los suelos de alta capacidad agrológica, en los cuales se pueden implantar sistemas de riego y drenaje caracterizados por un relieve plano, sin erosión, suelos profundos y sin peligro de inundación.

El uso principal de esta área es el agropecuario mecanizado o altamente tecnificado, sistemas agrosilvopastoriles y forestal protector productor. Se debe dedicar como mínimo el 10% del predio a uso forestal protector para promover la formación de la malla ambiental. Se deberá respetar la zona de ronda de las fuentes y corrientes de agua (Alcaldía Municipal El Rosal, 2015).

En los usos compatibles está la infraestructura para construcción de distritos de adecuación de tierras, viviendas del propietario y/o trabajadores, y establecimientos institucionales. Los usos condicionados o restringidos son las granjas avícolas, cunícolas y porcícolas, dotacionales e infraestructura de servicios públicos y centros vacacionales. Están prohibidos los usos con fines urbanos, suburbanos e industriales.

En los objetivos ambientales del municipio se encuentra el gestionar la recuperación en el largo plazo de las funciones de los ecosistemas compartidos con los municipios fronterizos, según este objetivo, los gobiernos municipales deben trazar estrategias con el municipio de Subachoque para recuperar y proteger los nacimientos de la microcuenca presente en este lugar, acciones de manejo integral de la cuenca del río y las microcuencas pertenecientes a este y desarrollar un trabajo de conservación y regeneración de las condiciones ecológicas deterioradas de la microcuenca del río Subachoque; con el municipio de Madrid se debe utilizar al río como unidad de planificación para actividades y obras físicas que abarquen varias propiedades o parcelas con el fin de generar espacio con acciones benéficas y así poder mejorar significativamente el aprovechamiento y cuidado del recurso hídrico, abriendo la puerta a la posibilidad de implementar varias plantas de tratamiento de residuos líquidos para el cuidado del río (Alcadía Municipal El Rosal, 2015).

- La recuperación morfológica del cauce del río es otro de los objetivos ambientales, esto le permitirá a El Rosal proteger las zonas aledañas al río y así aprovechar de una mejor manera el potencial de uso para zonas de riego, lo cual atraerá la inversión ganadera en algunas de las zonas rurales del municipio, además, se traza un proyecto de creación de corredores biológicos que conecte la franja de protección del río con las reservas forestales de las formaciones montañosas.

- Respecto a la amenaza de inundación el EOT aclara que contemplara las acciones contenidas en el POMCA de la Cuenca media del río Bogotá, respecto de la microcuenca del río Subachoque.
- Para las acciones estratégicas de reducción de la amenaza se deben implementar acciones y medidas sobre gestión para el manejo de la microcuenca del río Subachoque
- Los sectores aledaños a la microcuenca del río que estén en el área de jurisdicción del municipio el Rosal serán áreas de protección de infraestructura de servicios públicos y protección ambiental, en estas zonas no se podrán generar nuevos desarrollos ni podrán crecer los desarrollos actuales y se iniciara un cambio gradual del uso del suelo hacia el uso de protección pactado en el EOT
- El municipio debe generar las acciones y estrategias necesarias para que al cabo de la vigencia del EOT todas las áreas de protección tengan el uso de suelo determinado en el acuerdo.

Zona occidente Facativá-Madrid.

Por parte del municipio de Facativá, no se encontró ningún manejo especial para este cuerpo de agua, esto es debido a que la zona que recorre al río no es de gran longitud dentro de este municipio, más los usos del suelo que allí se encontraron en su mayoría son de agricultura, con posibles zonas de expansión de área urbana (Secretaría de Urbanismo Facativá, 2018).

Zona Oriental Mosquera-Madrid.

Una de las estrategias encontradas dentro del PBOT de Mosquera es que se diseñara una malla verde ambiental, este elemento busca conectar el anillo urbano con lugares simbólicos, culturales, históricos y zonas de cuidado ambiental. Dentro de esta estrategia se establece una

zona de preservación del sistema hídrico, que son, básicamente, todas las rondas o sectores próximos a las fuentes de agua, ya sean humedales, lagunas, ríos, entre otros, estas zonas tienen una franja de 50 metros, de los cuales los primeros 30 metros serán destinados a zonas de protección neta y los 20 restantes serán zonas de amortiguación (Alcaldía Municipal de Mosquera, 2013).

Estas zonas no podrán ser edificables, ni urbanizables, ni como relleno, debe ser arborizada con especies nativas de la zona y se prohíbe cualquier uso diferente al uso forestal protector.

La microcuenca del río Subachoque está ubicado en la parte noroccidental del municipio de Mosquera, este cuerpo de agua delimita una parte del territorio de Mosquera con el del municipio de Madrid, recorre un aproximado de 4,76 km de distancia dentro de territorio mosqueruno (Secretaría de Desarrollo Urbanístico y Ordenamiento Territorial, 2006), que en su totalidad pasa por el borde del sector de serrezuela, uno de los sectores menos urbanizados dentro del casco urbano del municipio.

En la actualidad alrededor del río se encuentran zonas rurales, suburbanas, urbanas, de expansión y zonas de protección comprendiendo en totalidad el mosaico de posibles usos en toda su trayectoria (Alcaldía Municipal de Mosquera, 2013). Finalmente, este río desemboca en la microcuenca del río Bojacá un poco más abajo de la Laguna de La Herrera.

Madrid.

Empezando por la zona norte del área de estudio en la vereda Puente Piedra y la Cuesta, se identifican usos del suelo para zonas agropecuarias semimecanizada y semintensiva y una

zona de restauración morfológica (Secretaría de Desarrollo Urbanístico y Ordenamiento Territorial, 2006).

En las veredas las Mercedes, los Árboles, vereda Chauta, Laguna Larga, y Santa Cruz, se observa de manera mayoritaria un uso de zona agropecuaria mecanizada intensiva, con pequeños sectores identificados como zonas agropecuarias de implantación de industria (Secretaría de Desarrollo Urbanístico y Ordenamiento Territorial, 2006).

Finalmente, en la zona sur se encuentra el casco urbano, una pequeña zona de agropecuaria semimecanizada y semintensiva, un área dedicada exclusivamente a la planta de tratamiento de aguas residuales de Madrid 1 y una zona de agricultura intensiva y mecanizada que ocupa la mayoría de la zona sur del municipio (Muñoz, 2006b).

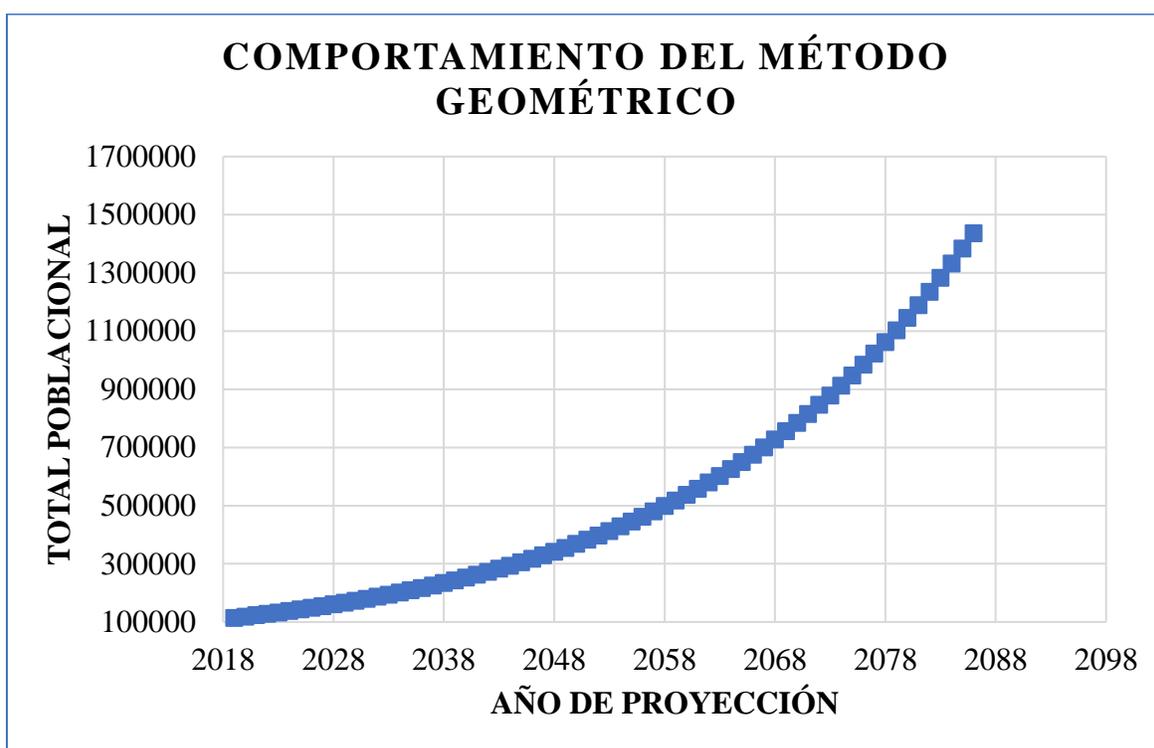
En cuanto al PBOT del municipio, se encuentra que las estrategias para el cuidado de este cuerpo de agua se enfocan en la adecuación de los predios cercanos a este en un radio de treinta metros como zonas de reforestación y amortiguación, con el fin de implementar un anillo verde que conecte las zonas de importancia ambiental del municipio, por otra parte se está diseñando una planta de tratamiento de aguas residuales, con el fin de poner en regla los parámetros fisicoquímicos del río antes de desembocar en la microcuenca del río Bojacá y dar origen a la subcuenca del río Balsillas (Muñoz, 2006a).

Proyección de la población:

Tabla 4 *Censos Según el DANE del Municipio de Madrid, Tasa de Crecimiento por el Método Geométrico y Promedio de la Tasa Utilizado Durante la Proyección de la Población.*

Año	Población de Madrid	Tasa de crecimiento [r]	Promedio
1964	11850	0,0319	0,0463
1993	39212	0,0384	
2005	61599	0,0454	
2018	109696	-	

Ilustración 11 Comportamiento del método geométrico y proyección poblacional de Madrid del 2019 hasta el 2105.



Identificación de las demandas hídricas

Demanda doméstica

Tabla 5 Demanda Doméstica de la Población de Madrid Cundinamarca en 2020

Proyección DANE	Cantidad
Población de Madrid 2020	118317
Resolución 0330 del 2017 Dotación altura >2000 m.s.n.m	120
Dotación neta L/Habitante/Día	14198000,98
Dotación Bruta o demanda (L/Habitante*Día)	14198000,73

Nota: La dotación neta es el consumo neto resultado de la población por la dotación asignada, la dotación bruta o demanda incluye un factor de corrección por pérdidas, por lo que el valor entre estas dos dotaciones varía en las cifras decimales.

Demanda agropecuaria

Demanda agrícola:

Ilustración 12 Mapa de identificación de áreas y sus principales usos de suelo en el municipio de Madrid Cundinamarca.

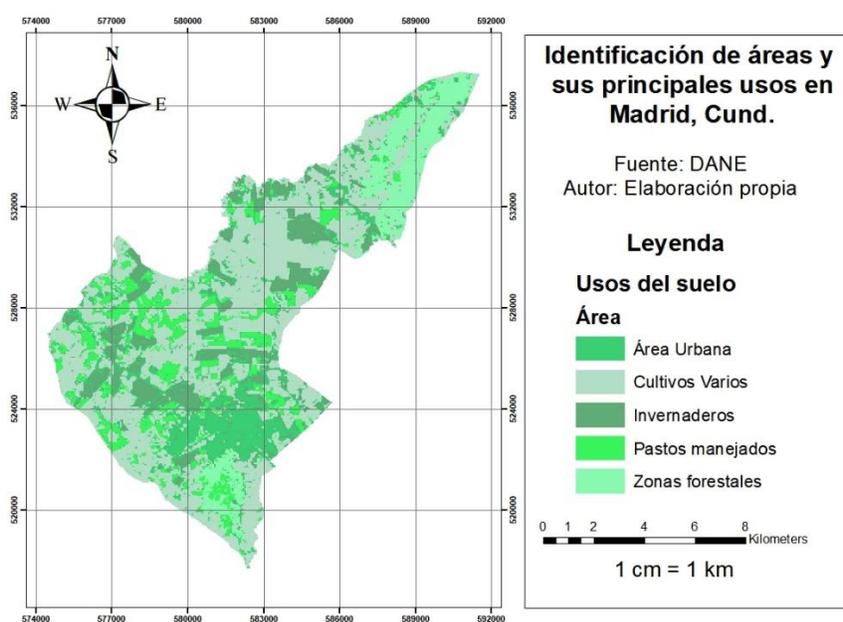


Tabla 6 Perímetros y áreas de cada uso identificado en el municipio de Madrid.

Id	Uso	Perímetro área	Área Has
1	Urbano	52376457.43	1763.48
2	Invernaderos	41579244.97	1610.8
3	Área Forestal	3721336.148	1235.15
4	Cultivos varios	28102648.09	5698.23
5	Pastos manejados	11936283.92	1528.72
Área Total			11836.38

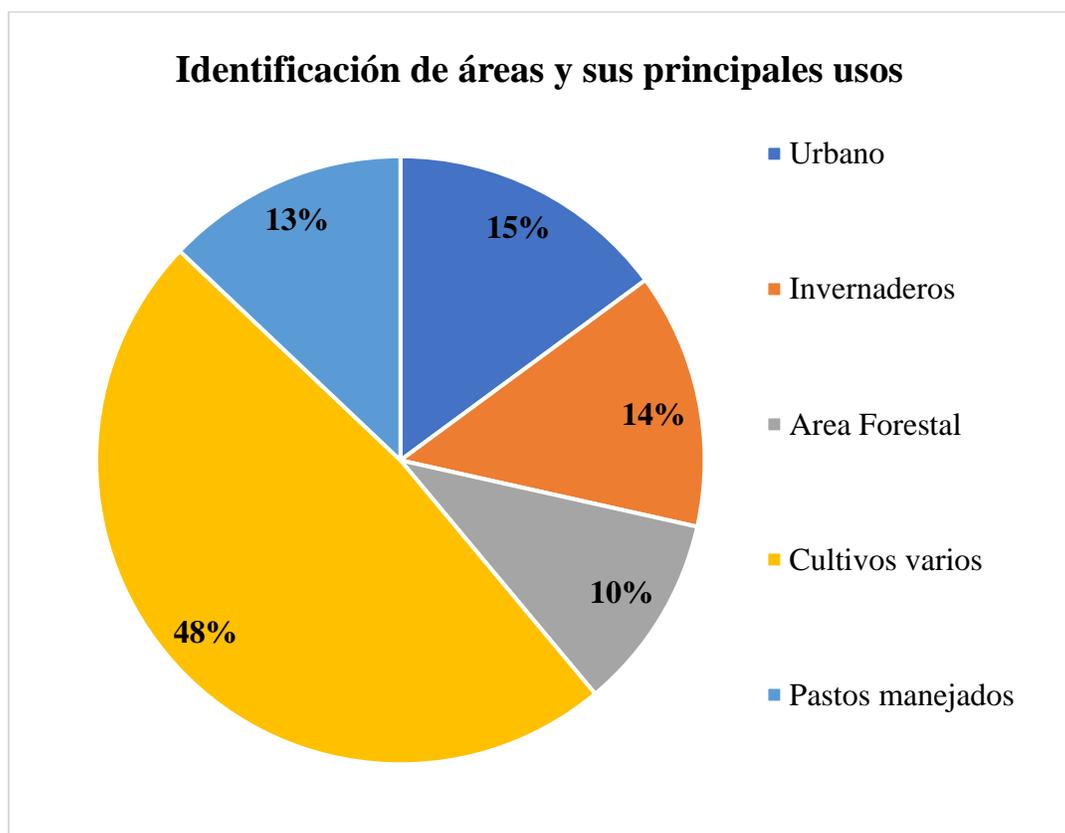
Ilustración 13 Distribución porcentual de la cobertura de áreas según su uso en Madrid Cundinamarca.

Tabla 7 Demanda agrícola total e individual de los usos de suelo

Demanda hídrica agrícola			
Uso	Área Ha	Dotación L/S*Ha	L/s
Invernaderos	1610,8	0,6	966,48
Cultivos	5698,23	0,1	569,823
Pastos manejados	1528,72	0,8	1222,976
			2759,279

Demanda pecuaria:**Tabla 8.** Demanda del sector bovino.

Demanda del sector bovino			
Tipo	Cantidad	L/día	Total
Tenera	3406	10	3416
Hembras y machos <2 años	3249	45	3294
Hembras y machos >2 años	8435	50	8485
Total	15090	105	15195

Tabla 9. Demanda del sector porcino

Demanda subsector Porcino			
Tipo	Cantidad	L/día	Total
Lechones	127	4	508
Levante	295	8	2360
Ceba	205	10	2050
Hembra	9	20	180
Hembras con cría	77	25	1925
Macho reproductor	3	6,5	19,5

Total	716	73,5	7042,5
-------	-----	------	--------

Tabla 10. *Demanda del sector avícola*

Demanda sector avícola			
Tipo	Cantidad	L/día	Total
Aves de engorde	60000	30	1800000
Aves de postura	39000	26	1014000
Aves reproductoras	42000	15	630000
Total	141000	71	3444000

Tabla 11. *Demanda del sector equino, ovino y caprino*

Demanda Subsectores equino, ovino y caprino			
Tipo	Cantidad	L/día	Total
Equinos	1250	63	78750
Ovinos	11	7	77
Caprinos	250	11,2	2800
Total			81627

Demanda Agropecuaria**Tabla 12** *Demanda Hídrica del sector agropecuario.*

Demanda Agropecuaria	
Demanda Agrícola	238401705.6
Demanda Pecuaria	3547864.50
Demanda Agropecuaria	241949570.10

Demanda de industria y comercio

Tabla 13 *Clasificación de los sectores de la demanda comercial, área ocupada, dotación neta y clasificación final.*

Tipo	Cantidad	Porcentaje	Área ocupada m2	Unidad	Dotacion Neta	Clasificación	Total	
Financiero, asesoría, apoyo	262	37,5%	6647,8	L/m2/día	20	Oficinas	132957	L/Día
	32	4,6%	811,9	L/m2/día	6	Locales comerciales	4871,69	L/Día
Electrodomesticos y hogar	116	16,6%	2943,3	L/m2/día	6	Locales comerciales	17659,9	L/Día
Comidas, bebidas y alcohol	43	6,2%	1091,1	L/Local/día o m2	100	Mercados	4300	L/Día
Recreación, deporte y ludica	40	5,7%	1014,9	L/ Asistente/ día	150	Clubes deportivos y servicios privados	150000	L/Día
Calzado, textiles y ropa	10	1,4%	253,7	L/m2/día	6	Locales comerciales	1522,4	L/Día
Autos, transporte y carga	74	10,6%	1877,6	L/m2/día	6	Locales comerciales	11265,8	L/Día
Materias primas y construcción	55	7,9%	1395,5	L/m2/día	6	Locales comerciales	8373,22	L/Día
Actividades especializadas	21	3,0%	532,8	L/m2/día	20	Oficinas	10656,8	L/Día
	46	6,6%	1167,2	L/m2/día	6	Locales comerciales	7003,06	L/Día
Total	699	1	17736				348609	L/Día

Tipo	Cantidad de establecimientos	Área ocupada m2	Área por establecimiento	Personas por establecimiento	Asistentes	Clasificación	Dotación Neta	L/Día
Recreación, deporte y ludica	40	1014,93562	25,37339056	25	1000	Clubes deportivos y servicios privados	150	150000

Tabla 14 *Demanda industrial y comercial en L/día.*

Resultados de sectores	Cantidad en L/Día
Industria	12374225,0
Comercio	498609,4

Demanda institucional y para fines públicos

Tabla 15 *Demanda Educativa, en Hospitales y para Fines Públicos en L/día.*

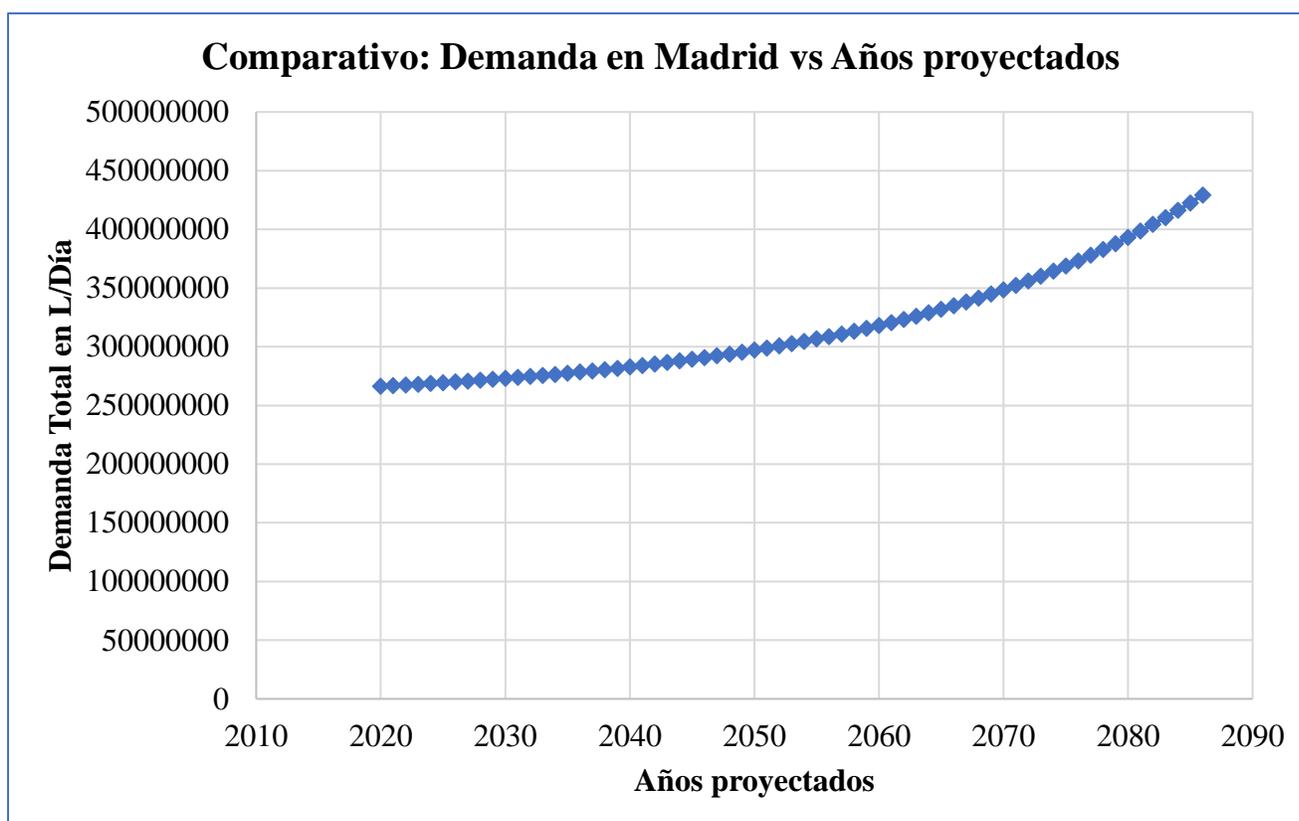
Resultados de sectores	Cantidad en L/Día
Educativo y hospitales	470810

Cálculo de la demanda neta:

Tabla 16 Identificación del Caudal Máximo Diario y Horario de la Demanda en 2020.

