REPUBLICA DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DEL TOLIMA
MUNICIPIO DE FRESNO
NIT: 890.702.015-2

Administración Municipal
2020 - 2023

ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRÁULICO



CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 265-2020

OBJETO: ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO Y RECUPERACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE FRESNO

CONTRATISTA
ING. MARIO CESAR MARTINEZ RIVERA

1 INTRODUCCIÓN

En cumplimiento de los requisitos contractuales del Contrato de Consultoría No. 265-2020 suscrito entre el Municipio de Fresno y el Ing. Mario Cesar Martínez Rivera, y los requisitos para inversión en proyectos de infraestructura vial mediante recursos de regalías, se hace entrega mediante el presente documento del estudio hidrológico necesario para el mantenimiento y recuperación de vías urbanas del Municipio de Fresno - Tolima.

Junto con este informe se presentan la información secundaria que ha sido tomada como insumo del Consultor de conformidad con lo establecido en la normatividad vigente colombiana.

2 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Realizar el Estudio Hidrológico necesario para realizar el mantenimiento y recuperación de vías urbanas del Municipio de Fresno - Tolima.

2.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Conocer la caracterización, oferta y demanda hídrica del Municipio de Fresno – Tolima.
- Identificar la calidad del recurso hídrico del Municipio de Fresno – Tolima.
- Conocer el comportamiento climatológico del Municipio de Fresno – Tolima.
- Identificar las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de las cercanías a la zona de estudio.

2.3 ALCANCE

Como producto del presente estudio y teniendo en cuenta las metodologías establecidas para el mismo, el alcance se limita a los siguientes capítulos y entregables:

- **Hidrología Municipal:** En este capítulo se presenta la investigación hidrológica e hidrográfica correspondiente al Municipio de Fresno – Tolima.

- **Limitaciones del estudio:** En este capítulo se presentan aquellas limitaciones identificadas en los tramos a intervenir en los recorridos de campo realizados por el estructurador del estudio y su equipo de trabajo.

- **Conclusiones y recomendaciones:** En este capítulo se presentan las consideraciones del estructurador del estudio conforme a las condiciones propias de la vía a intervenir y las recomendaciones técnicas consideradas necesarias para el cumplimiento de los parámetros previamente establecidos.

3 LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL PROYECTO

Las vías objeto del presente estudio se encuentran ubicadas en el casco urbano del Municipio de Fresno, Departamento del Tolima.

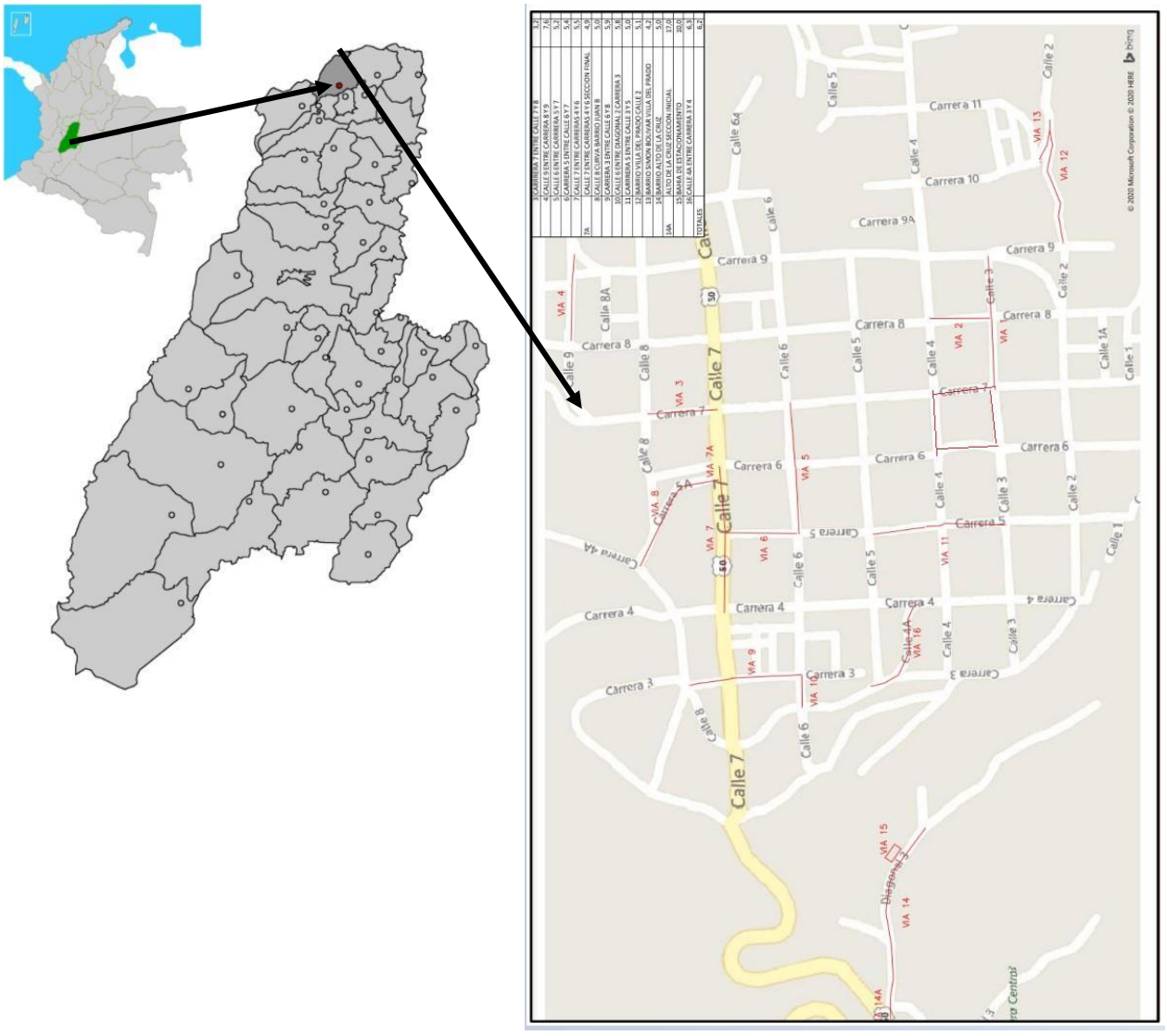


Ilustración 1 – Localización especifica del proyecto

Las vías objeto de estudio corresponden a:

VIA	LONGITUD (m)	AREA (m2)
CLL 3 CR 7 - 8	92,19	442,81
CLL 3 CR 8 - 9	81,00	497,65
CRA 4 CLL 2 - 3	82,43	450,10
CRA 4 CLL 3 - 4	79,59	498,00
CRA 7 CLL 7-8	89,20	356,50
CLL 6 CR 5 - 6	90,29	500,64
CLL 6 CR 6 - 7	79,40	360,17
CRA 5 CLL6 - 7	98,74	579,22
CLL 7 CR 5 - 6	80,38	438,93
CLL 8 JUAN B.	149,60	792,45
CRA 3 CLL 6 - 7	89,19	516,17
CRA 3 CLL 7 - 8	44,05	272,96
CLL6 DIAG 2 CRA 3	35,13	197,78
CRA 5 CLL 3 - 4	81,85	386,26
CRA 5 CLL 4 - 5	94,00	491,67
CALLE 2 VILLA DEL PRADO - 1	111,46	573,45
CALLE 2 VILLA DEL PRADO - 2	75,96	335,51
ALTO DE LA CRUZ	26,00	308,58
CLL 4A CR 3 - 4	150,00	783,34
CRA 7 CLL 3 - 4	72,76	808,35
CLL 4 CR 6 - 7	70,06	667,08
CR 6 CLL 3 - 4	63,38	510,38
CLL 3 CR 6 - 7	84,32	821,50
TOTAL	**1920,98**	**11589,50**

Tabla 1 – Relación de las vías objeto de estudio

4 HIDROLOGIA MUNICIPAL

Fresno se encuentra ubicado en el sector medio de la vertiente oriental de la Cordillera Central, por lo cual es paso obligado de afluentes hídricos de alta importancia a la principal arteria fluvial de nuestro país, el Río Grande de La Magdalena, dichas fuentes son los Ríos Gualí y Guarinó, los cuales se constituyen como las fuentes de mayor importancia para el Municipio. Dentro de estas cuencas aparecen Subcuencas como las de los Ríos Medina y Sucio, Quebradas Campeón, Nicúa, San Joaquín, Peñas Gordas, Cascabel y Barreto, entre otras que constituyen la reserva hídrica del Municipio y del Norte del Tolima. Es de anotar que a pesar de su importancia hídrica, las Quebradas Barreto, Nicúa y el Río Sucio son las fuentes más contaminadas del Municipio.

4.1 Estructura y Caracterización Hídrica

El relieve montañoso y las características geológicas de la región condicionan la dirección de los cauces de los principales ríos. Por ejemplo, en el Río Guarinó hasta la parte media lo afecta la Falla Palestina, haciendo que tome una dirección brusca al igual que sus principales afluentes que son de cauces cortos y rectos, como es el caso de la Quebrada San Joaquín, Peñas Gordas, Cascabel, Rascaderal, entre otras. De la parte media en adelante se pierde la influencia de la falla geológica, lo cual se evidencia por el efecto directo de la corriente del río sobre los materiales litológicos derivados de rocas metamórficas esquistosas y porque sus afluentes son ya de mayor tamaño e importancia, sobresaliendo las Quebradas Barreto, que sirve como fuente abastecedora a la mayoría de los asentamientos que están a su paso.

En cuanto a la Cuenca del Río Gualí, ésta se encuentra afectada en su parte alta por la acción directa del drenaje sobre rocas de tipo metamórfico esquistosas y granito des en la parte baja. La morfología de esta zona permite que existan afluentes de gran importancia por su caudal y tamaño. Los principales sistemas hídricos que se encuentran en esta cuenca son: Quebrada Guarumo, Campeón, Nicúa, San Rafael y los Ríos Medina y Sucio.

La Tabla siguiente presenta la caracterización de las principales fuentes hídricas del Municipio:

FUENTE HÍDRICA	LUGAR DE NACIMIENTO	CAUDAL m3/seg	OBSERVACIÓN
Río Gualí	Nevado del Ruíz	300,00	Posee poca importancia económica y por sus características físicas químicas (altos niveles de azufre), el agua no puede ser aprovechada para consumo humano. No obstante, es necesario brindarle atención ya que sus riberas son consideradas como de alto riesgo por fenómenos asociados a eventos volcánicos (Lahares) y por tener un grado de contaminación intermedio debido a las fuentes que en el confluyen

FUENTE HÍDRICA	LUGAR DE NACIMIENTO	CAUDAL m3/seg	OBSERVACIÓN
			tales como la Quebrada Nicúa y el Río Sucio.
Río Guarinó	Municipio de Herveo	360,00	Se utiliza por varias veredas para consumo humano. También es importante para el Municipio, por los actuales planes para generación de energía hidroeléctrica, ya que el aporte que este cuerpo hídrico brinda, para el trasvase de una parte de su caudal hacia el Río La Miel, se implementará el proyecto Miel II.
Quebrada Guarumo	Padua	50,00	Surte el Acueducto Municipal de Fresno.
Quebrada Campeón	La Estrella Fluvial Partidas	30,00	Surte el Acueducto Regional de Occidente. Su importancia radica que a futuro puede ser la fuente de abastecimiento del acueducto Municipal, de ahí la importancia de preservación y mejoramiento de sus condiciones de uso y manejo.
Quebrada Barreto	La Estrella Fluvial Partidas	150,00	Contaminada en su recorrido por vertimientos de agroquímicos no puntuales. Igualmente, revierte importancia a futuro como fuente abastecedora del Acueducto Municipal y Regional, por tal razón se debe recuperar su calidad.
Río Medina	La Estrella Fluvial Partidas	0,82	Está afectado aguas abajo por Mercurio debido a la extracción de oro.
Río Sucio	La Florida	2,60	Sirve como fuente de abastecimiento del acueducto para la zona urbana del Municipio de Mariquita. Desde el punto de vista regional merece atención, pues presenta un alto grado de contaminación, dado que atraviesa la cabecera municipal de Fresno y se hace necesaria su descontaminación, pues su deterioro afecta la calidad del agua.

Tabla 2 - Caracterización de las principales fuentes hídricas del Municipio de Fresno.