Caudal Medio Diario (Qmd)	Demanda en L/s	Caudal Máximo Diario (QMD)	Caudal Máximo Horario (QMH)
2020	118317	269890755.28	350857981.86
			561372770.98

Ilustración 14 Gráfica de comportamiento de la demanda hídrica total proyectada en el Municipio de Madrid Cundinamarca a lo largo de los años.



Oferta Hídrica Real:**Caudal ecológico:****Tabla 17** Caudal Ecológico Determinado a través del Método Q95 para las Estaciones La Muralla, Puente Manrique y El Bosque.

Estación Limnimétrica	Caudal ecológico obtenido en Python (m^3/s)
La Muralla	0,029
El Bosque	0,035
Puente Manrique	0,100

Tabla 18 Área de Influencia de las Estaciones Limnimétricas Seleccionadas y del Río Balsillas.

Áreas en km^2		Área m^2
Área del Río Balsillas	624,4	624420000
Área de la Muralla	73,7	73730000
Área de El Bosque	128,2	128192000
Área de Puente Manrique	122,8	122800000

Tabla 19 Caudal Ecológico o Ambiental Corregido Ponderado por el Área de Influencia.

Estación Limnimétrica	Caudal ecológico (m^3/s)	Área de influencia (km^2)	Porcentaje de influencia	Ponderado
La muralla	0,247	73,73	22,7%	0,056
El bosque	0,169	128,192	39,5%	0,067
Puente Manrique	0,508	122,8	37,8%	0,192
	Suma	324,722	100%	0,315

Oferta hídrica total superficial (OHTS):**Tabla 20** Caudal Modal de las Estaciones Meteorológicas en m^3/s

Caudal modal de las estaciones limnimétricas en (m^3/s)	
Caudal modal La Muralla	0,815
Caudal modal El Bosque	0,97
Caudal modal Puente Manrique	0,825

Tabla 21 Caudal de la Oferta Hídrica Total Superficial de las Estaciones Limnimétricas y la Media que Representa la OHTS de la Cuenca del Río Balsillas.

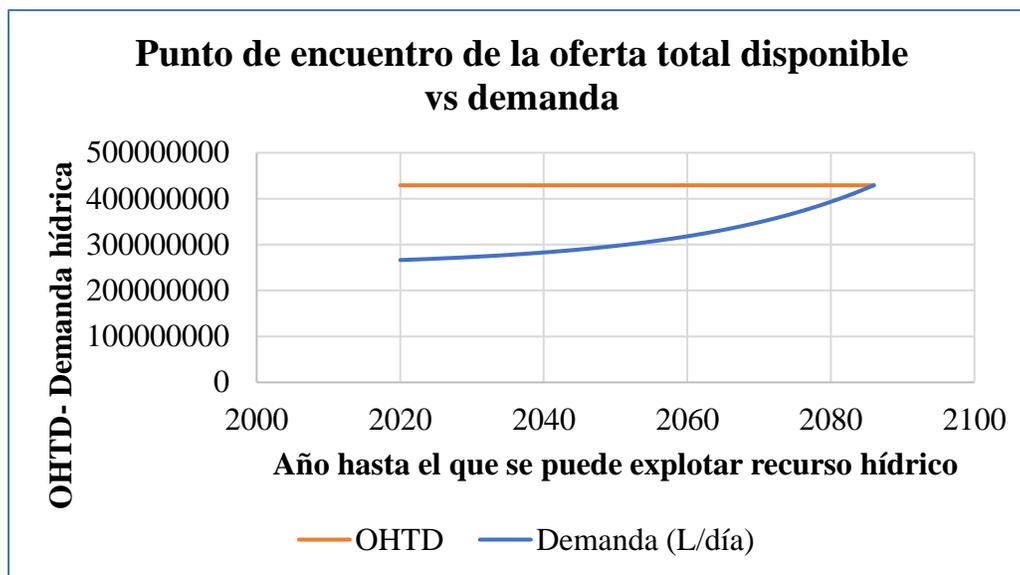
Oferta Hídrica Total Superficial en m^3/s		
OHTS La Muralla	6,90	5,27
OHTS El Bosque	4,72	
OHTS Puente Manrique	4,20	

Oferta hídrica total disponible (OHTD):**Tabla 22** Oferta hídrica total disponible OHTD en m^3/s y en litros/día obtenida a través de la sustracción del caudal ecológico de la oferta hídrica total superficial OHTS.

Estación meteorológica	Caudal ecológico (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	OHTD (OHTS - Caudal Ecológico) m^3/s	OHTD (L/Día)
La muralla	0.31	5,27	4,96	428437294
El bosque				
Puente Manrique				

Evaluación del potencial hídrico

Ilustración 15 Gráfica que muestra la relación oferta real - demanda.



Análisis

Determinación de la demanda hídrica actual y futura

Análisis área de estudio:

Madrid Cundinamarca tiene una altura de 2554 msnm en su cabecera municipal según la (Alcaldía de Madrid, 2018), es por ello que pertenece a la clasificación de piso térmico frío, esto según el sistema de clasificación de Caldas, donde los lugares con una altura de 2000 msnm y 3000 msnm se clasifican en pisos térmicos fríos (A. Medina, 1981).

Por otra parte, como se logra observar en la ilustración 8, la temperatura media de Madrid Cundinamarca se encuentra entre los 12 °C a 16 °C, específicamente en los 14 °C, según la (Alcaldía de Madrid, 2018), la precipitación media anual está entre los 500 mm a los 1000 mm lo que en comparación a otras zonas del país es bastante bajo, con estos dos datos se puede obtener una relación precipitación / Temperatura, conocida como el factor de lluvia de Lang (Castañeda, 2014) donde, al realizar el cálculo si se toma el límite inferior de precipitación, se obtiene un

Factor de lluvia de 35,7, lo cual es denominado un clima árido, pero si se toma el límite superior de la precipitación, este será un clima semi-húmedo, esto según el sistema de clasificación climática de Lang.

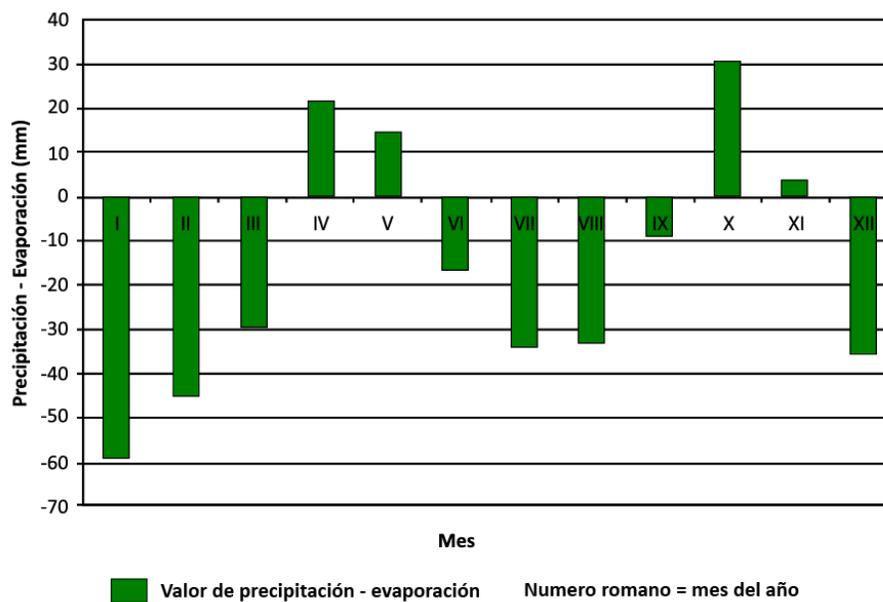
En la combinación de los dos sistemas de clasificación climática, denominado Caldas – Lang, primero se nombra el piso térmico y después el clima, por lo cual, el clima de Madrid Cundinamarca estaría entre un clima frío – árido y frío – semi-húmedo, este último es el que se logra observar en la ilustración 7.

También se logra identificar que los datos de precipitación y evaporación anual son muy similares, incluso la evaporación tiene un límite superior más alto que el de la precipitación, por lo cual se da el escenario en el que la evaporación en ciertas unidades temporales supera a la precipitación dando origen a un déficit.

El escenario de déficit se presenta en la mayoría del año, puntualmente en ocho de los doce meses del año, tan solo los meses de abril, mayo, octubre y noviembre se presenta la situación donde la precipitación supera a la evaporación, siendo los únicos momentos donde se da una condición de superávit 8 (Ilustración 16). Estos meses pertenecen a las temporadas húmedas tanto del primer semestre del año para los meses de abril y mayo como del segundo semestre como lo es octubre y noviembre tal y como lo muestra (Ecoforest Ltda., 2020).

Con los datos de caudales medios mensuales de las estaciones escogidas en la zona de estudio se identificó que los meses con un mayor caudal corresponden también a los meses que presentan condiciones de exceso (ilustración 17 y 18), con lo cual se observa una relación entre el comportamiento climatológico y la disponibilidad del recurso hídrico superficial.

Ilustración 16 Balance entre precipitación – evaporación medidas en mm en un promedio anual.



(Ecoforest Ltda., 2020)

Ilustración 17 Caudales medios mensuales de la estación la muralla expresados en m^3/s .

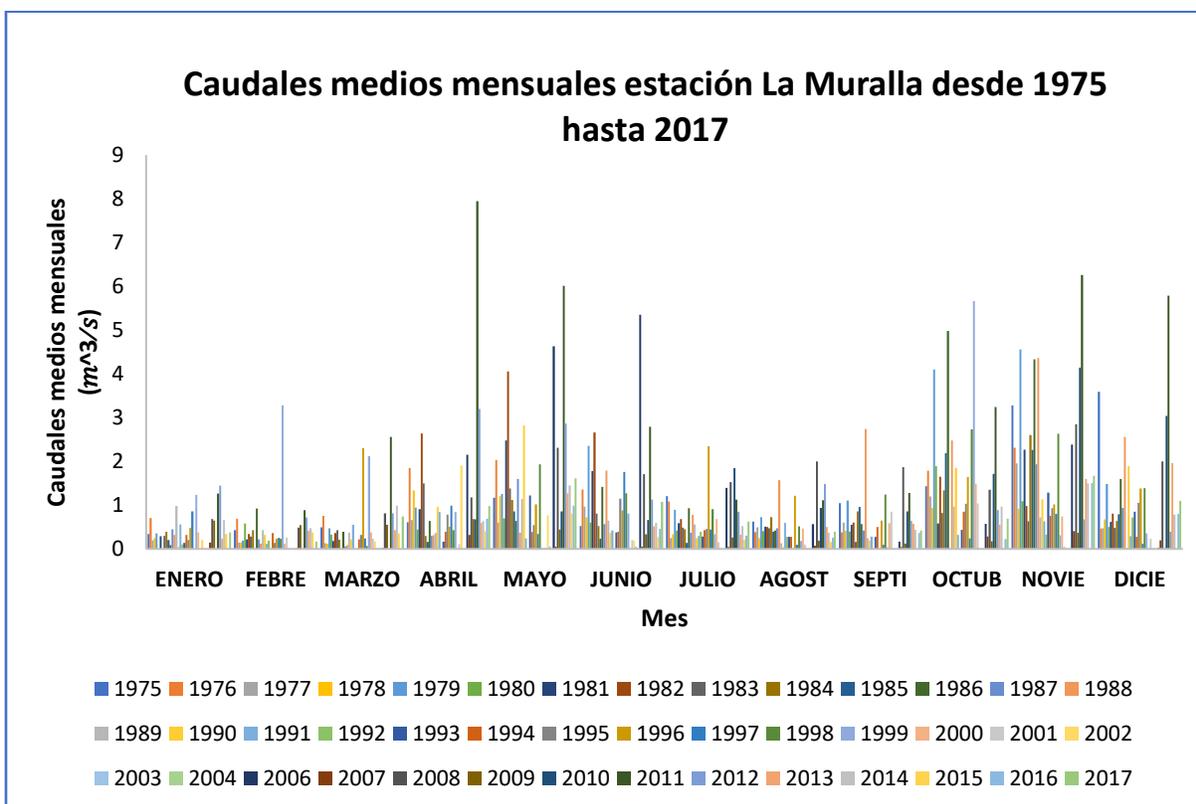
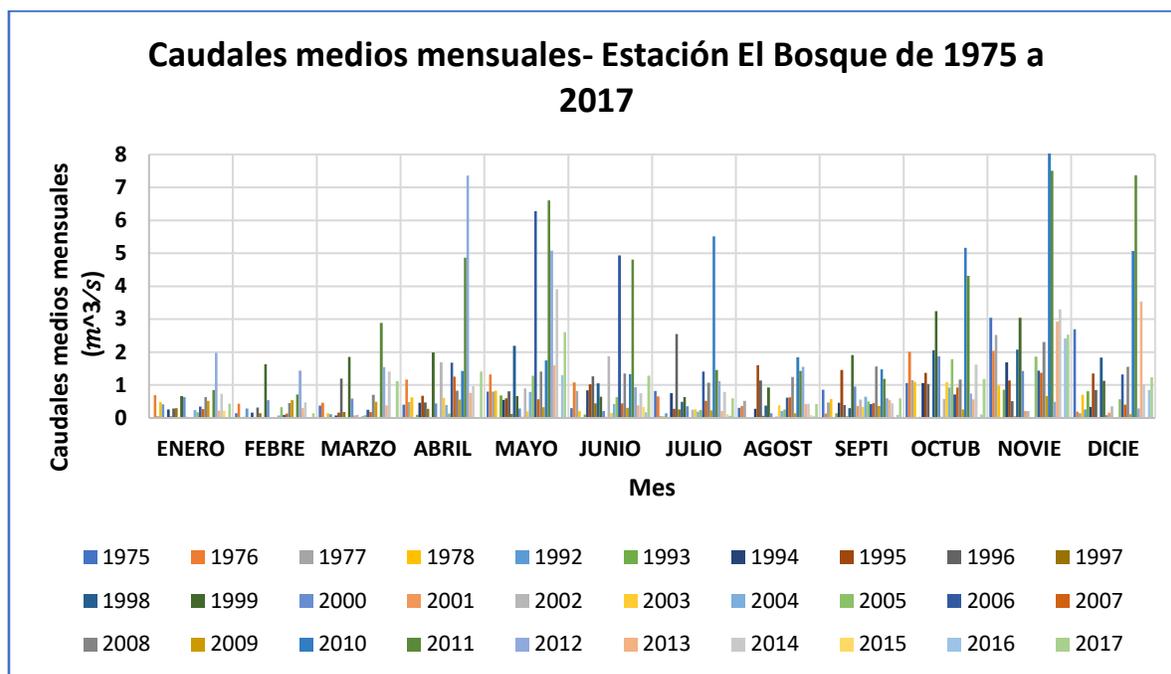


Ilustración 18 Caudales medios mensuales de la estación el bosque expresados en m^3/s .



Usos del suelo:

El objetivo de investigar el uso de suelo de los municipios vecinos que comparten el río Subachoque con Madrid es principalmente identificar el trabajo intersectorial que se lleva a cabo, el uso que se le da actualmente a las zonas colindantes al río y los planes a futuro de esta fuente hídrica.

En cuanto al uso que se les da actualmente a las zonas que colindan con el río, el municipio de Subachoque y Mosquera establecen estos lugares como zona de recuperación y cuidado ambiental o forestal productor, de tal forma que no se admite ningún otro uso y permite una protección superior a la ronda del río; en comparación, Madrid tiene zonas agropecuarias mecanizadas intensivas, así como agropecuarias de implantación de industria lo que dificulta el adecuado manejo del recurso.

El Rosal tiene usos agropecuarios mecanizados o altamente tecnificados, sistemas agrosilvopastoriles y forestal protector productor, con la condicional de manejar mínimo el 10% como forestal productor, lo que contribuye con el cumplimiento de la creación de una malla ambiental, finalmente el municipio de Facatativá con usos de agricultura con posible zona de expansión urbana y quién no cuenta con ningún tipo de manejo especial para el cuerpo de agua.

De esta forma se identificó que el municipio de El Rosal, Mosquera, Subachoque y Madrid tienen el mismo interés en generar estrategias de protección enfocadas en generar zonas de recuperación y cuidado ambiental, corredores biológicos y mallas verdes que permitan disminuir las afectaciones sobre el cuerpo de agua. A pesar de los objetivos de cuidado en común, los usos del suelo en la ronda del río son diferentes, lo que dificulta la gestión de recuperación de las funciones ecosistemas compartidas entre los municipios fronterizos.

Proyección poblacional:

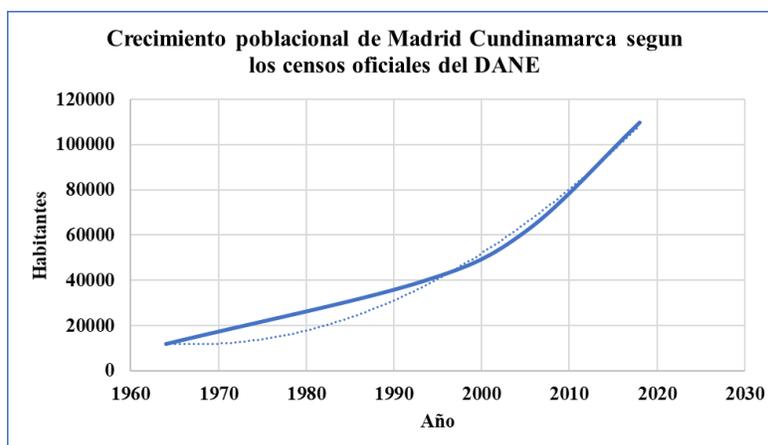
El municipio de Madrid para el año 1964 tenía una población de 11850 habitantes y para el año 2018 tenía un total de 109696 habitantes, como se logra observar en la ilustración 19, la línea de tendencia central del comportamiento del crecimiento poblacional de este municipio es polinómica, tendencia que se asemeja al comportamiento de las proyecciones realizadas que se observan en la ilustración 11, este hecho indica que la compatibilidad del método geométrico para la proyección poblacional de esta zona es bastante buena, ya que tiene la misma tendencia que presentan los datos originales del DANE.

El método geométrico supone que la población en una zona de estudio crece a una tasa constante dentro de una unidad de tiempo determinada, este método mantiene constante la tasa de crecimiento, más no la población, la cual varía notablemente según el largo del intervalo de tiempo que se estudie (Universidad Nacional de Piura, 2011), es decir, que entre más largo sea el

lapso estudiado más crecerá la población con la tasa constante, lo que supone un riesgo bastante alto de error entre más larga sea la proyección poblacional, para estos casos se recomienda hacer un estudio demográfico especializado.

Este tipo de crecimiento tiene sus limitantes, como por ejemplo que si la tasa se mantiene casi constante a través del tiempo asume que las condiciones demográficas del territorio no cambian mucho o también se mantiene constantes, caso que no se aplica para Madrid Cundinamarca, pues su cercanía a la capital colombiana y su desarrollo socioeconómico ha influenciado de manera directa en el crecimiento de la población, tanto así, que la población desde el año 2005 hasta el año 2018 crecía a un ritmo de 3700 habitantes por año, mientras desde el año 1993 al 2005, periodo de tiempo más o menos igual, el ritmo de crecimiento era de 1865 habitantes por año (tabla 4), este hecho abre la posibilidad de que ocurra un cambio igual en el futuro, haciendo que la población ya no se comporte de manera geométrica, todo ello dependerá de la gestión administrativa del municipio y de condiciones socioeconómicas y demográficas nacionales, por lo cual la complejidad de su naturaleza poblacional es bastante alta.

Ilustración 19 Gráfica del crecimiento poblacional de Madrid Cundinamarca tomando como base los censos poblacionales de 1964, 1993, 2005 y 2018.



Identificación de las demandas hídricas:

Demanda doméstica:

El comportamiento gráfico de la demanda presenta un crecimiento que se asemeja a la conducta ascendente de la población (ilustración 20), este fenómeno es de esperarse, ya que el principal factor que influye en la demanda doméstica es la población, por lo tanto, a medida que este factor crezca la demanda doméstica aumentará, cabe aclarar que esto no garantiza que la demanda neta se incremente, pues esta última depende del comportamiento de otras demandas hídricas cuyo elemento principal no está ligado al crecimiento poblacional directamente.

Para el año 2020 la demanda doméstica es de 14198000.7 litros por día y para el año 2082 será de 148162156.2 litros por día lo que equivale a $0.16 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1.71 \text{ m}^3/\text{s}$

Ilustración 20 *Comportamiento de la demanda doméstica del municipio de Madrid*

Cundinamarca desde el año 2020 hasta el año 2086.



Demanda agropecuaria:

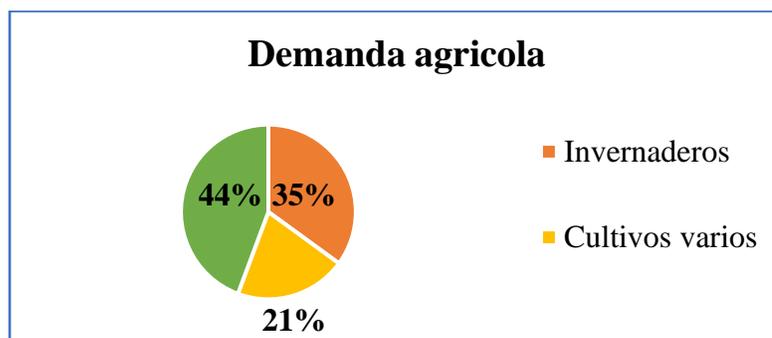
Demanda agrícola.

La demanda agrícola se dividió en tres grandes grupos los cuales engloban las diferentes actividades que se realizan dentro del territorio madrileño, estas clasificaciones fueron: invernaderos, cultivos varios y pastos manejados, donde al realizar un análisis de cobertura en la ilustración 12 y en la ilustración 13, se observa que pastos manejados es el sector agrícola con menor cobertura, más en la ilustración 21 se muestra que su demanda hídrica es la más alta con una participación del 44%.

Teniendo en cuenta que los pastos manejados son toda aquella cobertura vegetal o tierra cubierta por hierba densa, cuyo uso se puede destinar a la ganadería, zona de descanso agrícola, zona de rehabilitación ecosistémica y/o zona de revegetalización según la (Alcaldía de Envigado & UNAL, 2014), este tipo de usos requieren una cierta demanda hídrica que supla las necesidades de mantenimiento de este tipo de forrajes, pero el riego no es tecnificado lo que conlleva a que se utilice una gran dotación, es por ello que a pesar de este tipo de cobertura o uso es la más baja su demanda es una de las más altas.

Los cultivos varios pueden incluir a los tubérculos, hortalizas o toda aquella actividad que se lleven a cabo sin ningún tipo de cobertura artificial, este tipo de uso es el que mayor área tiene en el municipio y es el de menor dotación hídrica, esto se debe a que su riego es por aspersión, siendo más eficiente y tecnificado que el utilizado en los pastos manejados, lo que hace que este tipo de actividad tenga la menor participación en la demanda agrícola, como se logra observar en la ilustración 21.

Ilustración 21 Participación porcentual de los sectores agrícolas determinados en Madrid.



Por último, se encuentra las áreas destinadas a la producción agrícola bajo invernadero, actividades que en su mayoría están enfocadas a la floricultura (Ecoforest Ltda., 2020), empresas que utilizan dos métodos de riego, por goteo y riego manual por manguera, por lo cual, su dotación es mayor que la de los cultivos, pues a pesar de que cuentan con mayor tecnificación en sus sistemas de riego, el volumen de producción y el factor de riego manual hacen que el uso de agua sea bastante alto, es por esta razón que los cultivos bajo invernadero representan un 35% del consumo de agua en el sector agrícola.

Esta tendencia de consumo se mantiene en toda la subcuenca del río Balsillas, es decir que este mismo comportamiento lo presentan los municipios de Subachoque, Mosquera, Facatativá, Zipaquirá, Bojacá, Funza y El Rosal como se identifica en el estudio de (Ecoforest Ltda., 2020).

Si se tiene en cuenta el crecimiento urbano de Madrid Cundinamarca, se pueden llegar a dar dos escenarios, uno en donde disminuya la demanda agrícola, esto debido a la pérdida de zonas donde se pueda llevar a cabo esta actividad y otro donde se mantenga la demanda agrícola, escenario donde se pierde área cultivable para los cultivos varios, pero aumenta los cultivos bajo invernadero, optimizando el espacio y equilibrando la demanda perdida por el cultivo a cielo abierto.

Estos escenarios no son muy lejanos, ya que la administración municipal tiene como objetivo aumentar la participación industrial en el sector y urbanizar ciertas zonas que actualmente pertenecen a la agricultura, todo esto dentro de diferentes estrategias como la de competitividad regional y desarrollo sostenible (Muñoz, 2006a).

Como último paso se corroboró la información, dando como resultado que el método en ArcGIS se adapta a la realidad del municipio, puesto que la comparación de las áreas de coberturas obtenidas con el muestreo supervisado y las obtenidas por el Censo Nacional Agropecuario son aproximadas, esto se evidencia en la tabla 23 donde se muestra una diferencia de 254.85 ha.

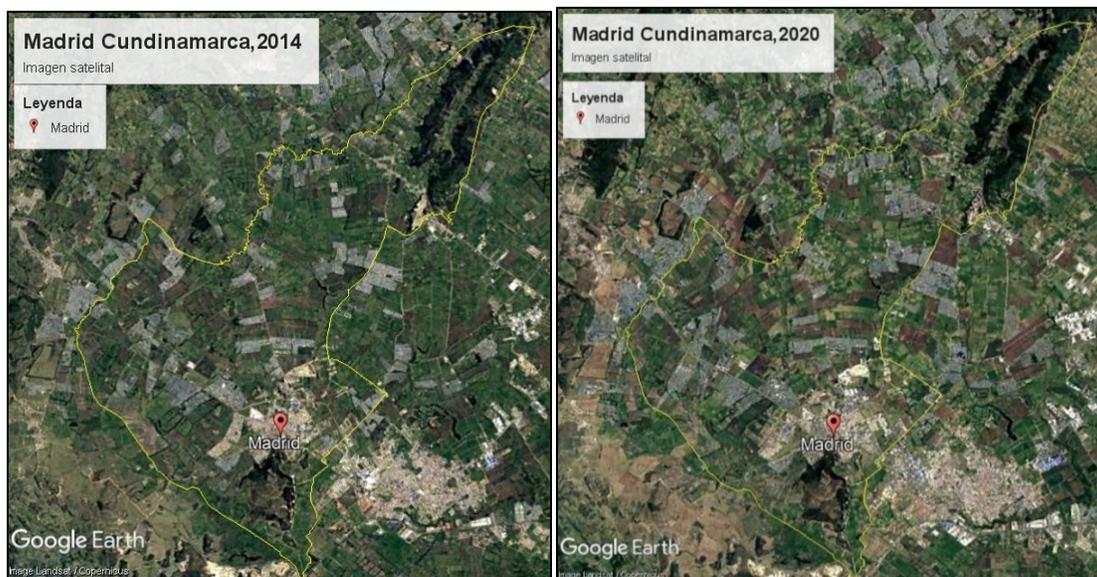
Tabla 23. *Comparación entre la información del Censo Nacional Agropecuario 2014 y el procedimiento de coberturas en ArcGIS.*

Fuente de información	Área en Hectáreas
Área agrícola según el Censo Nacional Agropecuario	9083,6
Área agrícola según metodología en ArcGIS	8837,75
Diferencia	245,85

Fuente: (Instituto Nacional Agropecuario, 2020)

Esta diferencia se puede atribuir al tiempo de análisis, pues el CNA se realizó en el año 2014 y el muestreo supervisado empleó una imagen satelital del año 2020, por lo cual las coberturas varían porque el municipio ha venido aumentando su área urbana, esto genera un retroceso en las áreas dedicadas al sector agrícola. Este hecho que se puede evidenciar de manera sencilla con un análisis de línea de tiempo en Google Earth (Ilustración 22), donde se logra observar un aumento en el casco urbano del municipio.

Ilustración 22. Comparativo de las imágenes satelitales de Madrid Cundinamarca en el año de 2014 y 2020.



Demanda Pecuaria.

La demanda pecuaria está compuesta por la demanda de cada uno de los subsectores presentes en el municipio, los cuales son el bovino, porcino, equino, ovino, caprino y avícola como lo identifica el (Instituto Nacional Agropecuario, 2020).

En el subsector bovino se logró identificar que la mayor demanda está en las hembras y machos mayores a dos años, ya que estos tienen la mayor dotación y población obteniendo así un 56% de la demanda total de este subsector (Ilustración 23), (tabla 8).

En la ilustración 24 se observa que los cerdos que se destinan para levante son los de mayor demanda hídrica pues son los de mayor población, seguido a estos se encuentra aquellos destinados a ceba los cuales tienen la segunda mayor cantidad de ejemplares y en un tercer lugar las hembras con cría, que a pesar de no tener una población tan masiva como las dos anteriores categorías si tiene la mayor dotación hídrica (tabla 9).

Ilustración 23. *Porcentaje de demanda hídrica del sector bovino.*

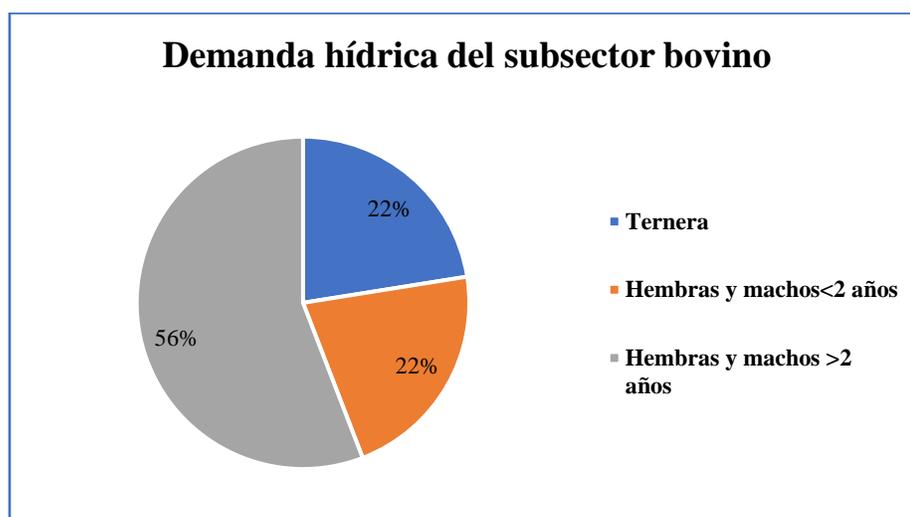
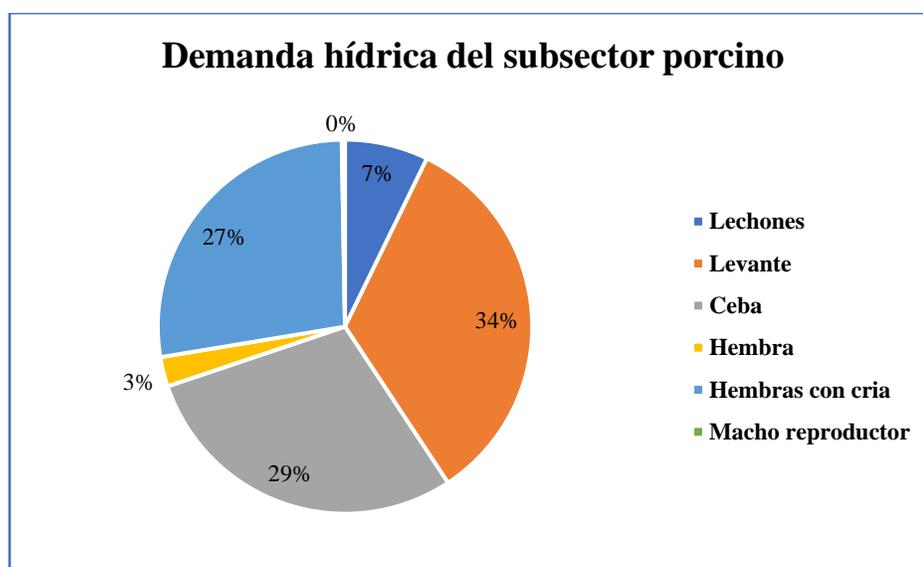
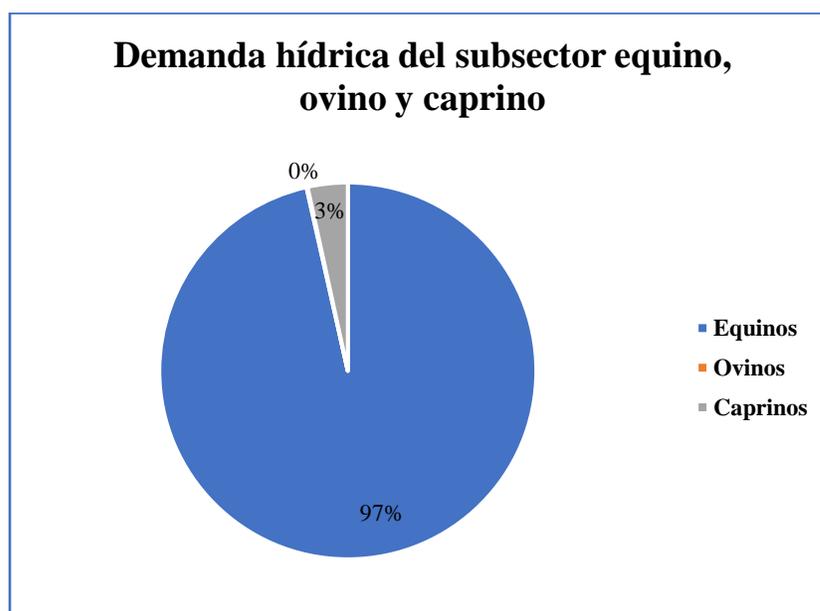


Ilustración 24. *Porcentaje de demanda hídrica del subsector porcino.*



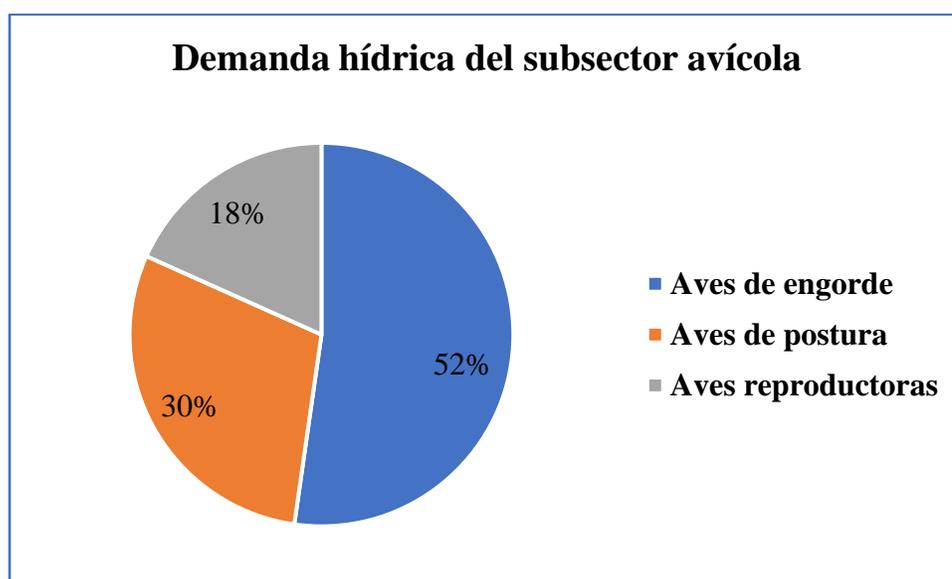
En los subsectores equino, ovino y caprino, el 97% de la demanda está concentrada en los equinos como se logra observar en la ilustración 25, esto debido a su alta población y dotación respecto a los otros dos subsectores, un aproximado al 3% se encuentra para los caprinos (cabras), que tienen una población mucho más significativa que el subsector ovino (ovejas) el cual básicamente es despreciable por tener una población de tan solo 11 ejemplares en el municipio (tabla 11).

Ilustración 25. *Porcentaje de demanda hídrica del subsector equino, ovino y caprino.*



El subsector avícola presenta su demanda más significativa en las aves de engorde (tabla 10), las cuales hacen uso del 52% de la demanda hídrica avícola (ilustración 26), pues este tipo de aves tiene la población más alta y la dotación hídrica mayor, seguida de las aves de postura y por último las aves con fines reproductivos.

Ilustración 26. *Porcentaje de demanda hídrica del subsector avícola.*



De manera general para el sector pecuario, se identificó que el sector avícola es el que más uso de agua hace como se observa en la ilustración 27, esto por su masiva población y la dotación que esta presenta, seguido por el subsector equino, el cual posee una de las mayores dotaciones, esto muestra que el municipio de Madrid tiene una mayor producción avícola, por encima de los demás sectores pecuarios.

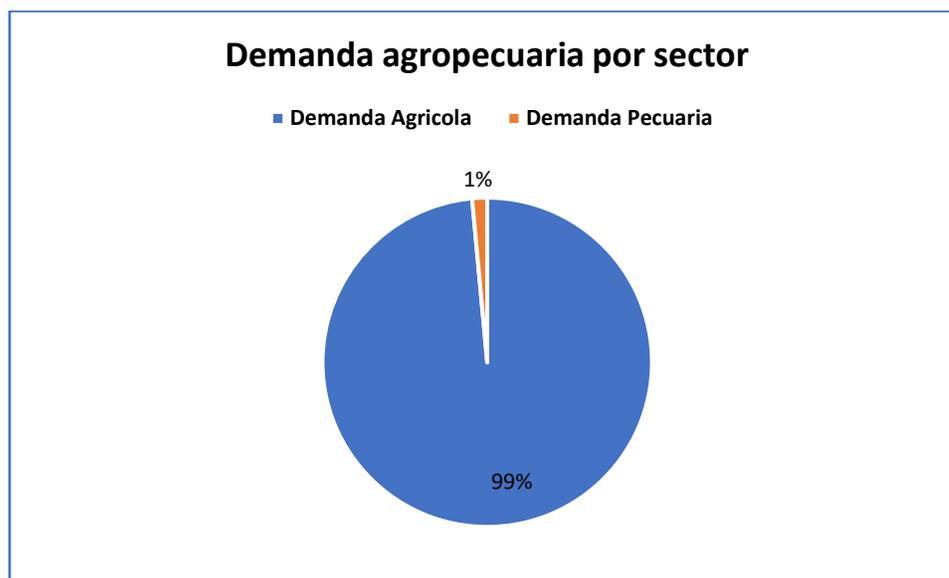
Demanda agropecuaria.

La demanda agropecuaria es el resultado de la suma de la demanda agrícola y la demanda pecuaria (tabla 12), en este sector se observa que la agricultura tiene un mayor uso del agua, pues el 99% del consumo se registra para esta actividad, tan solo el 1% restante se da para el sector pecuario (ilustración 28).

Ilustración 27. *Demanda hídrica por cada subsector.*



Ilustración 28. *Porcentaje de demanda agropecuaria en sector pecuario y agrícola*



Además de ello, se deduce que Madrid tiene una mayor producción agrícola, reflejada en su alto consumo de agua, lo cual concuerda con lo anteriormente expresado respecto a su vocación territorial y productiva.

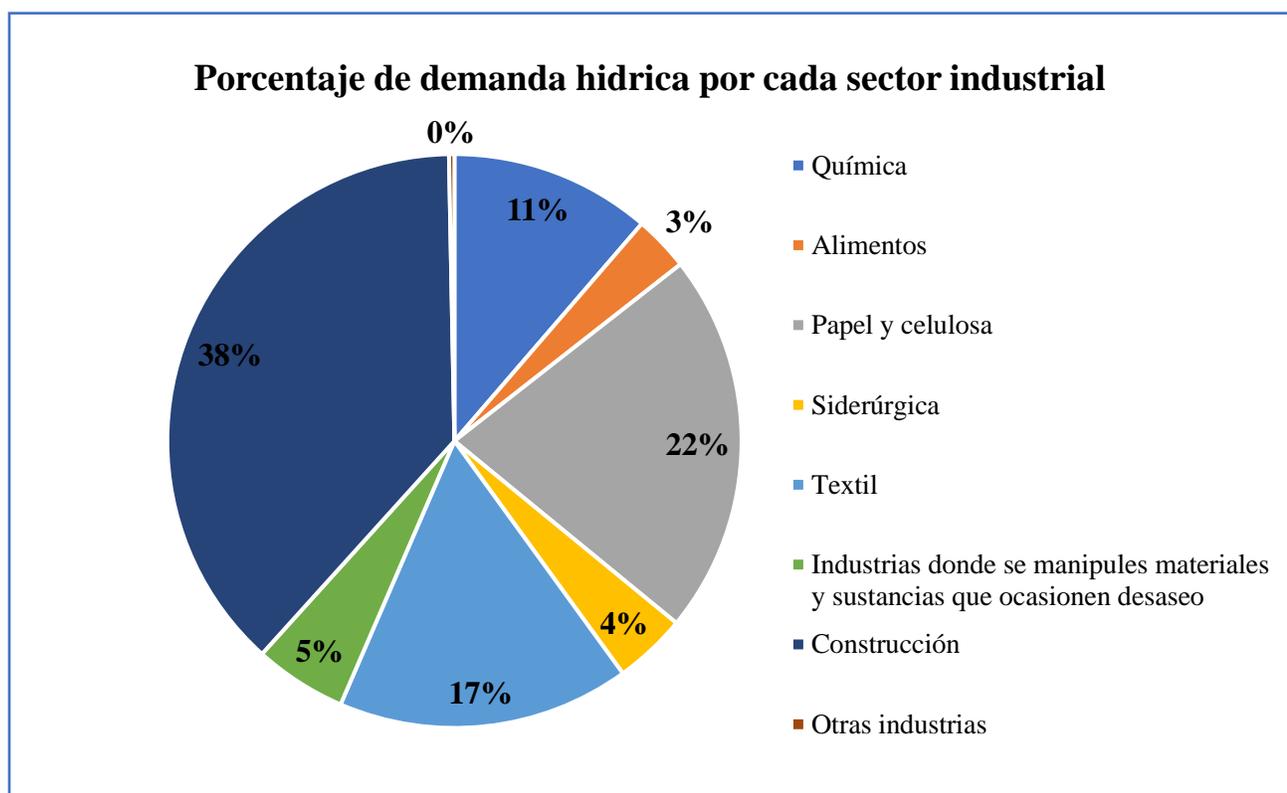
Demanda industrial:

La mayor demanda industrial del municipio es la del sector de la construcción, este representa un 38% de la demanda hídrica industrial (Ilustración 29), esto se debe a que la industria constructora ha tenido un importante crecimiento en este municipio, pues la cercanía con el mayor centro poblado del país ha ejercido una fuerte presión al desarrollo de esta zona, ya que la oferta laboral de Bogotá atrae personas de todo el país, y el comportamiento de la capital no abre paso fácilmente a una residencia allí mismo, por lo cual los municipios como Madrid, funcionan como zonas dormitorio según (Ballén et al., 2018), esto ha llevado a un fuerte crecimiento urbano y una gran demanda de vivienda, fenómeno que beneficia al sector constructor contribuyendo así a su crecimiento.