La siguiente tabla presenta las características morfométricas de las principales cuencas hidrográficas del Municipio de Fresno:

CUENCA	ÁREA Ha.	LONGITUD AXIAL	PERÍMETRO Km	ANCHO PROMED. Km
Río Gualí	15.262,88	19,75	80,13	7,720
Río Nicúa	1.240,87	8,17	19,59	1,517
Qda. Campeón	1.334,00	7,75	22,04	1,720
Río Sucio	3.699,70	9,40	31,11	3,930
Río Medina	3.699,70	12,84	36,19	2,870
Río Guarinó	6.613,12	24,55	69,38	2,700
Qda. Barreto	3.409,72	13,92	32,50	2.440

Tabla 3 – Características morfométricas de las principales Cuencas Hidrográficas del Municipio de Fresno.



Ilustración 2 - Panorámica Cuenca del Río Gualí, Municipio de Fresno.

A continuación, se muestra la red hidrológica del Municipio de Fresno con su correspondiente extensión.

Cuenca mayor	Cuenca	Subcuenta	Microcuenca	
R. Guarinó B.2		Q. El Barreto B.2.0.1	Q. El Limón B.2.0.1.1	
			Q. El Diamante B.2.0.0.3	
			Q. Casjal	

			B.2.0.0.5	
			Q. del Sindicato B.2.0.0.7	
			Q. San Joaquín B.2.0.0.9	
			Q. Piedras Gordas B.2.0.0.11	
			Q. El Bosque B.2.0.0.13	
	R. Perillo B.2.1	Q. Mesones B.2.1.1		
R. Gualí B.4	R. Medina B.4.2		Q. Todos los Santos B.4.2.0.1	
			Q. Paramillo B.4.2.0.2	
			Q. La Estrella B.4.2.0.4	
			Q. El Guayabo B.4.2.0.6	
			Q. Alegrías B.4.2.0.8	
	R. Sucio B.4.4	Q. Honda B.4.4.4		
			Q. Cuchipay B.4.4.0.3	
	R. Sucio B.4.4		Q. Cabrera B.4.4.0.2	Q. Pomponá B.4.4.0.2.1
			Q. El Cobre B.4.4.0.5	
			Q. El Tambor B.4.4.0.4	
		Q. Nicua B.4.0.4		
		Q. Campeón B.4.0.6		
		Q. Guarumo B.4.0.8	Q. Zancudera B.4.0.8.2	
			Q. Holdón B.4.0.0.2	
	R. Aguacatal B.4.6		Q. La Soñadora B.4.6.0.2	
			Q. El Cofre B.4.6.0.4	

Tabla 4 - Red Hidrológica del Municipio de Fresno.

Fuente Abastecedora del Acueducto de la Zona Urbana de Fresno.

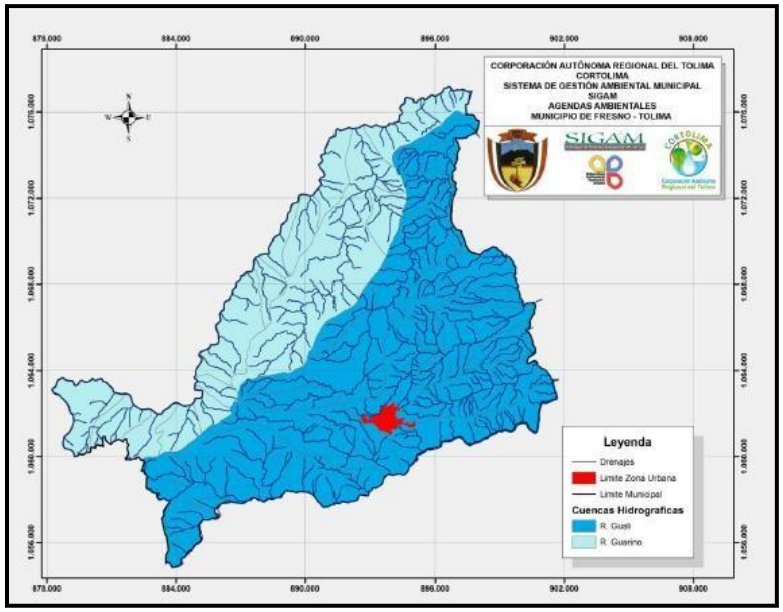


Ilustración 3 - Cuencas Hidrográficas Municipio de Fresno.

4.2 Oferta Hídrica

La Oferta hidrológica con que cuenta el Municipio de Fresno se basa en los caudales de los diferentes afluentes que nutren las cuencas de los Ríos Gualí y Guarinó. Dichas fuentes se caracterizan por presentar importantes caudales en épocas de invierno y disminuciones moderadas que garantizan el abastecimiento del recurso hídrico en épocas de verano a la población que de ellas se abastecen.

En la siguiente tabla se puede observar las principales fuentes hídricas que abastecen de agua a parte de la población del Municipio:

Cuenca	Fuente	Q=l /seg.	Veredas Beneficiadas
Río Medina	Qda. San Jorge	15,50	La Linda, Barreto, El Guayabo.
	Qda. Betania	2,00	Betania.
	Qda. Alegrías	4,50	Dos Quebradas, La Florida, Alegrías, alto del Águila.
	T O T A L	**22,00**	
Río Sucio	Qda. La batea	10,00	Palenque, San Ignacio.
	Qda. Cabrera	32,00	Los Andes.
	Qda. Diomato	8,50	
	Qda. Campeón	30,00	Dos Quebradas, La Florida, Alegrías, Alto del Águila.
	Qda. El Aguila	5,00	Cerró Azul.
	T O T A L	**85,50**	
Río Gualí	Qda. Guarumo	50,00	Picota, Holdown, Caucacia, Zona Urbano, El Tablazo, San Bernardo.
	Río Sucio	2,60	Mariquita.
	La Arenosa	2,50	Picota, Holdown.
	Chorro de Isidro	10,00	La Aguadita.
	T O T A L	**65,10**	
Río Gualí	Qda La Correginosa	7,30	
	Qda. El Escondite		
	Qda. Las Peñas	6,00	Petaqueros
	Qda. La Iberia	0,30	Petaqueros
	T O T A L	**13,60**	
Río Nicúa	El Espejo	3,00	El Espejo

Tabla 5 - Relación de la Oferta Hídrica del Municipio de Fresno.