Otro factor que benefició al crecimiento urbano del municipio fue la Troncal de Occidente, vía que históricamente ha conectado a Bogotá con Honda y a partir de la cual Madrid ha tomado referencia como un epicentro para su construcción, tanto así que toda su morfología urbana depende de esta vía tal y como lo especifica (Aponte Rodríguez, 2011).

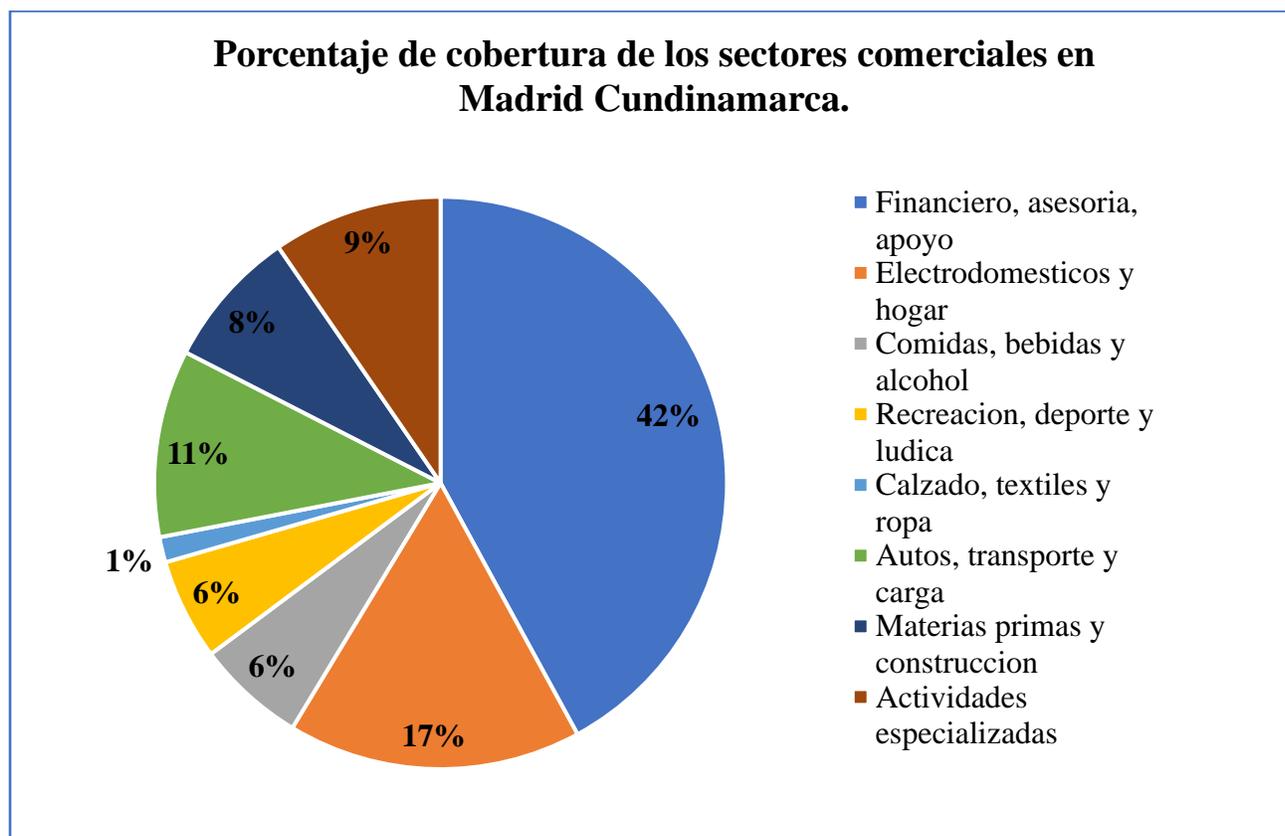
Seguido a la demanda por parte del sector industrial está la del sector de papel y celulosa con un 22% de la demanda total industrial, seguido por la industria textil con un 17% y la química con 11%, por otra parte, la demanda industrial que menos participación tiene es la industria alimenticia con tan solo un 3%.

Ilustración 29 *Participación Porcentual de cada Sector Industrial en la Demanda Hídrica de este Sector en Madrid Cundinamarca.*



Demanda Comercial:

Ilustración 30 *Porcentaje de cobertura de los ocho sectores comerciales identificados en los principales cascos urbanos de Madrid Cundinamarca.*



El sector comercial de mayor cobertura en el municipio de Madrid es el Financiero, asesoría y apoyo (ilustración 30), sección que ocupa superficies de mediana cobertura; sin embargo, en el municipio se encuentra un gran número de establecimientos dirigidos a la ingeniería, marketing, contaduría, servicios legales, administración y fondos de empleados, esta última categoría con una gran presencia debido a la gran cantidad de empresas de flores y a la presencia de industriales como Corona, Iberplast, Ajoover, entre otras.

El segundo sector es el de electrodomésticos y hogar, locales que casi siempre tienen una gran cobertura, ya que las dimensiones de sus productos y su almacenamiento debe ser de

consideración, además, la naturaleza del municipio como “ciudad dormitorio” hace que la demanda de este tipo de productos aumente, lo cual hace que la presencia de este tipo de establecimientos sea bastante alta.

Otro sector importante es el de carga y transporte, este es el tercer tipo de comercio más grande en el municipio y según la alcaldía municipal este sector ha venido creciendo debido al desplazamiento de diferentes sucursales desde Bogotá a la zona, por lo cual la inversión de estas empresas va en aumento en Madrid (Cámara de Comercio de Bogotá, 2014).

También se identificó que el sector de actividades especializadas tiene un cubrimiento total del 9% ubicándose en cuarto lugar de cobertura, en Madrid estos comercios pertenecen a actividades como seguridad, medicina, salud, informática, investigación. Etc. Estos establecimientos se ubican en la parte central del centro urbano, donde la cobertura comercial es bastante densa.

Los sectores de comidas, bebidas y alcohol son todos aquellos establecimientos como bares, restaurantes, cafeterías, licoreras, entre otros, a estos también se suman los establecimientos de venta al por mayor o menor de este tipo de productos, haciendo referencia al primer grupo de establecimientos como los bares. Este es un sector dirigido al turismo gastronómico, estrategia que se ha ido fortaleciendo con la administración municipal (Muñoz, 2006a), es por ello que se espera que en unos años se presente un crecimiento en cobertura. En cuanto al segundo grupo se identifica que la mayoría de los establecimientos no cuentan con un registro formal, funcionando como pequeños puestos de venta o tiendas de barrio.

El restante de sectores presenta un comportamiento similar, pues están dirigidos a actividades puntuales que puede llevar a cabo cualquier habitante si este tiene los recursos

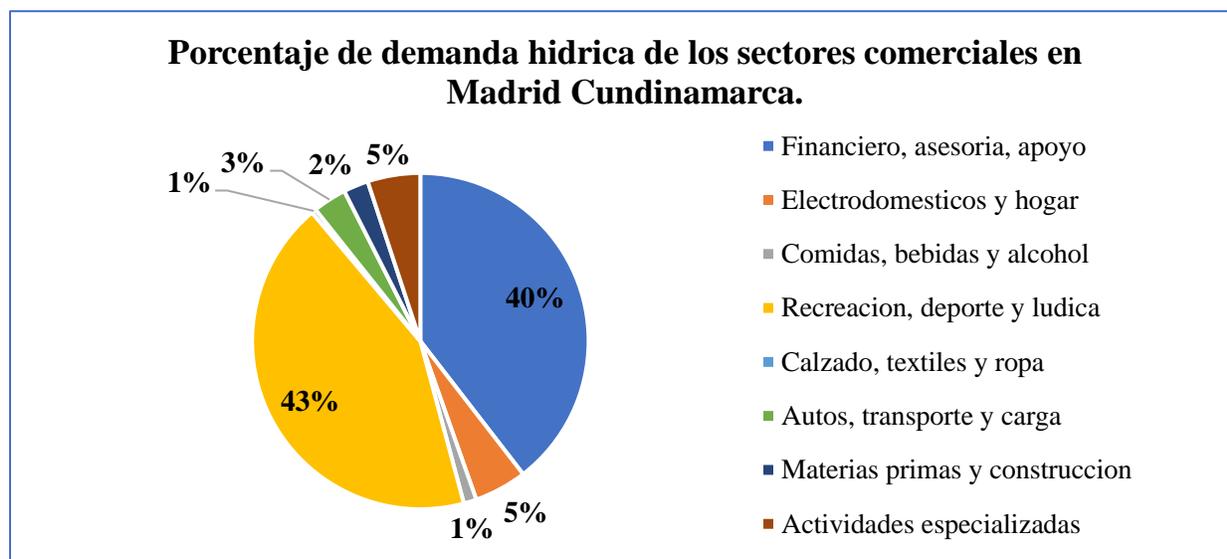
necesarios para llevarlos a cabo, por último, el sector de ropa, calzado y textiles es el de menor cobertura, este hecho va en contraposición con la dinámica del municipio, pues su demanda es bastante alta, más su cobertura según datos del directorio de empresas es bastante baja.

Además, sectores como el Sosiego y la Calle siete y Carrera sexta presentan una gran densidad de este tipo de establecimientos, el hecho de que no aparezcan en el directorio de empresas quiere decir que parte de estos establecimientos no se encuentran registrados ante las bases de datos de la Cámara de comercio de Facatativá o pertenecen a alguna unión comercial bajo solo una razón social.

Según la ilustración 31 el sector de recreación, deporte y lúdica tiene el mayor porcentaje de demanda hídrica, esto se debe a que su dotación es la más alta debido a la naturaleza de sus servicios, donde las condiciones higiénicas deben ser de alta calidad, el consumo de agua por parte de los usuarios debe ser casi constante y el tamaño de estos establecimientos es casi en la mayoría de los casos amplio, es por ello por lo que el valor obtenido es coherente con lo esperado.

Por otra parte, la demanda del sector financiero, asesoría y apoyo es la segunda más alta, esto debido al gran número de establecimientos que se encuentran en el municipio, ya que su dotación asignada es una de las más bajas, pero como se mencionó anteriormente, es uno de los de mayor presencia.

Ilustración 31 *Porcentaje de participación de los sectores comerciales en la demanda hídrica comercial en el municipio de Madrid Cundinamarca.*

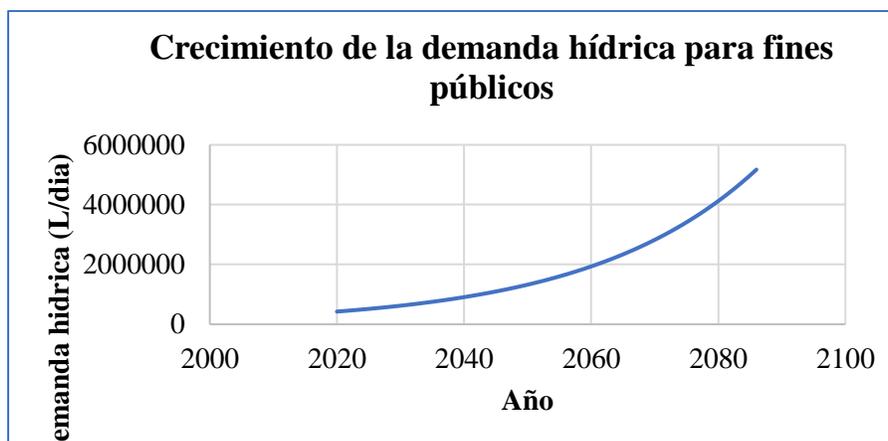


Uno de los fenómenos que se observó con cuidado es el del sector de Alimentos, bebidas y alcohol, pues es uno de los de menor demanda hídrica a pesar de tener una de las dotaciones hídricas más altas, esto se debe a que su cobertura según los datos del Directorio de empresas del DANE su cobertura es bastante pequeña, de lo que se puede inferir que este tipo de demanda tendrá el mismo comportamiento que el sector de ropa, calzado y textiles.

Demanda Institucional y para fines públicos:

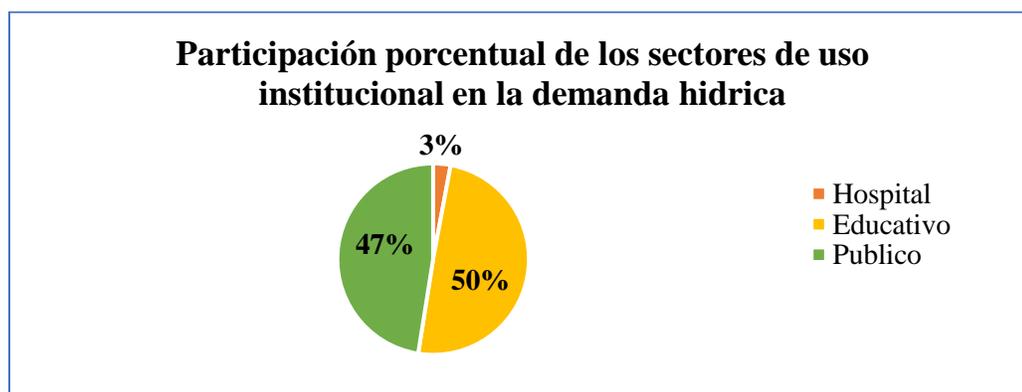
La demanda hídrica para fines públicos tiene el mismo comportamiento que la demanda hídrica doméstica (ilustración 32), esto se debe a que depende de manera directa del comportamiento generado por esta sección, ya que la primera se calcula como el 3% de la segunda, esto basado en el hecho de que, si aumenta la población, aumentara un cierto porcentaje la demanda hídrica para cubrir las actividades, espacios y servicios públicos prestados por la administración que se lleven a cabo en el territorio.

Ilustración 32 *Tendencia de crecimiento de la demanda hídrica para fines públicos en Madrid Cundinamarca.*



En la ilustración 33 se logra observar que la mayor demanda se da por parte del sector educativo y con valores cercanos se encuentra el sector de uso público, esto se debe a que estas dos secciones se relacionan de manera directa con la población, por lo cual el volumen consumido por la población determina el volumen de la demanda, caso contrario para la demanda hospitalaria donde esta depende del número de camas instaladas, las cuales no cambian con respecto a la población.

Ilustración 33 *Porcentaje de demanda hídrica que tiene cada sector institucional en Madrid Cundinamarca.*

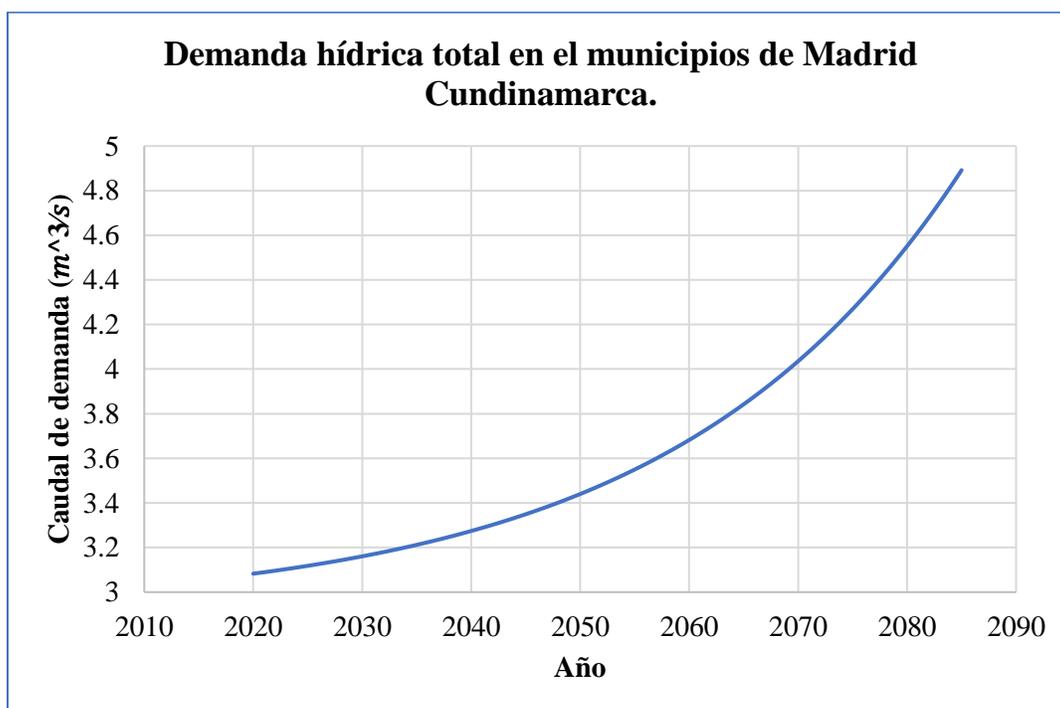


Demanda Neta:

La demanda hídrica neta o la demanda hídrica total para el municipio de Madrid tiene el mismo comportamiento creciente que la población (ilustración 34), esto porque el principal factor de cambio tomado es el crecimiento poblacional, por lo cual, la proyección de los datos de demanda depende de manera directa del número de habitantes del municipio.

Por otra parte, se observa que la demanda actual está próxima a $3 \text{ m}^3/\text{s}$ siendo el dato exacto $3,08 \text{ m}^3/\text{s}$, a los 25 años de proyección, periodo de tiempo en el que se proyecta la población para los estudios generales de cualquier proyecto de desarrollo, es decir, para el año 2045 la demanda es de $3,35 \text{ m}^3/\text{s}$ para el año 2086 la demanda hídrica es de $4,96 \text{ m}^3/\text{s}$.

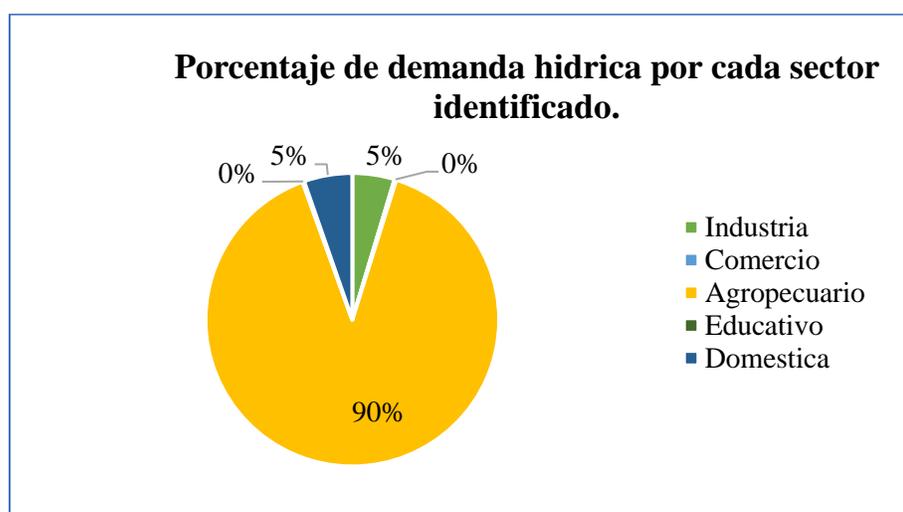
Ilustración 34 Demanda hídrica en m^3/s desde el año 2020 hasta el Año 2086 en Madrid Cundinamarca.



El comportamiento actual de la demanda se asemeja mucho al comportamiento nacional, donde la demanda agropecuaria es la más alta según el (ENA, 2018) como se logra evidenciar en la ilustración 35, allí también aparece la demanda industrial y aunque en la demanda hídrica intersectorial del ENA 2018 no se nombra la demanda hídrica doméstica, en el caso de Madrid, esta si ocupa un importante porcentaje de gasto hídrico, tanto así que está por encima del sector industrial.

Madrid se ha caracterizado por ejecutar actividades netamente agrícolas, además, es una ciudad con un fenómeno de inmigración bastante alto, lo que dispara las demandas agrícolas y domésticas, relegando al tercer puesto el sector industrial, cabe aclarar que, según la alcaldía del municipio, la zona ha venido incursionando en el sector industrial lo que generaría un posible aumento en esta sección, lo que incrementaría su porcentaje de participación en la demanda hídrica (Cámara de Comercio de Bogotá, 2014).

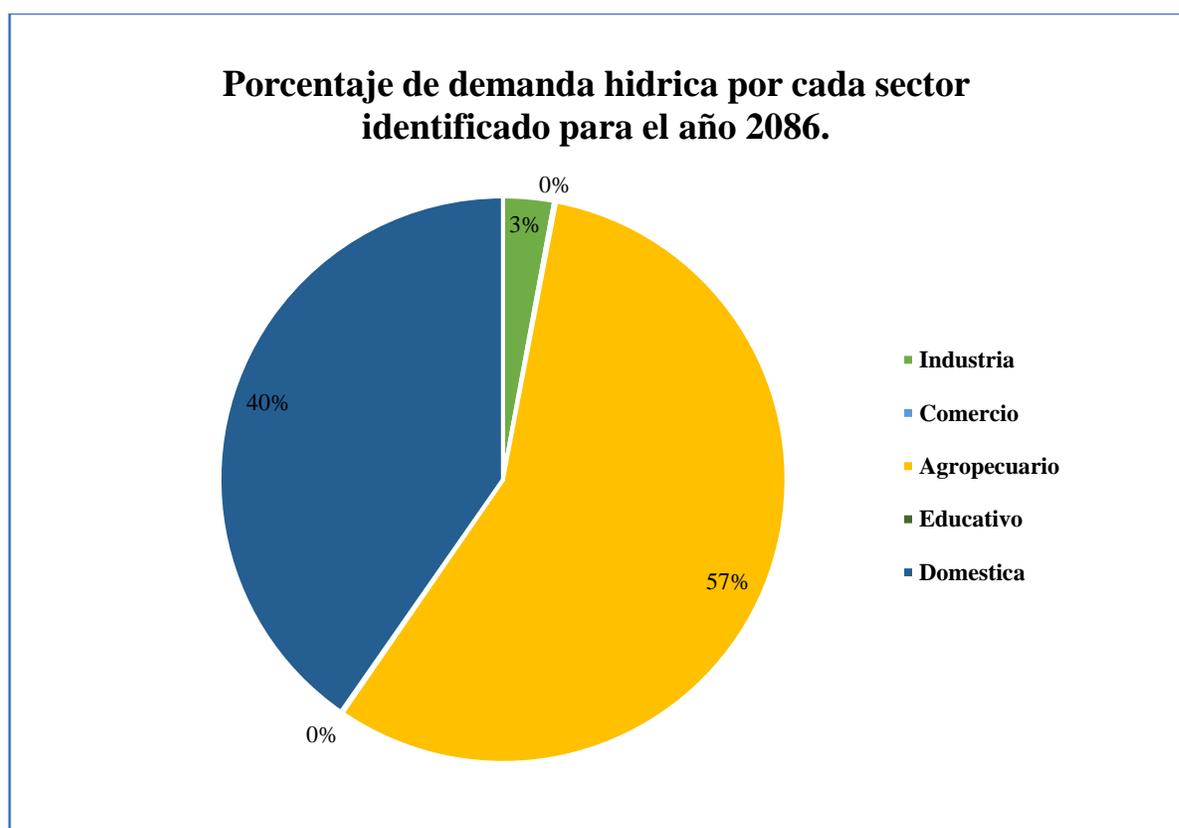
Ilustración 35 *Porcentaje de participación en la demanda hídrica actual por cada sector identificado en el municipio de Madrid Cundinamarca.*



(Fuente: elaboración propia)

Comparando la ilustración 35 y la ilustración 36, se logra observar que la demanda doméstica aumenta un 36% su participación en la demanda hídrica total y la demanda agrícola retrocede un 34%, esto debido al aumento poblacional en la zona, mientras la demanda industrial retrocede un 2%, este escenario debe interpretarse con mucho cuidado, pues el aumento poblacional incrementará de manera directa la demanda doméstica, pero no significa que los otros sectores estén desapareciendo o estén migrando del municipio, como por ejemplo, el sector industrial que tendrá un considerable crecimiento, pues parte de las estrategias de competitividad de PMD se enfocan en la industrialización (Muñoz, 2006a).

Ilustración 36 *Demanda hídrica futura en porcentajes para los sectores identificados en Madrid Cundinamarca.*



Lo lógico es esperar que la demanda hídrica por parte del sector industrial aumente, más su aumento depende del tipo de industria que llegue y las futuras administraciones del municipio, por lo que no se puede proyectar de manera exacta su crecimiento, manteniendo así el valor de demanda constante en el método de proyección de la demanda neta del municipio. Esta misma falencia se encuentra con el sector agrícola, pues esta demanda también se mantiene constante, más a futuro, debido al proceso de industrialización y de crecimiento urbano, se espera que el área cultivable disminuya y que con ello se tenga una disminución en la demanda hídrica de este sector; Esto depende del tipo de tecnificación que lleguen a tener los cultivos futuros y el nivel de aprovechamiento de área respecto al volumen de producción, ya que si las empresas agrícolas logran cultivar un volumen similar al actual en una área más pequeña la demanda agrícola se mantendría más o menos constante.

Análisis Oferta Hídrica Real

La Oferta hídrica de un cuerpo de agua presenta algunos conceptos básicos que deben ser calculados para conocer el comportamiento de un río, inicialmente se debe obtener la Oferta hídrica total Superficial, OHTS que representa como el:

“Volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Es el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lenticos” (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2015, p.48)

Una vez obtenido este valor se debe determinar el segundo concepto básico: el caudal ambiental o ecológico, definido como:

“Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas” (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2015,p.49).

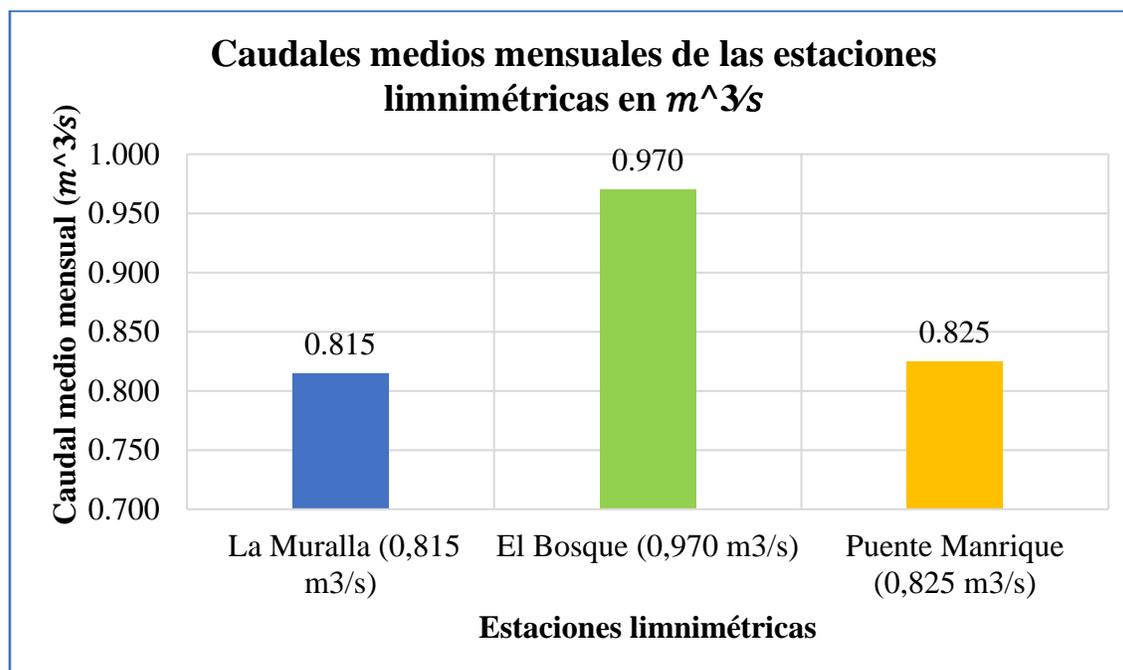
Una vez se hayan obtenido estos dos valores es posible obtener la Oferta hídrica Disponible, OHTD, cuya definición plantea la ecuación que se debe emplear para su cálculo: “volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial (OHTS) el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento del ecosistema y de los sistemas fluviales” (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2015,p.49) (Ecuación 1).

Caudal ecológico:

Para identificar el caudal ecológico se emplearon estaciones limnimétricas debido a que estas recopilan información del “nivel de una corriente hídrica mediante un aparato (mira dividida en centímetros) que mide altura del agua, sin registrarla. Una persona toma el dato y lo registra en una libreta”(IDEAM, 2019, p.1) datos que están sometidos a los típicos errores de instrumento, ya sea por daño o deterioro de las partes del equipo o por error de lectura o anotación por parte del observador (IDEAM, 1987).

Teniendo en cuenta estos posibles errores se seleccionaron las siguientes estaciones: La Muralla, El Bosque y Puente Manrique (Tabla 3, ilustración 37), cuyos valores de caudales medios mensuales en promedio en m^3/s fueron 0.815, 0.970 y 0.825 respectivamente. Estos datos fueron sometidos con anterioridad a una corrección de datos, que disminuye el margen de error por ausencia permitiendo obtener resultados ajustados a la realidad (R. Medina, 2008).

Ilustración 37 Valores del caudal medio mensual en las estaciones limnimétricas en m^3/s



Como se evidencia en las ilustraciones 17 y 18 y se explica con anterioridad, estos valores tienen características de régimen bimodal con caudales medios máximos en dos épocas del año mayo y noviembre, lo que concuerda con el comportamiento del área hidrográfica del Magdalena- Cauca donde se encuentra el municipio analizado.

El primer método usado fue el de corrección-Regresión lineal, que permitió estimar los datos faltantes estableciendo “una regresión entre una estación patrón y la que tiene carencia de datos mediante una ecuación lineal” (Herrera et al., 2017), esta reciprocidad se denota mediante el resultado de la letra r , siendo que un valor cercano a cero es un indicio de que no existe ninguna correlación entre las variables (Vinicio Carrera-Villacrés et al., 2016).

En este caso debido a la cercanía y similitud entre los factores que afectan las estaciones limnimétricas se obtuvo un valor superior a $R=0.7$ que permite la aplicación de este método para disminuir la ausencia de datos, uno de los procesos se puede identificar en la ilustración 38.

Debido a que de los 312 datos totales de caudales de cada estación desde 1992 a 2017 solo se mantuvieron vacíos nueve, que representan una cantidad poco significativa del 2.88% se aplicó como segundo método la media aritmética “uno de los más antiguos y sencillos métodos para estimar datos faltantes, p.15” (R. Medina, 2008).

Una vez obtenidos los datos reales de caudal medio mensual y de ser sometidos a Python con el método Q95 se identificó el caudal ecológico de ambas estaciones con valores de $0.0292 \text{ m}^3/\text{s}$ en La Muralla y $0.0347 \text{ m}^3/\text{s}$ en El Bosque (tabla 3) (ilustración 39).

Una vez realizado el proceso metodológico en el que se incluyen las áreas de influencia sobre la cuenca de cada una de las estaciones limnimétricas, se concluye que Puente Manrique tiene el mayor caudal ecológico, seguido de La Muralla y El Bosque (ilustración 40), esto debido a los valores obtenidos durante el proceso en Python y su gran área de influencia, lo que afecta directamente al volumen de agua necesario para el sostenimiento a nivel ecosistémico.

Ilustración 38 Método de correlación- regresión lineal entre las estaciones La Muralla y El Bosque con un r superior a 0.7

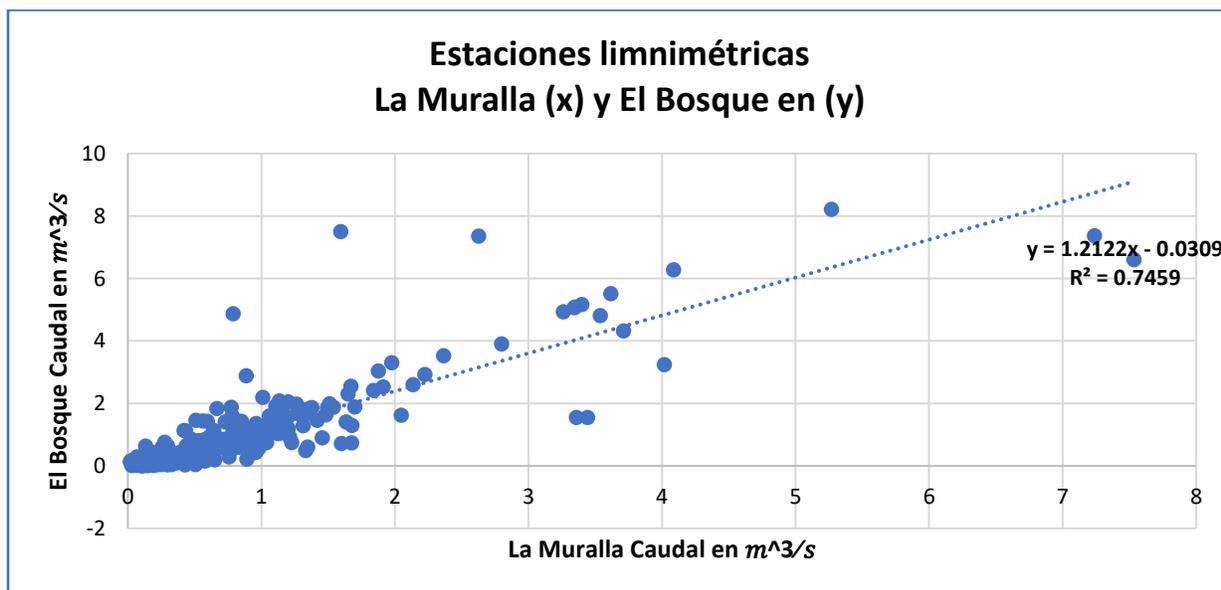


Ilustración 39 Caudal ecológico encontrado al realizar el proceso en Python de cada una de las estaciones.

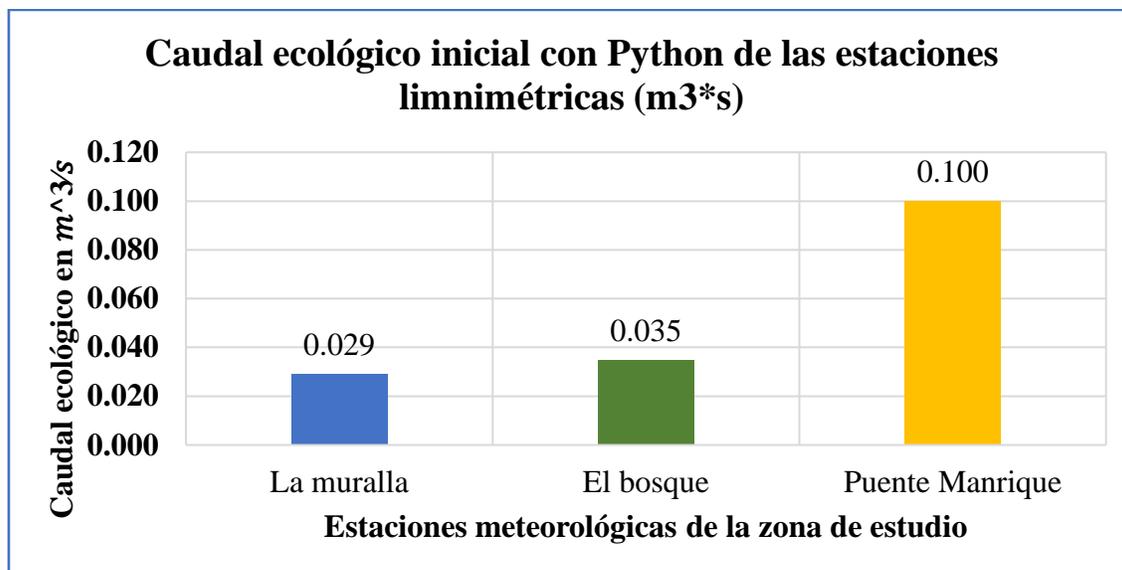
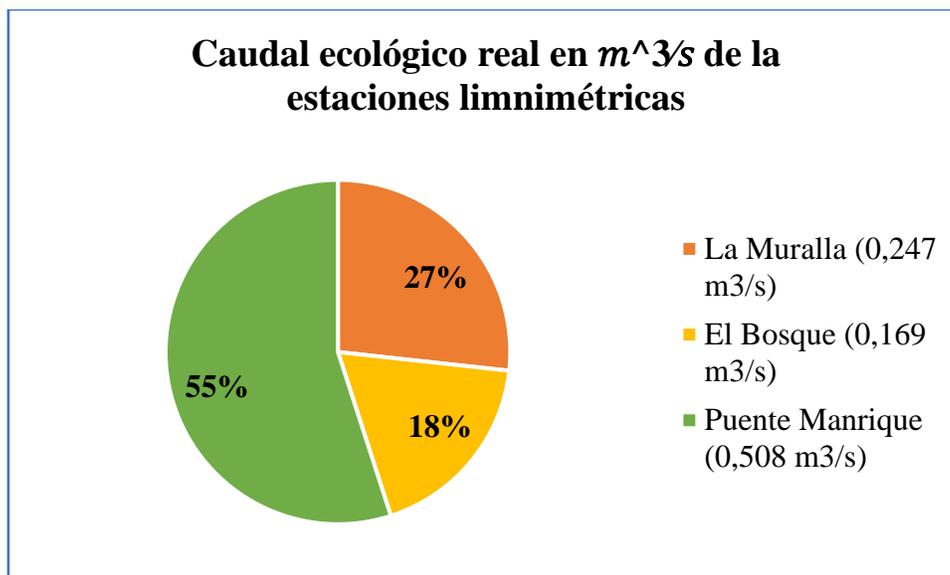


Ilustración 40 Caudal ecológico real en m^3/s de las estaciones limnimétricas después de aplicar la ecuación 1



Al realizar un análisis comparativo con la literatura se identifica que el valor del caudal ecológico a nivel general de la cuenca del río Balsillas es de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ según (Ecoforest Ltda., 2020) y de $0.565 \text{ m}^3/\text{s}$ según (Camelo, 2018), datos que se encuentran cercanos a los obtenidos durante la metodología, estas variaciones se pueden deber al procedimiento elegido, a las estaciones seleccionadas y al comportamiento hídrico.

Ya que al considerar que la cuenca del río Balsillas tiene como “tributarios importantes el río Subachoque, el río Bojacá, las quebradas San Joaquín, Yerbabuena, Pozo Amarillo y Los Curubitos” (Ecoforest Ltda., 2020, p.424) se espera que dependiendo de la zona que se analice varíe el caudal.

Sin embargo, se espera que los resultados no superen los $0.565 \text{ m}^3/\text{s}$ del caudal ambiental general, lo que se cumple al realizar el proceso y obtener los resultados (tabla 17), cabe aclarar que esta información de caudal ecológico también está expuesta a variaciones debido a errores de medición instrumental y humano en las estaciones limnimétricas como se expresó anteriormente, de igual forma el obtener una R con correlación de 0.70 en el método de regresión lineal puede generar una influencia sobre el valor final. Siendo el valor identificado en la tabla 3 el caudal ecológico o volumen de agua necesario y requerido para el sostenimiento de los ecosistemas y el desarrollo de las actividades socioeconómicas de la comunidad tal y como especifica el (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2015).

Oferta hídrica total superficial (OHTS):

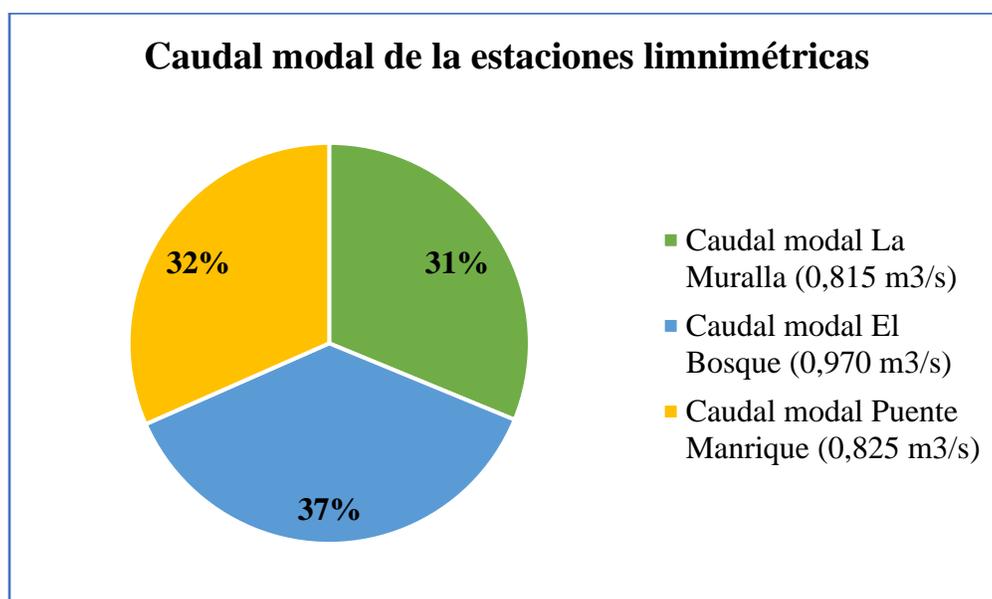
Esta oferta se identificó a partir de los caudales medios mensuales en las estaciones limnimétricas, de donde se obtuvo el caudal modal o “caudal de mayor probabilidad de

ocurrencia a lo largo del año” (Infante & Ortiz, 2008), este valor se usa debido a que representa un valor significativo en el comportamiento del recurso hídrico.

En la ilustración 41 se puede identificar que El Bosque tiene un mayor caudal, seguido de Puente Manrique y finalizando con La Muralla, este es el comportamiento esperado, puesto que tanto la Muralla como Puente Manrique se encuentran espacialmente cerca y a mayor elevación (tabla 3), motivo por el cual tienen prácticamente el mismo caudal modal en comparación con El Bosque, que aumenta su caudal al encontrarse a una menor altura y recibir el cauce de quebradas al interior del municipio.

Este caudal se empleó en unión con el área de influencia de cada una de las estaciones limnimétricas (ilustración 42), esta área se determinó a partir del método de Polígonos de Thiessen (Th), el motivo por el que se utilizó es que “no presenta mayores complicaciones en su aplicación además de la ubicación espacial de las estaciones y no requiere de una inversión excesiva de tiempo, ni materiales” (Pizarro et al., 2003,p.32).