4.3 Demanda hídrica

La demanda de agua necesaria para satisfacer las necesidades del Municipio está referida al consumo humano, a las actividades agrícolas y domésticas, al sector industrial, generación de energía eléctrica y minería. El volumen concesionado y el número de concesiones otorgadas por Cortolima por uso se aprecian en la siguiente tabla:

Tipo de uso	No. Concesiones	%	Litros Concesionados
AGRÍCOLA	4	9,76	18,12
CONSUMO HUMANO	4	9,76	7,07
DOMESTICO	30	73,17	108,005
GENERACIÓN ELÉCTRICA	1	2,44	22,00
INDUSTRIAL	1	2,44	10,41
MINERO	1	2,44	0,600
T O T A L	**41**	**100,00**	**166,205**

Tabla 6 - Distribución de la demanda hídrica concesionada del Municipio de Fresno.

Según el reporte de CORTOLIMA al 2011 hay aproximadamente 41 suscriptores registrados para concesión de aguas, siendo la mayor demanda para uso doméstico con 30 concesiones y un total de 108,005 Litros/seg concesionados, equivalente al 65 % del litraje total concesionado. Es de anotar que la Cuenca del Río Gualí es la que registra mayor número de concesiones, aproximadamente 27 y de la Quebrada Santa Bárbara es donde más captan agua.

Los acueductos concesionados por Cortolima son los de las Veredas Aguas Claras, Aguasal, Caucacia, La Primavera, Cascabel y La Sierra.

Las demás concesiones se captan del Río Guarinó y Magdalena (5), Río Totare (2), Lagunilla y Sabandija (1).

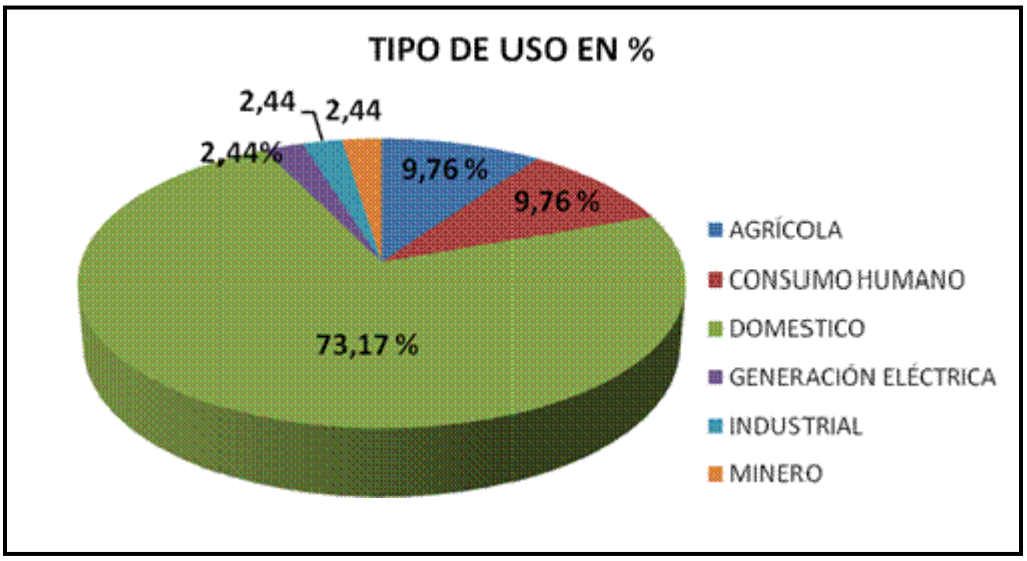


Ilustración 4 – Tipo de uso del agua en el Municipio de Fresno

4.4 Calidad del Recurso Hídrico

La composición físico - química de los cuerpos de agua se debe a la presencia de compuestos en estado coloidal o disueltos y organismos vivos patógenos y no patógenos, que provienen de la erosión de los suelos y rocas; reacciones de disolución y precipitación que ocurren bajo la superficie de la tierra y también de los efectos que resultan de las actividades antrópicas.

Las caracterizaciones físico - química y bacteriológica de las aguas superficiales permitirá observar el cumplimiento de las Normas Colombianas sobre calidad de agua (Decreto 1594 de 1998) y la calidad físico-química como fuente abastecedora de agua potable (Decreto 475 de 1998). Además, se cuantificarán las cargas contaminantes; para así, realizar todos los ajustes pertinentes, optimizando la calidad del recurso hídrico.

Para conocer la calidad del recurso hídrico, la Subdirección de Calidad Ambiental de CORTOLIMA ha venido desarrollando por intermedio de CORCUENCAS, monitoreos con el fin de conocer la calidad de la Cuenca del Rio Gualí antes del casco urbano del Municipio de Fresno. A continuación, se relacionan los parámetros analizados en los siguientes puntos:

Parámetros	Unidades	Rio Gualí A.A. Casco Urbano Fresno			
		Enero 2008	Agosto 2008	Marzo 2008	Enero 2010
Temperatura Ambiente	°C	24,2	27,5	27,8	26,7
Temperatura del Agua	°C	20,6	20,0	20,0	22,3
pH	Unid. pH	4,67	4,64	6,50	3,97
Conductividad Eléctrica	µS/cm	216	161,6	104,9	375
Oxígeno Disuelto	mg O_2/L	7,32	3,96	8,0	7,67
Turbiedad	UNT	35,5	87,3	444	19,5
Alcalinidad Total	mg $CaCO_3$/L	5,0	*****	2,0	0
Acidez Total	mg $CaCO_3$/L	*****	*****	*****	115
Dureza Total	mg $CaCO_3$/L	28,8	*****	32,5	71,9
Cloruros	mg Cl/L	10,5	*****	8,0	22,1

Parámetros	Unidades	Rio Gualí A.A. Casco Urbano Fresno			
		Enero 2008	Agosto 2008	Marzo 2008	Enero 2010
Nitratos	mg NO_3/L	0,60	1,7	0,94	<0,05
Fosfatos	mg PO_4/L	0,23	0,03	0,08	0,09
Sulfatos	mg SO_4/L	*****	41,8	40,1	140
Hierro	mg Fe/L	*****	0,08	0,0	1,7
Demanda Química de Oxígeno	mg O_2/L	<10,4	<10,4	11,1	<10,4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O_2/L	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Sólidos Totales	mg/L	228	423	3267	444
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	66,4	237	2758	22
Coliformes Totales	UFC/100 ml	130	30	120	30
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	0	6	19	0

Tabla 7 - Calidad del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Gualí dentro del Municipio de Fresno en diferentes temporadas climáticas.