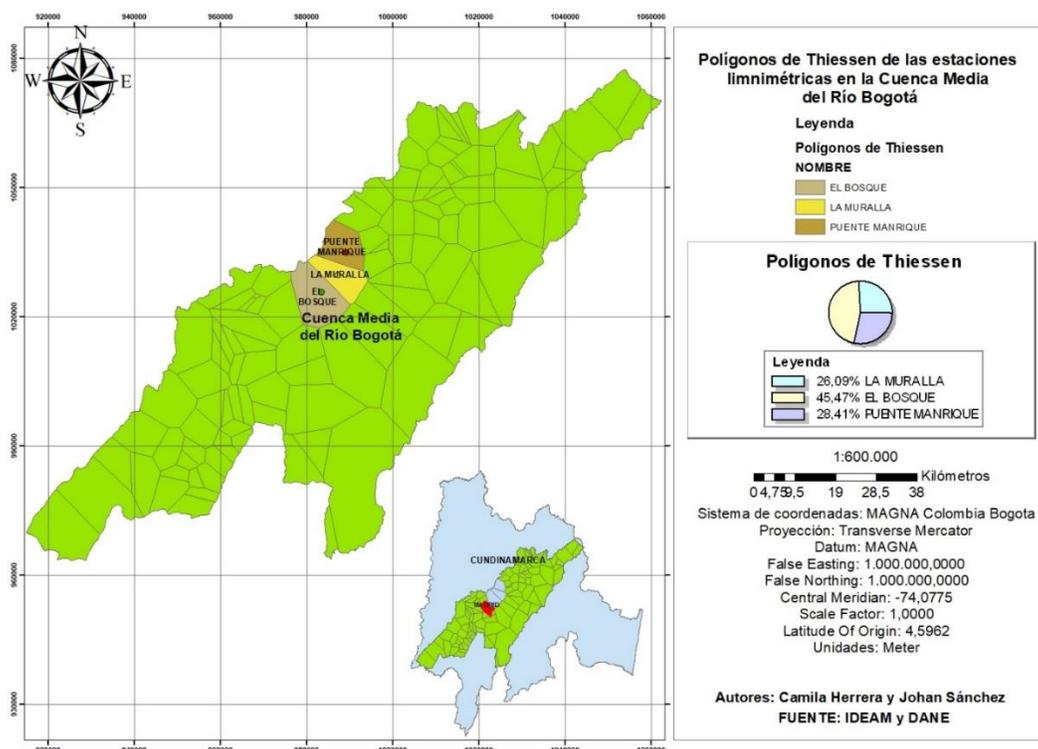
Ilustración 41 Caudales modales de las estaciones limnimétricas en m^3/s



Este proceso consiste en “asignarle a cada estación una superficie, la cual es obtenida representando estaciones en un plano y uniéndolas a través de rectas; a estas rectas posteriormente se les trazan mediatrices hasta que se intersecan entre sí” (Pizarro et al., 2003, p.32), de tal forma que al final se obtiene la superficie de influencia de cada una de las estaciones como se puede observar en la ilustración 42.

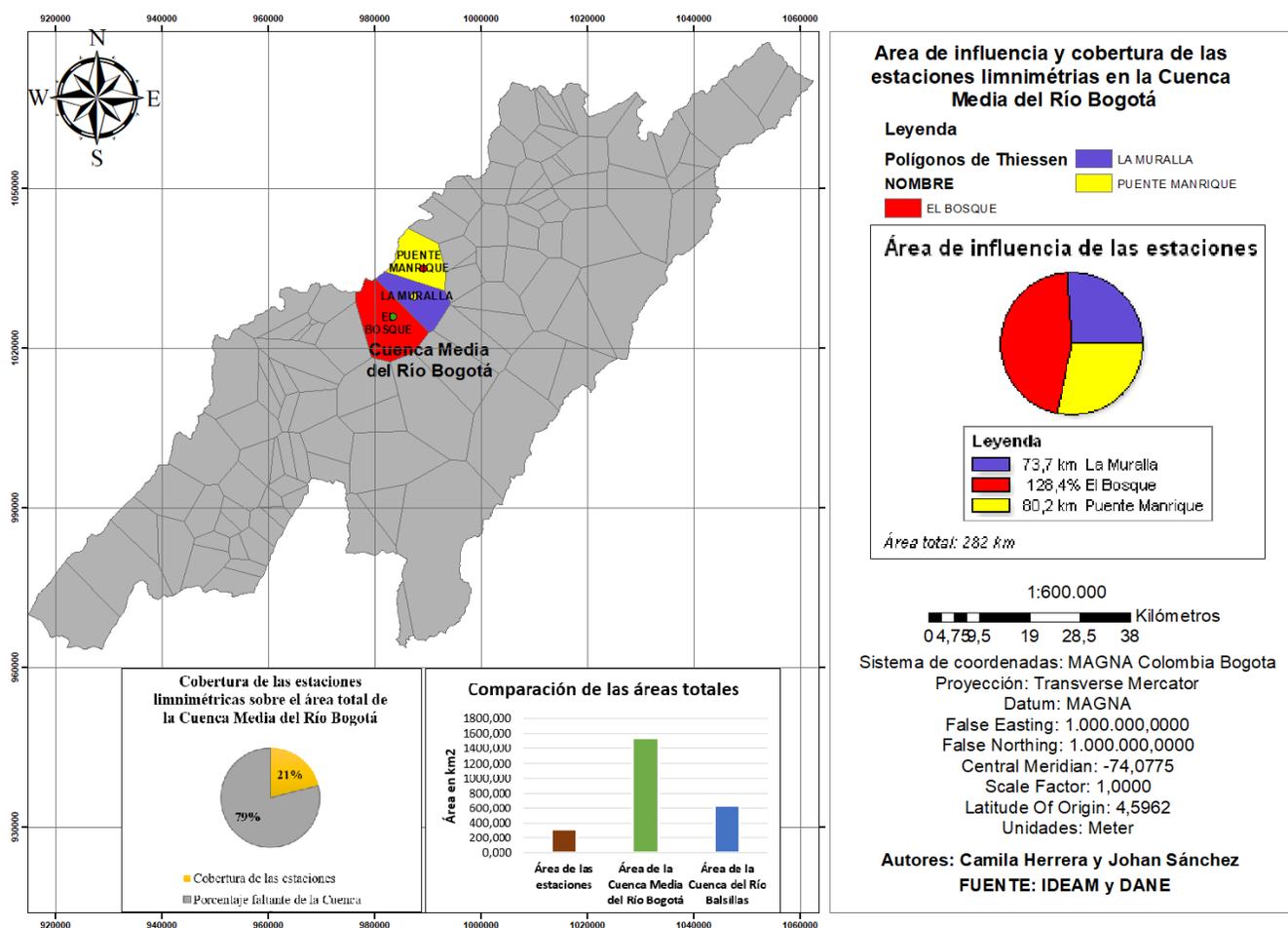
De igual forma en la ilustración 35, la estación limnimétrica que tiene mayor cobertura sobre la superficie es El Bosque, seguido de Puente Manrique y finalizando con La Muralla, valor que tiene influencia directa al calcular la Oferta Hídrica Total Superficial, pues dependiendo de la cobertura en área que tenga la estación sobre la zona, se le otorga un mayor o menor grado de importancia e influencia sobre la oferta.

Ilustración 42 Mapa de los polígonos de Thiessen de las estaciones limnimétricas seleccionadas en la cuenca media del río Bogotá.



Por otra parte, como se identifica en la ilustración 43 las tres estaciones limnimétricas seleccionadas representan una cobertura de la zona total de 324.722 km² o 21% del área de la Cuenca Media del río Bogotá que tiene 1544,06 km² y en comparación con la Cuenca del río Balsillas una inclusión del 52% de la superficie, siendo 624.420 km² el área de este río (Tabla 3), para conseguir resultados más inclusivos se recomienda hacer manejo de una mayor número de estaciones limnimétricas ubicadas en la Cuenca.

Ilustración 43 Mapa de las áreas de influencia de las estaciones limnimétricas y su cobertura total en la cuenca media del Río Bogotá.

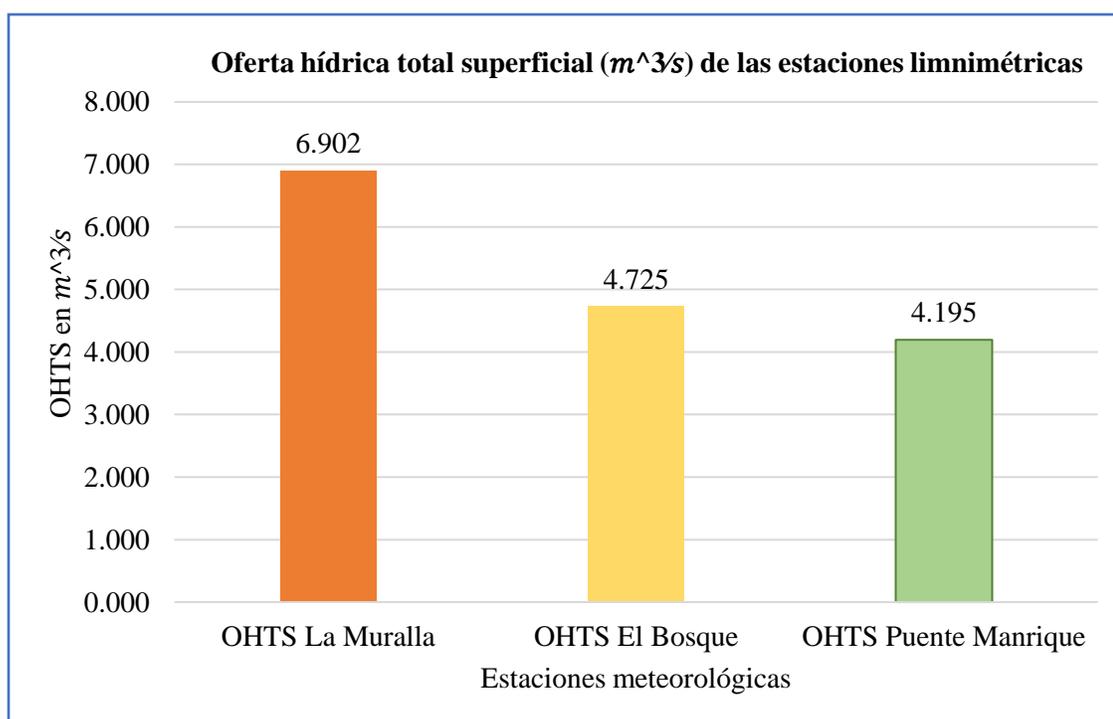


Una vez encontradas las áreas, se identificaron las Ofertas hídricas totales superficiales de cada una de las estaciones (ilustración 44), calculando así un valor total de $5.27 \text{ m}^3/\text{s}$ que es el “volumen total de agua que fluye por la fuente abastecedora después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo-Cobertura vegetal” (DANE, 2011,p.1).

Oferta hídrica total disponible (OHTD):

La oferta hídrica de una cuenca corresponde al “volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre” (CORPONARIÑO, 2009,p.1) y se cuantifica empleando la ecuación 2, donde se realiza una resta entre la Oferta hídrica total superficial (tabla 21) y el caudal ecológico (tabla 19), consiguiendo así los resultados de disponibilidad de recurso de $4.959 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ilustración 38).

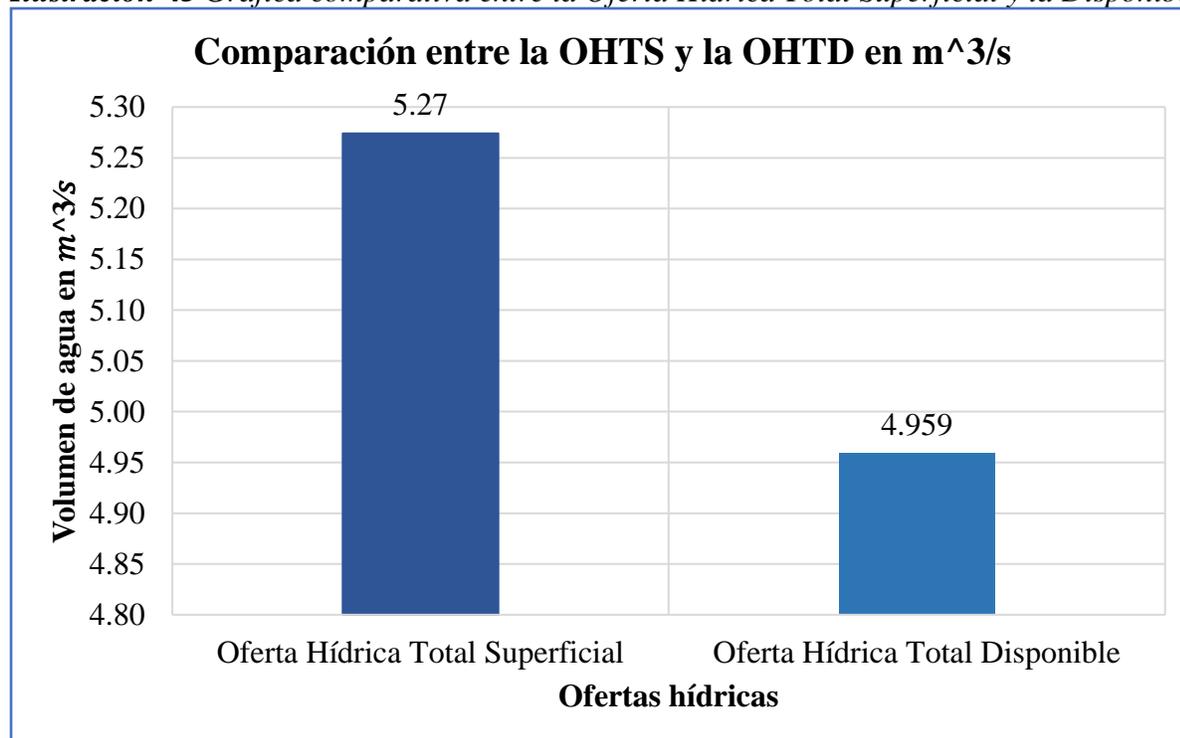
Ilustración 44 Datos de Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) en m^3/s .



El motivo por el que se deben restar ambos resultados es que al sustraer el caudal ecológico se mantiene la cantidad de agua requerida para que los ecosistemas y sistemas fluviales no sufran afectación por déficit del recurso hídrico y puedan mantener un adecuado funcionamiento a lo largo del año, ese es el motivo por el que se debe emplear esta oferta y no la OHTS. La ilustración 45 permite identificar que la diferencia en volumen de agua al retirar el caudal ecológico es significativa y tiene una afectación directa sobre el consumo del usuario.

Teniendo en cuenta que la microcuenca del río Subachoque es el mayor contribuyente de la subcuenca del río Balsillas y este pertenece y contiene el mayor aporte de caudal a la cuenca media del río Bogotá, en unión con otras subcuencas importantes como el río Soacha, Chicú, Frío, Teusacá, Negro y el Embalse Muña, es de esperarse que su Oferta hídrica total superficial sea mayor en m^3/s en comparación con los demás cuerpos de agua. (ilustración 46 y 47), lo que demuestra la veracidad de la información identificada en la metodología.

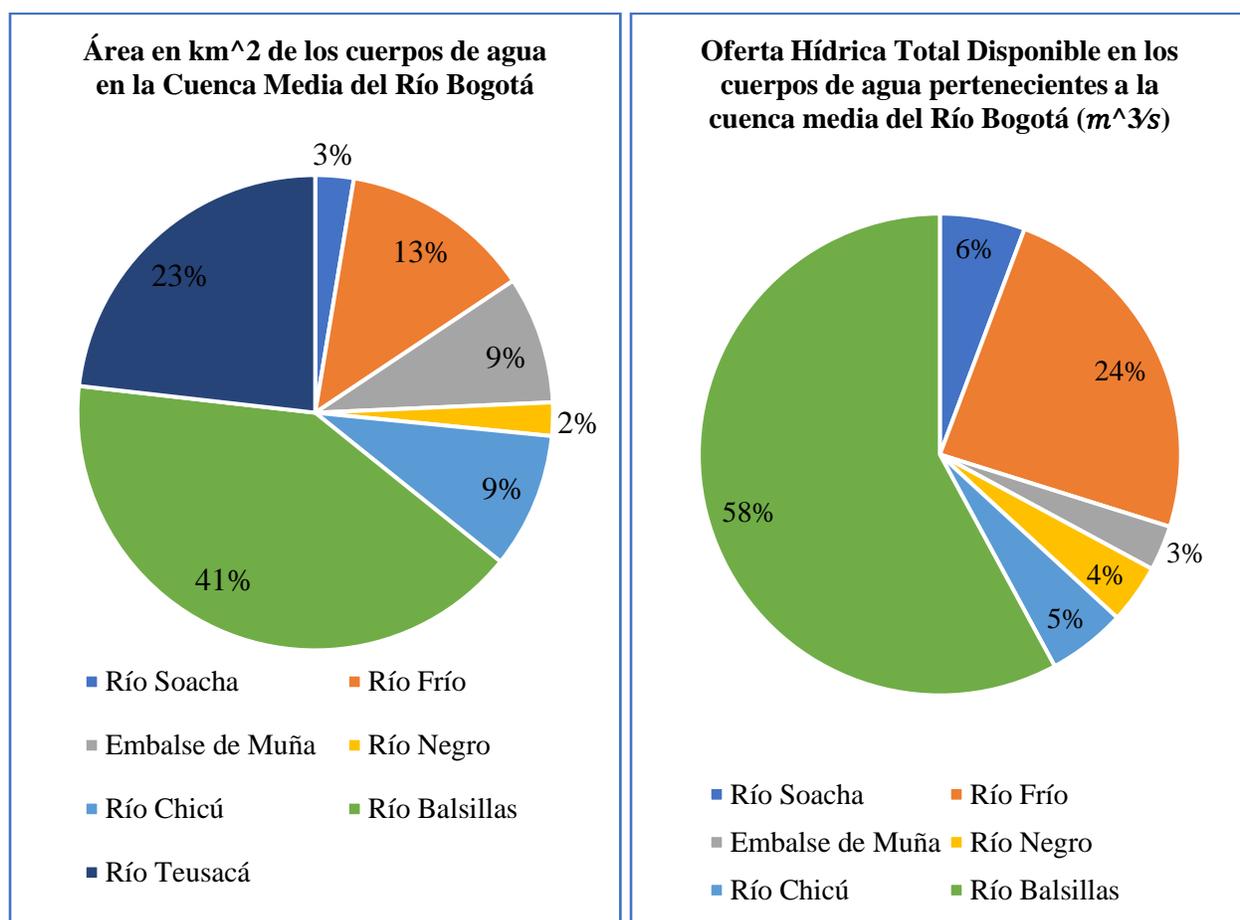
Ilustración 45 Gráfica comparativa entre la Oferta Hídrica Total Superficial y la Disponible.



Esto se comprueba al identificar en la ilustración 46 que la subcuenca del río Balsillas tiene la mayor área y cobertura en toda la Cuenca Media del río Bogotá, lo que repercute directamente sobre el caudal que recolecta al realizar su recorrido natural, esta correlación directa entre área y caudal se identifica también al analizar el comportamiento del segundo cuerpo de agua más grande, el río Frío (ilustración 40).

Ilustración 46 Área de los cuerpos de agua significativos en la Cuenca Media del Río Bogotá

Ilustración 47 Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD) de la Cuenca Media del Río Bogotá



(Camelo, 2018)

Comparando la ilustración 46 y la ilustración 47, se logra identificar que los ríos más importantes de la cuenca media del río Bogotá, como lo son el Río Balsillas y el Río Frío, tienen una relación directamente proporcional entre su área de cobertura y la oferta hídrica total disponible que estos presentan, pues estos ríos son los de mayor área y a su vez son los de mayor OHTD.

Evaluación del potencial hídrico de la microcuenca del río Subachoque

La oferta hídrica total disponible de la microcuenca del río Subachoque se mantiene constante para efectos de uso dentro del modelo, pues se asume que no habrá alteraciones significativas a la cuenca de este río, manteniendo así las condiciones actuales y en un escenario positivo mejorando ciertos parámetros de esta fuente hídrica, esto se asume teniendo en cuenta que en el año 2014 el consejo de estado de Colombia emitió la denominada sentencia del río Bogotá.

Sentencia que tiene como objetivo “recuperar el río Bogotá, a través de la gestión integral, combinando elementos ambientales, sociales, económicos e institucionales” (IDEAM, 2016), con esta sentencia, los diferentes actores declarados responsables deben crear estrategias y asignar recursos para cumplir con la finalidad anteriormente mencionada. A pesar de que esta sentencia tiene un plazo máximo de aplicación de tres años (2014-2017), las estrategias, objetivos, metas, acciones, proyectos, entre otros, que se ejecuten se harán en su mayoría dentro de planes de ordenamiento territorial, planes de desarrollo municipal, políticas públicas o planes de acción, las cuales tienen un periodo de vigencia de mínimo de un periodo administrativo (cuatro años) y algunas de cuatro periodos administrativos (16 años), por lo cual el tiempo de impacto es bastante amplio.

Dentro de los declarados responsables por parte de la sentencia del río Bogotá se encuentran todos los municipios de las cuencas alta, media y baja , lo que en otras palabras da a entender que uno de los responsables directos es el municipio de Madrid, junto con las demás áreas que son influencia directa del río Subachoque, esto obliga a que todos estos municipios deben generar estrategias y planes para la recuperación del cuerpo hídrico y así mejorar de manera directa la calidad del agua y las condiciones ecosistémicas de la subcuenca del río Balsillas y contribuir con la recuperación de la cuenca del río Bogotá.

Además, teniendo en cuenta lo encontrado en la identificación de usos del suelo de los diferentes planes o esquemas de ordenamiento territorial, donde se especifican diferentes estrategias para la conservación de la cuenca hidrográfica del río Balsillas y su cauce, se espera que las condiciones ecosistémicas y de calidad de agua mejoren y que este cuerpo de agua se convierte en un pilar fundamental para el desarrollo de la región.

Si se cumplen las diferentes estrategias tanto de la sentencia del río Bogotá como las de los planes de ordenamiento territorial, es de esperar que la oferta hídrica total superficial del río Balsillas no sufra cambios drásticos a futuro y por ende que la oferta hídrica total disponible no disminuya al pasar el tiempo.

En la ilustración 15 se logra observar que la demanda hídrica va en aumento, como ya se había explicado anteriormente, esta se interseca con la oferta hídrica total disponible que se mantiene constante en el año 2085, es decir, que en ese año el balance entre oferta y demanda aún se mantiene positivo, para el año siguiente este balance se torna negativo, pues la demanda hídrica doméstica sigue creciendo de manera acelerada, aumentando así la demanda total, haciendo que esta supere la oferta hídrica total disponible.

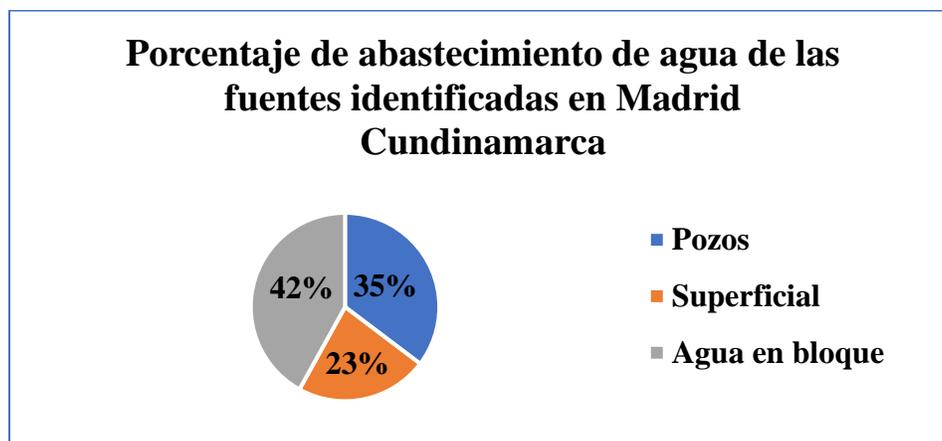
Esto no quiere decir que para el año 2085 el río Subachoque se seque o quede totalmente sin agua, sino que el caudal que quedaría a la salida de este sería apenas el caudal ambiental, si este caudal ambiental es explotado se generaría un desastre ambiental en toda la cuenca pues se arrebataría la fuente hídrica necesaria para mantener los diferentes procesos ecosistémicos y biológicos de la zona.

Es de tener en cuenta que este escenario se dibuja haciendo la suposición de que la totalidad de la población de Madrid Cundinamarca y la totalidad de sus sectores productivos se abasteciera del río, escenario que no ocurre en la realidad pues en la demanda doméstica, la microcuenca del río Subachoque tan solo sufre un 23% de esta demanda, siendo las principales fuentes de abastecimiento para consumo humano los pozos profundos y la adquisición de agua en bloque desde Bogotá como se observa en la ilustración 48.

Teniendo en cuenta que a medida que transcurren los años de proyección, la demanda que más participación va adquiriendo es la demanda doméstica, es de inferir que, si se mantiene el escenario de abastecimiento actual, el tiempo en el que se puede llegar a explotar el recurso hídrico debe aumentar, ya que se disminuye la presión doméstica sobre esta fuente gracias a la posibilidad de abastecerse de otras fuentes.

Por otro lado, el continuo crecimiento poblacional de la región hace necesario que se explore la opción de diversificar o potencializar las fuentes de abastecimiento hídrico, es por ello, que la Alcaldía Municipal de Madrid a través de la Empresa de Acueducto Aseo y Alcantarillado de Madrid (EAAAM) han venido actualizando y tecnificando la planta de potabilización para garantizar la prestación del recurso hídrico durante los próximos 25 años según la (Alcaldía de Madrid, 2019).

Ilustración 48 *Porcentaje de participación de abastecimientos de las fuentes hídricas actualmente activas en Madrid Cundinamarca*



(SUI, n.d.)

Esto abre la posibilidad de que la microcuenca del río Subachoque se convierta en una fuente importante del recurso hídrico, siempre y cuando se cumpla con los parámetros necesarios, así como la tecnificación y adaptación de las instalaciones de potabilización y que este proceso sea viable en el campo social, ambiental y económico.

También se debe tener en cuenta un posible escenario de pérdida de la calidad del agua a través del tiempo, asumiendo que el río llegase a ser utilizado como punto de vertimiento o afectado por otros fenómenos que puedan conllevar a un deterioro en la calidad del recurso, con ello un mayor costo de tratamiento, bajo estas condiciones se puede llegar a disminuir el tiempo de disponibilidad debido a que sus condiciones fisicoquímicas que lo harían inviable económicamente.

Estos escenarios dejan claro que en algún momento el río tendrá una alta presión, ya sea por el uso con fines de potabilización, que se pierda la calidad fisicoquímica o que su entorno se vea alterado, situaciones que afectan de manera directa la disponibilidad del recurso y que

pueden llegar a disminuir o aumentar el tiempo de explotación de esta fuente, hecho que dependerá de la correcta gestión y administración por parte de la alcaldía del municipio, por los entes territoriales colindantes y por las autoridades ambientales competentes de esa zona.

Por otra parte, para demostrar la aptitud de uso, se analizaron diferentes estudios sobre calidad del agua en la microcuenca del río Subachoque, de tal forma que se pueda establecer un comparativo entre los resultados registrados provenientes de diferentes fuentes de información, a continuación, se mostrarán los resultados de calidad de agua tratada para consumo humano y agua cruda.

El primer estudio analizado abarca estas dos temáticas en el de Evaluación de parámetros fisicoquímicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque, el cual:

“Determinó si el agua tratada para consumo humano del área urbana en el municipio cumplía con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la Resolución 2115 de 2007. Para ello, evaluaron muestras de agua cruda del río y muestras de aguas tratadas por la planta de tratamiento del municipio”(Rincón-Silva, 2017,p.1.).

La cual determinó que “la fuente natural, ya cumple en su mayoría con los parámetros de la legislación colombiana. Por parte de la planta de tratamiento y alcantarillado del municipio, cumple, en general, con los parámetros exigidos por el ministerio de salud y protección social, se concluye que la calidad del recurso es eficiente, no obstante, se requieren algunas mejoras, especialmente en la remoción de algunos metales” (Rincón-Silva, 2017,p.19).

Al investigar el agua tratada para consumo humano se consultó el Instituto Nacional de Salud, que, en su boletín de vigilancia de la Calidad de Agua para Consumo Humano, establece un Índice de Riesgo de Calidad del Agua Potable (IRCA) con un resultado de 0,0 y un nivel de

riesgo: Sin riesgo según (Instituto Nacional de Salud, 2019), de igual forma según información de diferentes reportes con variación en el punto de toma de muestra, obtenidos del Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI), el nivel de riesgo se encuentra en la clasificación sin riesgo según la (Gobernación de Cundinamarca, 2019).

Por otra parte, la información del agua cruda registrada en el “Boletín del índice de calidad del agua en corrientes superficiales “ICA” 2017” indica que “la entrada del río Balsillas presenta un descriptor de calidad Malo, sin embargo, su calidad es mejor a la de la corriente principal después de la descarga del Río Tunjuelo” (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2017,p.27.), el ICA presentado en este documento es de 0,3583, dándole una calificación de malo y una señal de alerta en color naranja (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2017).

Con base en estos resultados se supone que la calidad de agua tratada en la Planta de Tratamiento municipal cumple con los parámetros necesarios para consumo humano, por otra parte, los estudios analizados sobre calidad de agua cruda resultan no concluyentes, puesto que contienen resultados donde se omiten parámetros o no se tiene una guía donde se muestre cuáles son los requisitos de una calidad de agua cruda buena, como lo es el caso del estudio de Rincón-Silva.

Por lo tanto, se recomienda basándose en que no existen estudios puntuales recientes respecto a la calidad de agua de la microcuenca del río Subachoque, hacer levantamiento de información nueva y actualizada de la zona que permita realizar análisis de disponibilidad del recurso hídrico, de igual forma, es importante aclarar que los objetivos de esta investigación no incluyen este tipo de análisis.

Conclusiones

Se determinó que la demanda hídrica actual de municipio de Madrid corresponde a $3,12 \text{ m}^3/\text{s}$, que proyectando el consumo a 25 años este sería de $3,39 \text{ m}^3/\text{s}$, para el año 2070 sería de $4,07 \text{ m}^3/\text{s}$ y finalmente para el año 2085 sería de $4,93 \text{ m}^3/\text{s}$, demandas que son profundamente influenciadas por el sector agrícola y por el crecimiento poblacional, esto se debe a que Madrid Cundinamarca tiene una situación compleja, debido a que históricamente ha sido agrícola y su principal sector productor es este, pero el municipio ha venido transformándose, ya que está incursionando en la vocación industrial y el territorio es afectado por el fenómeno de explosión demográfica de la región Bogotá – Cundinamarca, donde Madrid ha empezado a considerarse una ciudad dormitorio aumentando así su población de manera acelerada.

También se logró identificar que el crecimiento poblacional de Madrid se da manera exponencial según la información de los diferentes censos del DANE, esto por el fenómeno poblacional mencionado anteriormente, crecimiento que supone una gran presión para las fuentes hídricas de la zona y en la cuenca, esto se evidencia en el aumento de la demanda hídrica de los últimos años.

El caudal ecológico calculado para la microcuenca del río Subachoque fue de $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla 19) valor que está dentro de los rangos lógicos y medios comparados con otros caudales ecológicos de investigaciones realizadas por (Ecoforest Ltda., 2020) y (Camelo, 2018) como se observa en la tabla 24, y los diferentes caudales ecológicos de las demás fuentes tributarias al río Bogotá, determinando así que este es un valor correcto y que la variación entre cada uno de los datos de caudal ecológico se puede deber a la diferencia de metodologías aplicadas y los datos iniciales tomados para llegar a este.

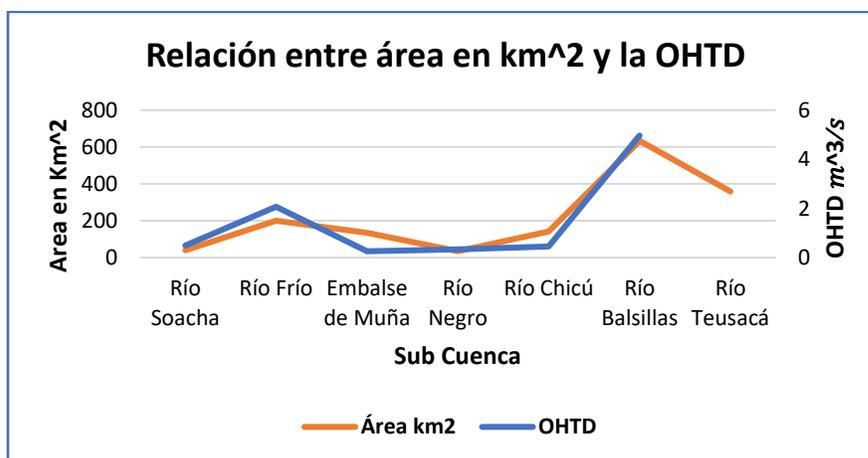
Tabla 24. Comparación entre los caudales ecológicos del Río Balsillas según diferentes fuentes.

Comparaciones de caudales ecológicos en m^3/s		
(Ecoforest Ltda., 2020)	(Camelo, 2018)	Fuente propia
0,15	0,565	0,31

En cuanto a la OHTS se encontró que esta corresponde a $5,27 m^3/s$, siendo la de mayor caudal de todos los tributarios de la cuenca media del río Bogotá, hecho que se corroboró con revisión bibliográfica específicamente por la investigación hecha por (Camelo, 2018), donde se logra evidenciar que la oferta más importante de la cuenca del río Bogotá es la subcuenca del río Balsillas, del cual su principal y más grande tributario es la microcuenca del río Subachoque, además, se encontró una relación entre área y OHTD, donde el río Balsillas es la subcuenca hidrográfica más grande de la cuenca del río Bogotá y a su vez la de mayor oferta hídrica (ilustración 49), de este mismo modo se comporta la microcuenca del río Subachoque, donde esta sigue este comportamiento, pues ocupa una gran área respecto al río Bojacá, por ello su alto valor de caudal tanto ecológico como de OHTD.

La oferta hídrica total disponible OHTD que se calculó mediante la diferencia entre la OHTS y el caudal ecológico es de $4,96 m^3/s$, esta al ser comparada con la demanda hídrica del municipio arrojó que tiene una disponibilidad temporal de 65 años, es decir que, si la microcuenca del río Subachoque abasteciera por completo al municipio de Madrid Cundinamarca, este lograría suplir las necesidades hídricas hasta el año 2085, año en el cual el municipio tendría un total de 1'383,053 habitantes.

Ilustración 49. Relación entre el área en km² y la Oferta Hídrica Total Disponible para cada subcuenca de la Cuenca Media del río Bogotá



Además, teniendo en cuenta las diferentes estrategias de usos del suelo por parte de los municipios de Subachoque, El Rosal, Facatativá, Madrid y Mosquera se espera la condiciones del río no empeoren, sino que por el contrario estas mejoren, afectando así de manera positiva la disponibilidad y la calidad del recurso, sumado a estas estrategias de ordenamiento se encuentra la sentencia del río Bogotá, sentencia que juega un papel importante en la administración y gestión del recurso hídrico en toda la región y que influenciará en una alta medida el desarrollo de esta zona y en la recuperación de la cuenca.

Por último, se concluye que la disponibilidad del recurso hídrico depende en parte de la calidad de este, por lo que si disminuye la calidad del agua se espera una reducción en la posibilidad de uso tanto a nivel doméstico como en las diferentes actividades productivas. Sin embargo, al no existir estudios o informes recientes y suficientes de calidad del recurso en la microcuenca del río Subachoque no se puede concluir su estado, se recomienda realizar procesos investigativos actuales y completos que permitan complementar la evaluación de la disponibilidad en esta investigación.

Referencias

Aguirre, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual Redesma*, 5(1), 12.

http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1995-10782011000100003&script=sci_arttext&tlng=en

Alcaldía Municipal El Rosal. (2015). *EOT Municipio El Rosal*. 7.

Alcaldía de Envigado, & UNAL. (2014). *Actualización Del Mapa De Coberturas Vegetales, Análisis Multitemporal Y Métrica Del Paisaje Del Municipio De Envigado*.

https://www.envigado.gov.co/planeacion/SiteAssets/010_ACORDEONES/DOCUMENTOS/2018/09/Informe_Final_Coberturas_Vegetales_Envigado.pdf

Alcaldía de Madrid. (2018). *Nuestro municipio*. <http://www.madrid-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

Alcaldía de Madrid. (2019). *Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado municipal formulado*. <http://www.eaaa-madrid-cundinamarca.gov.co/noticias/plan-maestro-de-acueducto-y-alcantarillado-municipal>

Alcaldía de Madrid. (2020). *Plan de Desarrollo 2020-2024*. 1–285. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>

Alcaldía Municipal de Mosquera. (2013). *Decreto No 182 de 2014*. 2.

Alcaldía Municipal de Subachoque. (2000). *Mapas usos del suelo*.

Alcaldía Municipal El Rosal. (2011). *Revisión EOT El Rosal Usos de suelo rural*.

Aparicio Mijares, J., Lafragua Constreras, J., Gutierrez López, A., Mejía Zermeño, R., & Aguilar Garduño, E. (2014). *Programa Hidrológico Internacional Evaluación de los recursos hídricos Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas 4*.
http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/PHI_Report_Evaluacion_de_los_Recursos_Hidricos.pdf

Aponte Rodríguez, W. A. (2011). Urban morphology of Madrid, Cundinamarca. *Perspectiva Geográfica: Revista Del Programa de Estudios de Posgrado En Geografía*, 16(1), 211–232.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4040099&info=resumen&idioma=SPA>

Ballén, J., García, D., & Olarte, I. (2018). Atlas Ecléctico Madrid Cundinamarca. In *Pontificia Universidad Javeriana*. https://issuu.com/centrosurbanos/docs/atlas_opt

Cabra Soto, A. del P., & Corradine Moyano, M. F. (2014). *Estimación del caudal ecológico por los metodos 7Q10, Q95 y los factores de reducción del 25% en el Río Ocoa, a partir de la generación de caudales diarios utilizando el modelo agregado de tanques*.
[http://repository.ucatolica.edu.co/jspui/bitstream/10983/2100/1/Estimación_de_caudal ecológico.pdf](http://repository.ucatolica.edu.co/jspui/bitstream/10983/2100/1/Estimación_de_caudal_ecológico.pdf)

Cámara de Comercio de Bogotá. (2014). Caraterización económica y empresarial de diecinueve municipios en Cundinamarca. In *Revista Médicas UIS* (Vol. 27, Issue 2).

Camelo, S. (2018). *Actualización del componente de oferta hídrica de la Evaluación Regional del Agua- ERA en la cuenca Media y Baja del Río Bogotá*. 145.
file:///C:/Users/herre/Downloads/Camelo_Jiménez_Stephany_Julieth_2018.pdf

Casanova, J., & Figueroa, A. (2015). Determinación Del Caudal Ambiental Y Su Relación Con Variables Indicadoras De Calidad Del Recurso Hídrico. *Luna Azul*, 40, 5–24. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.2>

Castañeda, P. (2014). Zonificación climatológica según el modelo Caldas - Lang de la cuenca del río Negro mediante el uso del sistema de información geográfica SIG. *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios*, 21. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11701>

CORPONARIÑO. (2009). *Índice de Escasez de Agua Superficial Cuenca Río Pasto, 2008 - 2009*. 98–108. <https://www.crq.gov.co/2020/images/Info-Ciudadano/Descarga documentos/indicedeUsodelAgua2016.pdf>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2017). *Boletín del índice de calidad del agua en corrientes superficiales “ICA” 2017*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ada16a46c9f6.pdf>

DANE. (2005). *Censo Nacional 2005*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>

DANE. (2011). *Ficha técnica Índice de escasez de agua superficial*. 1–4. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Indice.pdf>

DANE. (2019). *Censo Nacional 2018*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>

DANE. (2021). *Directorio Estadístico de Empresas*.

<https://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/servicios-informacion/directorio-estadistico/directorio-estadistico-de-empresas>

Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación. (2011). *Manual De Gestión Ambiental*. https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/A103M02-manual-gestion-ambiental V00.pdf

E.S.E. Hospital Santa Matilde. (2020). *Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo* (Issue 11).

Ecoforest Ltda. (2020). *Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca del río Balsillas*. 520.

ENA. (2018). Cartilla ENA 2018. *Cartilla ENA 2018*, 56.

Espinel Ortiz. (2013). *Proyección de población*.

Gamboa De La Torre, N., & Sierra Casas, D. M. (2018). *Cálculo De Los Módulos De Consumo De Agua De Las Veredas La Caja Y Rosario En El Municipio De Choachí, Dentro Del PNN Chingaza Y Su Zona Con Función Amortiguadora*. 99.

<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13052>

Gobernación de Cundinamarca. (2019). *Informe de resultados de la calidad del agua para consumo humano*.

http://www.sui.gov.co/riesgo/anexos/sui_ane_2020_1_11013594_2117254.pdf

Goyena, R. (2019). Estimación del caudal ecológico en la cuenca del Río Subachoque, municipio El Rosal, a partir de la generación de caudales medios utilizando el modelo agregado

de tanques. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Herrera, C., Campos, J., & Carrillo, F. (2017). Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigación y Ciencia*, 25(71), 34–44.

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/674/67452917005/html/index.html>

IDEAM. (1987). *Manual del observador meteorológico estación climática*.

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/013353/ManualOMeteorologico.pdf>

IDEAM. (2016). *Sentencia del Río Bogotá*. <http://www.ideam.gov.co/web/ocga/sentencia>

IDEAM. (2019). *Definiciones Del Catálogo Nacional De Estaciones*. 11–12.

<http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/Definiciones+CNE.pdf/25e1cca5-ee47-4eaf-86c0-c4f5192a9937#:~:text=Estación Limnimétrica%3A Estación donde se,observación del estado del mar.>

Infante, H., & Ortiz, L. (2008). Ajuste metodológico al Índice De Escasez De Agua propuesto por el IDEAM en el Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pamplonita, Norte de Santander, Colombia. *Colombia Forestal*, 11, 165–174.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3026/4660>

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

Instituto Nacional Agropecuario. (2020). *Censo Pecuario año 2020*.

<https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx>

Instituto Nacional de Salud. (2019). Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. *Hojas de Divulgación Técnica, Diciembre(99)*.

[https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin SIVICAP/boletin-vigilancia-calidad-agua-febrero-2019.pdf](https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/boletin-vigilancia-calidad-agua-febrero-2019.pdf)

López, L. (2004). Población Muestra Y Muestreo. *Punto Cero*, 09(08), 69–74.

<http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>

Medina, A. (1981). Análisis comparativo de zonificaciones climáticas de Caldas-Lang y Holdridge. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/17697/2019arlesmedina.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Medina, R. (2008). *Estimación estadística de valores faltantes en series históricas de lluvia*. 5–26. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1126>

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible. (2014). RAS 2000 Título “B” Sistemas de Acueducto. In *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000*. <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOBO30714.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *RAS 2000 001*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4595-gobierno-unifica-el-codigo-de-colores-para-la-separacion-de-residuos-en-la-fuente-a-nivel-nacional>

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2003). *RAS - 001.pdf*.

Muñoz, H. (2006a). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial*. 2006(017), 1–155.

Muñoz, H. (2006b). *Uso de suelo urbano de Madrid*. 6000.

Perez A. (2013). Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la Gestión Integral del Recurso Hídrico. In *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Pizarro, R. T., Ramirez, C. B., & Pablo Flores, J. V. (2003). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos
Comparison analyses of five mean areal rainfall estimation methods in widely varying years. *Bosque*, 24(3), 31–38. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v24n3/Art03.pdf>

Rincón-Silva, N. G. (2017). Evaluación de parámetros físico-químicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque. *Tecnogestión*, 13(1), 6–23.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/12123>

Rincón, M. J. (1984). Métodos Para Proyecciones. In *Centro Latinoamericano de demografía*.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/8754/S8400128_es.pdf?sequence=1

Schwarz Pacheco Mestrinho, S., Fernández Cirelli, A., & Di Risio, C. D. (2005). Propiedades del agua. In *Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudio de caso en iberoamerica*. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/rh01/rh01.pdf>

Secretaría de Desarrollo Urbanístico y Ordenamiento Territorial. (2006). *Uso de suelo rural Madrid*. 1.

Secretaría de Urbanismo Facatativá. (2018). *Decreto 125 de 2018*.

Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios. (2020). Registro de pozos. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 21(1), 1–9.