Analizando los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos más significativos, se puede concluir lo siguiente:

- En los periodos analizados, se evidencia pH bajos menores o iguales a 6,5 a causa de ser aguas sulfuradas; según resolución 2115 del 2007 el agua tiene un grado de acidez en los periodos analizados que la caracteriza un agua de no consumo, por tanto, se recomienda no hacer consumo de ella durante el recorrido de fresno por los habitantes de las veredas rivereñas.

- El registro de turbiedades altas y Coliformes en el agua del Rio Gualí, indica que, en caso de ejecutar proyectos de agua para consumo humano, se deben estructurar plantas de tratamiento de potabilización, con el fin de optimizar la calidad del recurso hídrico dando cumplimiento a la resolución 2115 del 2007.

- Además, los estudios analizados demuestran la presencia de Sólidos Totales y Solidos Suspendidos Totales, por problemas erosivos a causa de deforestaciones durante el trayecto de la Cuenca del Rio Gualí.

- La presencia de puede niveles altos de componentes minerales de forma natural como hierro, cloruros, sulfatos (presencia de azufre, sodio, calcio, magnesio o cloro en su composición) se debe a la cercanía del nacimiento del Rio Gualí con el Sistema Geomorfológico del Nevado del Ruiz.

- La presencia de fosfatos del Rio Gualí aguas arriba del casco urbano de Fresno, se debe a la presencia de agroquímicos en los sistemas productivos de los Municipios de Herveo y Fresno. En estas zonas, estos contaminantes son arrastrados fácilmente a causa de las constantes precipitaciones con respuesta rápida de escorrentía por las pendientes que se encuentran en el sistema montañoso.

- Aunque no se relacionan monitoreos después del casco urbano del Municipio de Fresno, se recomienda implementar plantas de tratamiento de Aguas Residuales de la Cabecera Municipal y Centros Poblados del Municipio de Fresno, con el fin de sanear la Quebrada Nicua y el Rio Sucio, evitando el aporte significativo de contaminantes sobre el Rio Gualí y aún más, cuando el Municipio de Mariquita realiza captación del agua de ésta cuenca para uso doméstico.

Con respecto al agua que es consumida por los habitantes del Municipio de Fresno, la Secretaria de Salud del Tolima a través del Laboratorio de Salud Publica Departamental, realiza seguimiento periódico del recurso abastecido. (Tabla 8).

Parámetros	Unidades	Valor admisible (res. 2115/ 2007)	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Julio
pH	Unid. pH	6,5 – 9,0	7,28	7,01	7,24	6,14	7,26
Color	UPC	<15	2	2	1	ND	ND
Turbiedad	UNT	<5	1,6	3,1	0,7	1,4	0,4
Conductividad	µ ohm/cm	< 1000	33	28	55	94	30
Olor y Sabor	*****	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Cloro Residual Libre	mg/L	0,3-2,0	0,02	1,2	1,3	2	0,5
Dureza Total	mg $CaCO_3$/L	< 300	22,3	10,6	15,5	14,5	15,5

Parámetros	Unidades	Valor admisible (res. 2115/ 2007)	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Julio
Dureza Cálcica	mg CaCO3/L	<124	9,8	5,5	8,5	7	9,4
Hierro Total	mg/L	<0,3	0,11	0,11	0,05	0,02	*****
Cobre	mg/L	<1,0	ND	0,04	ND	ND	0.07
Calcio	mg/L	< 60	3,9	2,2	3,4	2,8	3,7
Magnesio	mg/L	<36	3,01	1,23	1,69	1,79	1,48
Aluminio	mg/L	<0,2	ND	0,06	0,01	ND	0,01
Acidez Total	mg $CaCO_3$/L	<50	3	3,3	4,6	6	4
Acidez Mineral	mg $CaCO_3$/L	0	0	0	0	0	0
Alcalinidad Total	mg $CaCO_3$/L	<200	9,9	3,1	9,7	7,3	21,3
Alcalinidad Fenolftaleína	mg $CaCO_3$/L	*****	0	0	0	0	0
Cloruros	mg/L	<250	2,2	2,5	2,4	3,3	2,1
Nitratos	mg/L	<10	0,25	2,5	1	12,5	0,75
Nitritos	mg/L	<0,1	0,009	0,01		0,06	0,01
Sulfatos	mg/L	<250	2,22	1,11		4,78	24,33
Fosfatos	mg/L	<0,5	0,1	0.05	0,08	0,02	1,35
Coliformes Totales	Coliformes / 100 mL	AUSENCIA	PRESENCIA	AUSENCIA	PRESENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Coliformes Fecales	E. Coli/ 100 mL	AUSENCIA	PRESENCIA	AUSENCIA	PRESENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA

Tabla 8 - Resultados de los análisis realizados por el Laboratorio Bromatológico de la Secretaria de Salud Departamental en el agua de abastecimiento del Municipio de Fresno (Punto Hospital San Vicente de Paul).

N.D. No Detectado

Teniendo en cuenta los resultados generados por el Laboratorio de Salud Pública Departamental, se puede afirmar lo siguiente:

Es necesario realizar un seguimiento y fortalecer los Procedimientos de Potabilización del Agua o a las Redes de Distribución del Agua, debido a que los datos históricos no evidencian un comportamiento consecutivo durante el periodo analizado de los resultados obtenidos de Coliformes Totales y Fecales, dando cumplimiento a lo contemplado en la Resolución 2115 de 2007.

Adicionalmente, es necesario identificar si la causa de alta presencia de Nitratos (Mayo 2011) y Fosfatos (Julio 2011) en las muestras analizadas, se debe al uso inadecuado de productos agroquímicos cerca de las fuentes abastecedoras; adicionalmente, establecer los correctivos necesarios, para dar cumplimiento a la legislación colombiana acerca de Calidad del Agua para Consumo Humano.

4.5 Climatología

El componente climático permite conocer el comportamiento de los diferentes elementos que caracterizan el clima de una región, donde se destacan fundamentalmente la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y los vientos, entre otros. Estos están ligados entre sí y por todos los componentes de la naturaleza especialmente con los organismos vivientes. El clima influye en el modelo terrestre, en la vegetación, meteorización de las rocas y en las características de los suelos.

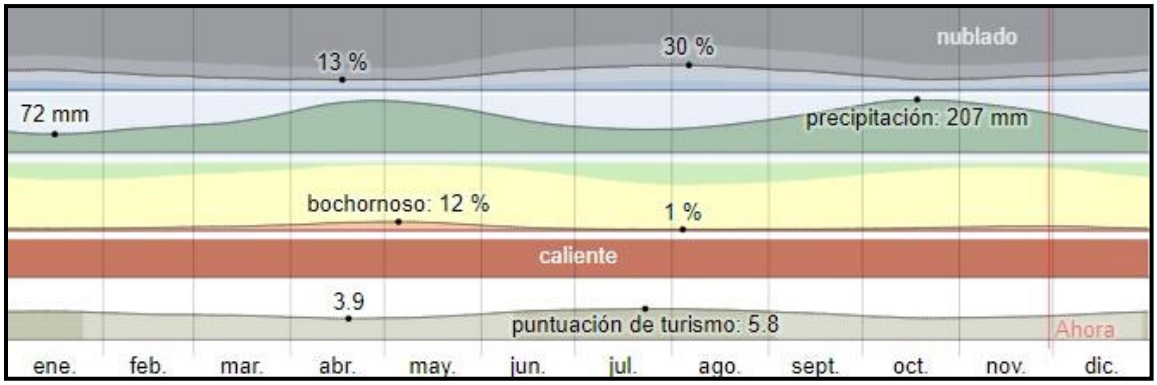


Ilustración 5 - Resumen del clima

La caracterización climática del Municipio de Fresno se realizó teniendo en cuenta el área de influencia directa las Estaciones, en el período comprendido entre 1987 a 2007, para las siguientes Estaciones:

Depto.	Municipio	Estación	Código	Tipo Estación	Coordenada	Elevación msnm
Tolima	Armero Guayabal	Armero Guayabal	2125509	Climatológica Principal	Lat: 5º0,0' N Log: 74º54.0' W	300
Tolima	Villahermosa	Villahermosa	2125512	Climatológica Ordinaria	Lat: 5º1,01' N Log: 75º7.0' W	2029
Tolima	Mariquita	Aeropuerto Mariquita	2301504	Climatológica Ordinaria	Lat: 5º12.0' N Log: 74º53.0' W	475
Tolima	Mariquita	Albania	2302504	Climatológica Ordinaria	Lat: 5º17,0' N Log: 74º54.0' W	500
Caldas	Samaná	Samaná	2305504	Climatológica Ordinaria	Lat: 5º25,0' N Log: 74º59.0' W	1475
Caldas	Villa María	Tesorito FCA	2615517	Climatológica Ordinaria	Lat: 5º1,0' N Log: 75º26.0' W	2345
Caldas	Salamina	San Félix	2618504	Climatológica Ordinaria	Lat: 5º22,0' N Log: 75º22.0' W	1677

Tabla 9 - Estaciones con influencia directa en el Municipio de Fresno

4.5.1 Precipitación

El Municipio de Fresno registra precipitaciones anuales que van desde los 2.600 mm hasta los 4.300 mm., siendo la precipitación predominante en la mayor parte del Municipio de 2.941,7 mm.

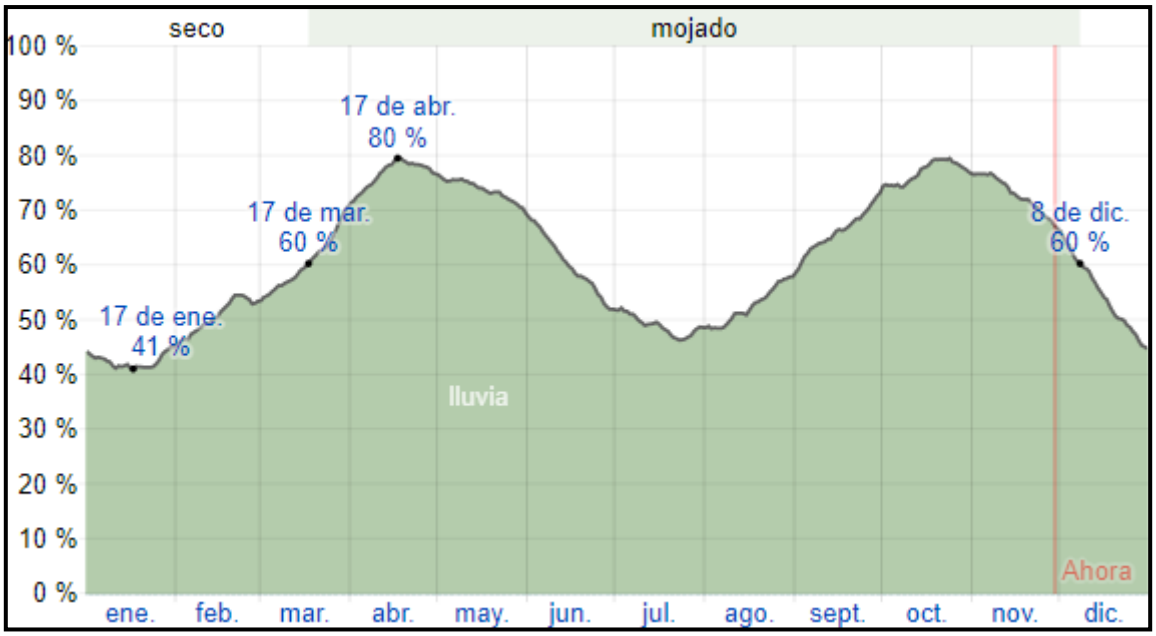


Ilustración 6 - Probabilidad diaria de precipitación

Las mayores precipitaciones se registran hacia el norte del Municipio, en las Veredas California y Betania; mientras que, en el sureste, en la Vereda Aguas Claras se presentan los menores registros de lluvias.

- La época invernal del primer período de lluvias se registra en el mes de abril con un promedio para las seis estaciones de 312,6 mm y para el segundo período de lluvias se da en los meses de octubre y noviembre con promedios mensuales multianuales para la serie de las seis estaciones de 370,3 y 369,6 mm respectivamente.

- El mes más seco para el primer período corresponde a febrero, con precipitaciones inferiores a los 190,4 mm.; la segunda temporada de verano se presenta entre los meses de junio, julio y agosto con valores de 147,9 mm, 111,4 mm y 147,0 mm respectivamente. Luego estos meses son los de mayor evapotranspiración, por lo tanto, se debe evitar al máximo las quemas para así disminuir el riego de incendios forestales.