SUI. (n.d.). *Sistema único de información de servicios públicos domiciliarios*.

http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu_tec_022

SUI. (2013). Transacción de agua en bloque. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu_tec_022

SUI. (2021). Fuentes superficiales. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 6.

http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu_tec_015

Universidad Nacional de Piura. (2011). *Modelos de crecimiento poblacional de habitantes y proyecciones para el Distrito de Tambogrande-Piura*. 1–110. CIE-GAL-PIE-2018.pdf (unp.edu.pe)

Vinicio Carrera-Villacrés, D., Valeria Guevara-García, P., Carolina Tamayo-Bacacela, L., Lucía Balarezo-Aguilar, A., Alfonso Narváez-Rivera, C., & Rosa Morocho-López, D. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media Filling series annual meteorological data by statistical methods in the coastal zone from Ecu. *Idesia*, 34(3), 81–90. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v34n3/art10.pdf>

Índice de tablas

Tabla 1. Asignación del nivel de complejidad	17
Tabla 2. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema.....	17
Tabla 3 Estaciones Limnimétricas Seleccionadas para la obtención de la Oferta hídrica total superficial	30
Tabla 4 Censos Según el DANE del Municipio de Madrid, Tasa de Crecimiento por el Método Geométrico y Promedio de la Tasa Utilizado Durante la Proyección de la Población.	44
Tabla 5 Demanda Doméstica de la Población de Madrid Cundinamarca en 2020	46
Tabla 6 Perímetros y Áreas de cada Uso Identificado en el Municipio de Madrid.	47
Tabla 7 Demanda Agrícola Total e Individual de los Usos de Suelo.....	48
Tabla 8. Demanda del sector bovino.....	48
Tabla 9. Demanda del sector porcino.....	48
Tabla 10. Demanda del sector avícola	49
Tabla 11. Demanda del sector equino, ovino y caprino	49
Tabla 12 Demanda Hídrica del sector agropecuario.	49
Tabla 13 Clasificación de los Sectores de la Demanda Comercial, Área Ocupada, Dotación Neta y clasificación final.	50
Tabla 14 Demanda industrial y comercial en L/día.	50
Tabla 15 Demanda Educativa, en Hospitales y para Fines Públicos en L/día.	50
Tabla 16 Identificación del Caudal Máximo Diario y Horario de la Demanda en 2020.....	51
Tabla 17 Caudal Ecológico Determinado a través del Método Q95 para las Estaciones La Muralla, Puente Manrique y El Bosque.	52
Tabla 18 Área de Influencia de las Estaciones Limnimétricas Seleccionadas y del Río Balsillas.	52
Tabla 19 Caudal Ecológico o Ambiental Corregido Ponderado por el Área de Influencia.	52
Tabla 20 Caudal Modal de las Estaciones Meteorológicas en m3s.....	53

Tabla 21 Caudal de la Oferta Hídrica Total Superficial de las Estaciones Limnimétricas y la Media que Representa la OHTS de la Cuenca del Río Balsillas.....	53
Tabla 22 Oferta hídrica total disponible OHTD en m ³ sy en litros/día obtenida a través de la sustracción del caudal ecológico de la oferta hídrica total superficial OHTS.	53
Tabla 23. Comparación entre la información del Censo Nacional Agropecuario 2014 y el procedimiento de coberturas en ArcGIS.	63
Tabla 24. Comparación entre los caudales ecológicos del Río Balsillas según diferentes fuentes.	97
Tabla 25 Proyección Poblacional Desde el Año 2019-2086 en Madrid, Cundinamarca.	114
Tabla 26 Valores Proyectados Obtenidos en la Demanda Neta.....	115
Tabla 27 Valores Obtenidos en el Cálculo de la Demanda Neta en L/día Desde 2020 Hasta 2068 para Cada Uno de los Años Proyectados y Datos de Excedente Hídrico que Representa la Resta entre la OHTD (Tabla 9) y la Demanda Neta en L/día y m ³	120

Índice de figura

Ilustración 1 Imagen de Madrid Cundinamarca y los Municipios Colindantes.	19
Ilustración 2 Modelo TIN de la Sabana de Occidente junto con la microcuenca del río Subachoque.....	21
Ilustración 3 Subcuenca Hidrográfica del Río Balsillas.	22
Ilustración 4 Mapa Conceptual Metodológico del Proceso Llevado a Cabo Durante el Proyecto.....	23
Ilustración 5 Ubicación Espacial de las Estaciones Limnimétricas de la Microcuenca del Río Subachoque, Municipio de Madrid, Cundinamarca.....	30
Ilustración 6 Proceso Llevado a Cabo en Python para Encontrar el Caudal Ecológico de las Estaciones Limnimétricas.	31
Ilustración 7 Clasificación climática Caldas – Lang	36
Ilustración 8 Mapa de temperatura de Cundinamarca	37
Ilustración 9 Precipitación en Madrid Cundinamarca	38
Ilustración 10 Mapa Nacional de Seguimiento de la Evaporación Total Anual en mm Tomados como un Promedio Multianual	39
Ilustración 11 Comportamiento del método geométrico y proyección poblacional de Madrid del 2019 hasta el 2105.	45
Ilustración 12 Mapa de Identificación de Áreas y sus Principales Usos de Suelo en el Municipio de Madrid Cundinamarca.	46
Ilustración 13 Distribución porcentual de la cobertura de áreas según su uso en Madrid Cundinamarca.	47
Ilustración 14 Gráfica de Comportamiento de la Demanda Hídrica Total Proyectada en el Municipio de Madrid Cundinamarca a lo Largo de los Años.	51
Ilustración 15 Gráfica que muestra la relación Oferta Real - Demanda.....	54
Ilustración 16 Balance entre Precipitación – Evaporación Medidas en mm en un Promedio Anual.	55
Ilustración 17 Caudales Medios Mensuales de la Estación la Muralla Expresados en m ³ s.	56

Ilustración 18 Caudales Medios Mensuales de la Estación El Bosque Expresados en m3s.	57
Ilustración 19 Gráfica del Crecimiento Poblacional de Madrid Cundinamarca Tomando como Base los Censos Poblacionales de 1964, 1993, 2005 y 2018.	59
Ilustración 20 Comportamiento de la Demanda Doméstica del Municipio de Madrid Cundinamarca Desde el Año 2020 Hasta el Año 2086.	60
Ilustración 21 Participación Porcentual de los Sectores Agrícolas determinados en Madrid.	62
Ilustración 22. Comparativo de las imágenes satelitales de Madrid Cundinamarca en el año de 2014 y 2020.	64
Ilustración 23. Porcentaje de demanda hídrica del sector bovino.	65
Ilustración 24. Porcentaje de demanda hídrica del subsector porcino.....	65
Ilustración 25. Porcentaje de demanda hídrica del subsector equino, ovino y caprino.	66
Ilustración 26. Porcentaje de demanda hídrica del subsector avícola.	66
Ilustración 27. Demanda hídrica por cada subsector.....	67
Ilustración 28. Porcentaje de demanda agropecuaria en sector pecuario y agrícola.....	68
Ilustración 29 Participación Porcentual de cada Sector Industrial en la Demanda Hídrica de este Sector en Madrid Cundinamarca.....	69
Ilustración 30 Porcentaje de Cobertura de los Ocho Sectores Comerciales Identificados en los Principales Cascos Urbanos de Madrid Cundinamarca.	70
Ilustración 31 Porcentaje de Participación de los Sectores Comerciales en la Demanda Hídrica Comercial en el Municipio de Madrid Cundinamarca.	73
Ilustración 32 Tendencia de Crecimiento de la Demanda Hídrica para Fines Públicos en Madrid Cundinamarca.	74
Ilustración 33 Porcentaje de Demanda Hídrica que Tiene Cada Sector Institucional en Madrid Cundinamarca.	74

Ilustración 34 Demanda Hídrica en m ³ s desde el Año 2020 hasta el Año 2086 en Madrid Cundinamarca.	75
Ilustración 35 Porcentaje de participación en la demanda hídrica actual por cada sector identificado en el municipio de Madrid Cundinamarca.....	76
Ilustración 36 Demanda Hídrica Futura en Porcentajes para los Sectores Identificados en Madrid Cundinamarca.	77
Ilustración 37 Valores del Caudal Medio Mensual en las Estaciones Limnimétricas en m ³ s.....	80
Ilustración 38 Método de Correlación- Regresión Lineal Entre las Estaciones La Muralla y El Bosque con un R Superior a 0.7.....	81
Ilustración 39 Caudal Ecológico Encontrado al Realizar el Proceso en Python de cada una de las Estaciones.	82
Ilustración 40 Caudal ecológico real en m ³ sde las estaciones limnimétricas después de aplicar la ecuación 1	82
Ilustración 41 Caudales Modales de las Estaciones Limnimétricas en m ³ s	84
Ilustración 42 Mapa de los Polígonos de Thiessen de las Estaciones Limnimétricas Seleccionadas en la Cuenca Media del Río Bogotá.	85
Ilustración 43 Mapa de las Áreas de influencia de las estaciones limnimétricas y su cobertura total en la Cuenca Media del Río Bogotá.	86
Ilustración 44 Datos de Oferta Hídrica total superficial (OHTS) en m ³ s.....	87
Ilustración 45 Gráfica comparativa entre la Oferta hídrica total superficial y la disponible.....	88
Ilustración 46 Área de los cuerpos de agua significativos en la Cuenca Media del Río Bogotá.....	89
Ilustración 47 Oferta hídrica total disponible (OHTD) de la Cuenca Media del Río Bogotá	89
Ilustración 48 Porcentaje de Participación de Abastecimientos de las Fuentes Hídricas Actualmente Activas en Madrid Cundinamarca	93

Ilustración 49. Relación entre el área en km ² y la oferta hídrica total disponible para cada subcuenca de la cuenca media del Río Bogotá.....	98
--	----

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Relación para la Generación de Caudales	34
Ecuación 2 Operación Realizada para Obtener la OHTD en la Microcuenca del Río Subachoque	35

Anexos

Años proyectados mediante el método geométrico.

Tabla 25 Proyección Poblacional Desde el Año 2019-2086 en Madrid, Cundinamarca.

Proyección poblacional									
Año	Total	Año	Total	Año	Total	Año	Total	Año	Total
2019	113925	2033	193466	2047	328542	2061	557926	2075	947465
2020	118317	2034	200924	2048	341207	2062	579435	2076	983990
2021	122878	2035	208670	2049	354361	2063	601772	2077	1021923
2022	127615	2036	216714	2050	368022	2064	624971	2078	1061318
2023	132534	2037	225069	2051	382209	2065	649063	2079	1102233
2024	137644	2038	233745	2052	396943	2066	674085	2080	1144724
2025	142950	2039	242756	2053	412246	2067	700071	2081	1188854
2026	148461	2040	252114	2054	428138	2068	727059	2082	1234685
2027	154184	2041	261833	2055	444643	2069	755088	2083	1282282
2028	160128	2042	271927	2056	461784	2070	784197	2084	1331715
2029	166301	2043	282410	2057	479586	2071	814428	2085	1383053
2030	172712	2044	293297	2058	498074	2072	845824	2086	1436370
2031	179370	2045	304604	2059	517275	2073	878431		
2032	186285	2046	316347	2060	537216	2074	912295		

Identificación de la demanda neta:**Tabla 26** *Valores Proyectados Obtenidos en la Demanda Neta*

Año	Población	Demanda para fines públicos	Demanda Total L/Día	Caudal Máximo Diario (QMD)	Caudal Máximo Horario (QMH)	Demanda doméstica L/día
2020	118316,7	425940,0	269890755,3	350857981,9	561372771,0	14198000,7
2021	122877,8	442360,2	270454514,2	351590868,5	562545389,6	14745339,5
2022	127614,8	459413,4	271040006,3	352352008,2	563763213,1	15313778,4
2023	132534,4	477123,9	271648069,3	353142490,1	565027984,2	15904130,9
2024	137643,7	495517,3	272279573,5	353963445,5	566341512,8	16517241,7
2025	142949,9	514619,6	272935422,3	354816049,0	567705678,5	17153988,2
2026	148460,7	534458,4	273616554,4	355701520,8	569122433,2	17815281,5
2027	154183,9	555062,0	274323944,5	356621127,8	570593804,5	18502067,9
2028	160127,8	576459,9	275058604,7	357576186,1	572121897,7	19215330,3
2029	166300,7	598682,7	275821586,3	358568062,3	573708899,6	19956089,1
2030	172711,7	621762,1	276613981,3	359598175,6	575357081,0	20725404,6
2031	179369,8	645731,3	277436923,3	360668000,3	577068800,5	21524377,5
2032	186284,6	670624,5	278291590,2	361779067,2	578846507,5	22354151,1
2033	193465,9	696477,4	279179204,7	362932966,2	580692745,9	23215912,8

Año	Población	Demanda para fines públicos	Demanda Total L/Día	Caudal Máximo Diario (QMD)	Caudal Máximo Horario (QMH)	Demanda doméstica L/día
2034	200924,1	723326,9	280101037,2	364131348,4	582610157,5	24110895,8
2035	208669,8	751211,4	281058406,8	365375928,8	584601486,0	25040380,8
2036	216714,2	780170,9	282052683,3	366668488,2	586669581,2	26005697,8
2037	225068,6	810246,8	283085289,5	368010876,4	588817402,2	27008228,2
2038	233745,1	841482,2	284157703,2	369405014,1	591048022,6	28049406,5
2039	242756,0	873921,7	285271458,8	370852896,5	593364634,4	29130722,6
2040	252114,4	907611,7	286428150,2	372356595,3	595770552,5	30253724,0
2041	261833,5	942600,5	287629432,6	373918262,3	598269219,7	31420017,5
2042	271927,3	978938,2	288877024,8	375540132,2	600864211,6	32631272,1
2043	282410,2	1016676,6	290172712,2	377224525,9	603559241,5	33889221,1
2044	293297,2	1055869,9	291518349,0	378973853,7	606358165,9	35195664,5
2045	304603,9	1096574,2	292915860,6	380790618,7	609264989,9	36552471,9
2046	316346,5	1138847,5	294367246,8	382677420,8	612283873,3	37961584,7
2047	328541,8	1182750,6	295874584,5	384636959,9	615419135,8	39425019,4

Año	Población	Demanda para fines públicos	Demanda Total L/Día	Caudal Máximo Diario (QMD)	Caudal Máximo Horario (QMH)	Demanda doméstica L/día
2048	341207,3	1228346,1	297440030,8	386672040,0	618675264,0	40944870,2
2049	354360,9	1275699,4	299065825,6	388785573,3	622056917,3	42523311,8
2050	368021,7	1324878,1	300754295,5	390980584,2	625568934,7	44162602,9
2051	382209,1	1375952,7	302507856,7	393260213,7	629216341,8	45865089,4
2052	396943,4	1428996,2	304329018,3	395627723,8	633004358,0	47633207,5
2053	412245,7	1484084,6	306220386,4	398086502,4	636938403,8	49469487,3
2054	428138,0	1541296,7	308184667,6	400640067,9	641024108,6	51376556,4
2055	444642,9	1600714,3	310224672,6	403292074,4	645267319,0	53357143,8
2056	461784,0	1662422,5	312343320,7	406046316,9	649674107,0	55414083,6
2057	479586,0	1726509,6	314543643,5	408906736,5	654250778,4	57550319,4
2058	498074,2	1793067,2	316828789,6	411877426,5	659003882,4	59768907,9
2059	517275,2	1862190,7	319202029,1	414962637,8	663940220,5	62073023,9
2060	537216,4	1933978,9	321666757,9	418166785,3	669066856,5	64465964,5
2061	557926,3	2008534,6	324226503,1	421494454,0	674391126,4	66951153,9
2062	579434,6	2085964,5	326884927,4	424950405,7	679920649,1	69532148,5
2063	601772,0	2166379,2	329645835,2	428539585,7	685663337,2	72212641,4

Año	Población	Demanda para fines públicos	Demanda Total L/Día	Caudal Máximo Diario (QMD)	Caudal Máximo Horario (QMH)	Demanda doméstica L/día
2064	624970,6	2249894,1	332513177,0	432267130,1	691627408,2	74996468,5
2065	649063,4	2336628,4	335491056,1	436138372,9	697821396,7	77887613,2
2066	674085,1	2426706,4	338583733,6	440158853,7	704254165,9	80890212,7
2067	700071,4	2520256,9	341795635,1	444334325,7	710934921,1	84008563,7
2068	727059,4	2617413,9	345131356,8	448670763,8	717873222,1	87247128,4
2069	755087,8	2718316,2	348595671,9	453174373,4	725078997,5	90610541,1
2070	784196,8	2823108,4	352193537,7	457851599,0	732562558,5	94103614,8
2071	814427,9	2931940,4	355930102,8	462709133,6	740334613,8	97731347,8
2072	845824,4	3044967,9	359810714,0	467753928,2	748406285,1	101498931,5
2073	878431,3	3162352,7	363840924,3	472993201,6	756789122,6	105411757,1
2074	912295,2	3284262,7	368026500,9	478434451,2	765495121,9	109475423,7
2075	947464,6	3410872,4	372373433,2	484085463,2	774536741,1	113695746,3
2076	983989,7	3542362,9	376887941,6	489954324,1	783926918,5	118078764,1
2077	1021922,9	3678922,5	381576486,1	496049431,9	793679091,0	122630749,1

Año	Población	Demanda para fines públicos	Demanda Total L/Día	Caudal Máximo Diario (QMD)	Caudal Máximo Horario (QMH)	Demanda doméstica L/día
2078	1061318,5	3820746,4	386445775,9	502379508,7	803807213,8	127358214,9
2079	1102232,7	3968037,8	391502778,8	508953612,5	814325780,0	132267926,5
2080	1144724,2	4121007,3	396754731,3	515781150,7	825249841,1	137366909,5
2081	1188853,8	4279873,8	402209148,7	522871893,3	836595029,3	142662460,4
2082	1234684,6	4444864,7	407873836,2	530235987,0	848377579,2	148162156,9
2083	1282282,2	4616216,1	413756899,6	537883969,5	860614351,3	153873869,0
2084	1331714,8	4794173,1	419866757,6	545826784,9	873322855,9	159805770,0
2085	1383052,9	4978990,4	426212153,2	554075799,1	886521278,6	165966348,2
2086	1436370,2	5170932,6	432802166,3	562642816,2	900228505,9	172364419,2

Oferta hídrica total disponible (OHTD)

Tabla 27 Valores Obtenidos en el Cálculo de la Demanda Neta en L/día Desde 2020 Hasta 2068 para Cada Uno de los Años

Proyectados y Datos de Excedente Hídrico que Representa la Resta entre la OHTD (Tabla 9) y la Demanda Neta en L/día y m³/s

Comportamiento del recurso hídrico							
Año proyectado	Demanda (L/Día)	Excedente hídrico en L/Día	Total, comparativo (m ³ *s)	Año proyectado	Demanda (L/Día)	Excedente hídrico en L/Día	Total, comparativo (m ³ *s)
2020	269890755	158546539	1,83502939	2033	279179205	149258089	1,72752418
2021	270454514	157982780	1,8285044	2034	280101037	148336257	1,71685483
2022	271040006	157397288	1,82172787	2035	281058407	147378887	1,70577416
2023	271648069	156789225	1,8146901	2036	282052683	146384611	1,69426633
2024	272279573	156157721	1,80738103	2037	283085290	145352005	1,68231487
2025	272935422	155501872	1,79979018	2038	284157703	144279591	1,66990267
2026	273616554	154820740	1,79190671	2039	285271459	143165835	1,65701198
2027	274323944	154113350	1,78371933	2040	286428150	142009144	1,64362435
2028	275058605	153378690	1,77521631	2041	287629433	140807862	1,62972062
2029	275821586	152615708	1,76638551	2042	288877025	139560269	1,6152809
2030	276613981	151823313	1,75721427	2043	290172712	138264582	1,60028451
2031	277436923	151000371	1,74768948	2044	291518349	136918945	1,58471001
2032	278291590	150145704	1,7377975	2045	292915861	135521434	1,56853511

Comportamiento del recurso hídrico							
Año proyectado	Demanda (L/Día)	Excedente hídrico en L/Día	Total, comparativo (m3*s)	Año proyectado	Demanda (L/Día)	Excedente hídrico en L/Día	Total, comparativo (m3*s)
2046	294367247	134070047	1,55173666	2061	324226503	104210791	1,20614342
2047	295874585	132562710	1,53429062	2062	326884927	101552367	1,17537462
2048	297440031	130997263	1,51617203	2063	329645835	98791459,1	1,14341966
2049	299065826	129371469	1,49735496	2064	332513177	95924117,2	1,11023284
2050	300754296	127682999	1,47781248	2065	335491056	92946238,1	1,07576665
2051	302507857	125929438	1,45751664	2066	338583734	89853560,6	1,03997177
2052	304329018	124108276	1,43643838	2067	341795635	86641659,1	1,00279698
2053	306220386	122216908	1,41454754	2068	345131357	83305937,4	0,96418909
2054	308184668	120252627	1,39181281	2069	348595672	79841622,4	0,92409285
2055	310224673	118212622	1,36820164	2070	352193538	76243756,5	0,88245089
2056	312343321	116093974	1,34368025	2071	355930103	72507191,4	0,8392036
2057	314543643	113893651	1,31821355	2072	359810714	68626580,2	0,79428912
2058	316828790	111608505	1,2917651	2073	363840924	64596369,9	0,74764317
2059	319202029	109235265	1,26429705	2074	368026501	60410793,3	0,699199
2060	321666758	106770536	1,2357701	2075	372373433	56063861	0,64888728

Comportamiento del recurso hídrico			
Año proyectado	Demanda (L/Día)	Excedente hídrico en L/Día	Total, comparativo (m3*s)
2076	376887942	51549352,6	0,59663603
2077	381576486	46860808,1	0,54237046
2078	386445776	41991518,3	0,48601294
2079	391502779	36934515,4	0,42748282
2080	396754731	31682562,9	0,36669633
2081	402209149	26228145,5	0,3035665
2082	407873836	20563458,1	0,23800299
2083	413756900	14680394,6	0,16991197
2084	419866758	8570536,59	0,09919603
2085	426212153	2225141,05	0,02575395
2086	432802166	-4364872,09	-0,05051935