- Como el Municipio se ubica en la Vertiente Oriental de la Cordillera Central, correspondiente frente de condensación entre los 1900 y los 2000 msnm, además de la riqueza hídrica, el Municipio no presenta déficit de humedad, garantizando así la disponibilidad de recurso hídrico para toda la población.

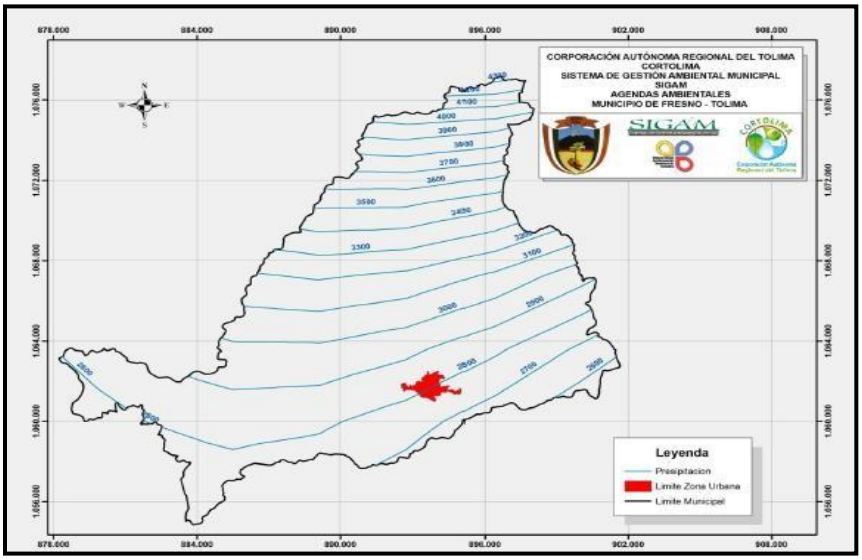


Ilustración 7 - Precipitación Municipio de Fresno

4.5.2 Temperatura

Teniendo en cuenta que las estaciones climatológicas ubicadas en el área de estudio no presentan registros de temperatura se halló ésta por medio de Isolíneas de igual temperatura (Isotermas) y no por el Gradiente Altitudinal Térmico del IDEAM estimado para el Departamento del Tolima.

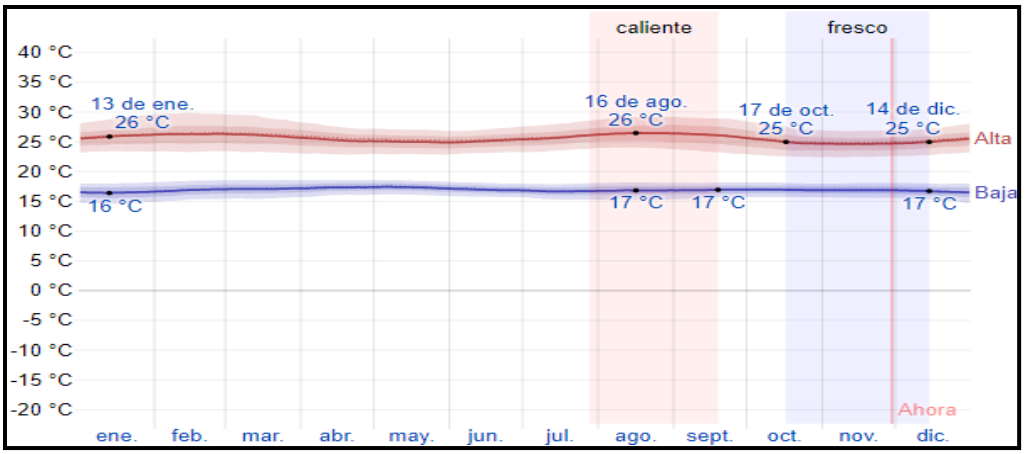


Ilustración 8 - Temperatura máxima y mínima promedio

De acuerdo con lo anterior, el Municipio de Fresno presenta una variedad de temperaturas que van desde los 16,5 ºC hasta los 23,5 ºC., con una temperatura promedio de 20 ºC., lo que hace que en la mayor parte del territorio predomine el clima Templado.

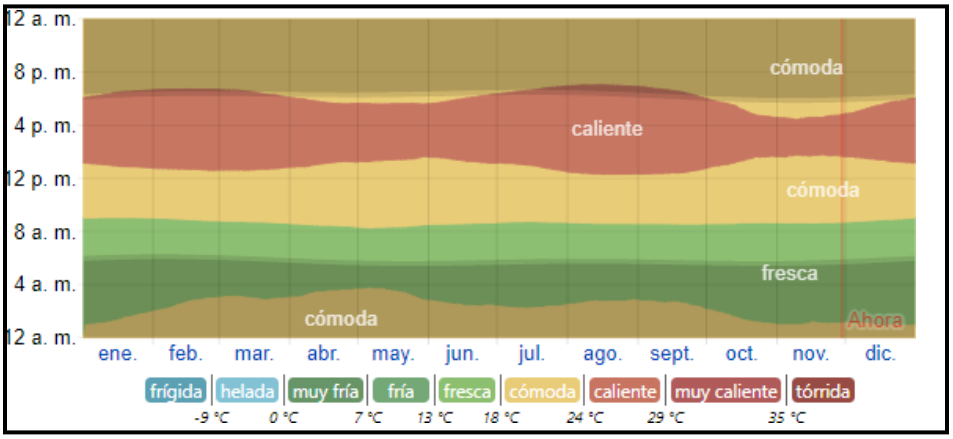


Ilustración 9 - Temperatura promedio por hora

El sector más cálido son las Veredas Aguas Claras y Palenque y la zona con el menor registro de temperatura es Raizal I, Raizal II y La Divisa.

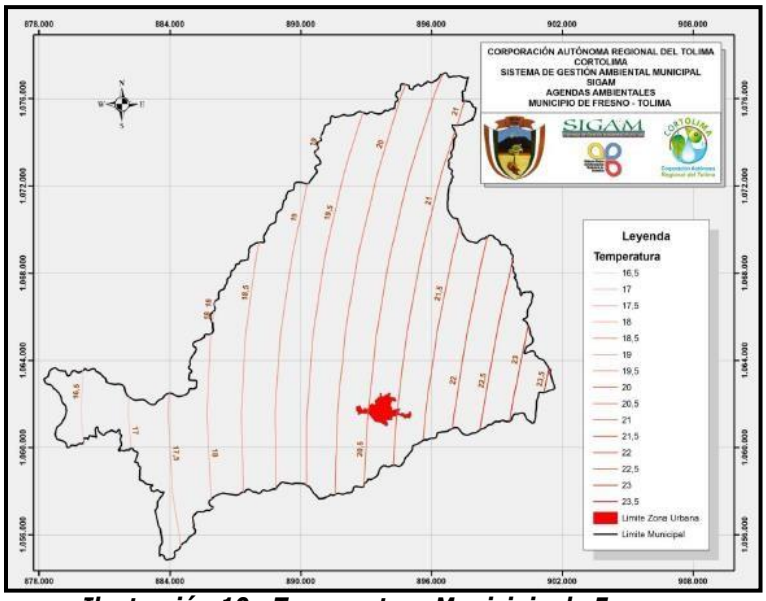


Ilustración 10 - Temperatura Municipio de Fresno.

4.5.3 Nubes

En Fresno, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía poco en el transcurso del año.

La parte más despejada del año en Fresno comienza aproximadamente el 8 de junio; dura 3,4 meses y se termina aproximadamente el 19 de septiembre. El 6 de agosto, el día más despejado del año, el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 30 % del tiempo y nublado o mayormente nublado el 70 % del tiempo.

La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 19 de septiembre; dura 8,6 meses y se termina aproximadamente el 8 de junio. El 17 de abril, el día más nublado del año, el cielo está nublado o mayormente nublado el 87 % del

tiempo y despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 13 % del tiempo.

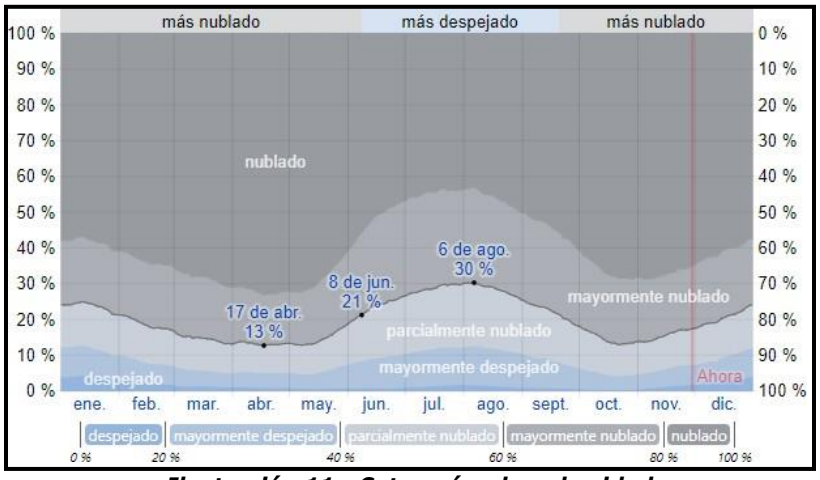


Ilustración 11 - Categorías de nubosidad

4.5.4 Humedad Relativa

La Humedad Relativa Promedio Multianual para el Municipio de Fresno se extrajo del Servidor Cartográfico del IDEAM, el cual tomó como base para el cálculo de este parámetro una serie de datos que va desde el año 1971 al 2000, dando como resultado que la mayor parte del Municipio presenta una Humedad Relativa que oscila entre el 80 y el 85 % cubriendo un área de 19.293,34 hectáreas equivalentes al 85,81 % y solo el 14,19% restante del área presenta una humedad relativa entre el 75 al 80 % correspondiente a 3.189,76 hectáreas.

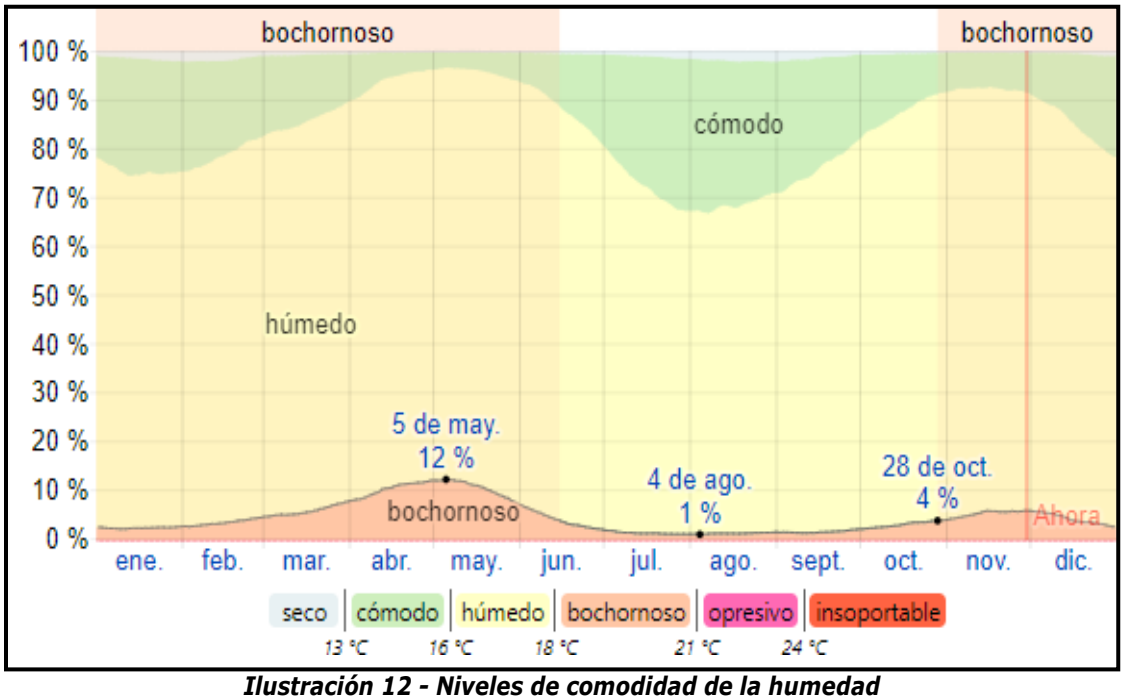


Ilustración 12 - Niveles de comodidad de la humedad

4.5.5 Horas de Brillo Solar

La duración del día en Fresno no varía considerablemente durante el año, solamente varía 25 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2020, el día más corto es el 21 de diciembre, con 11 horas y 50 minutos de luz natural; el día más largo es el 20 de junio, con 12 horas y 25 minutos de luz natural

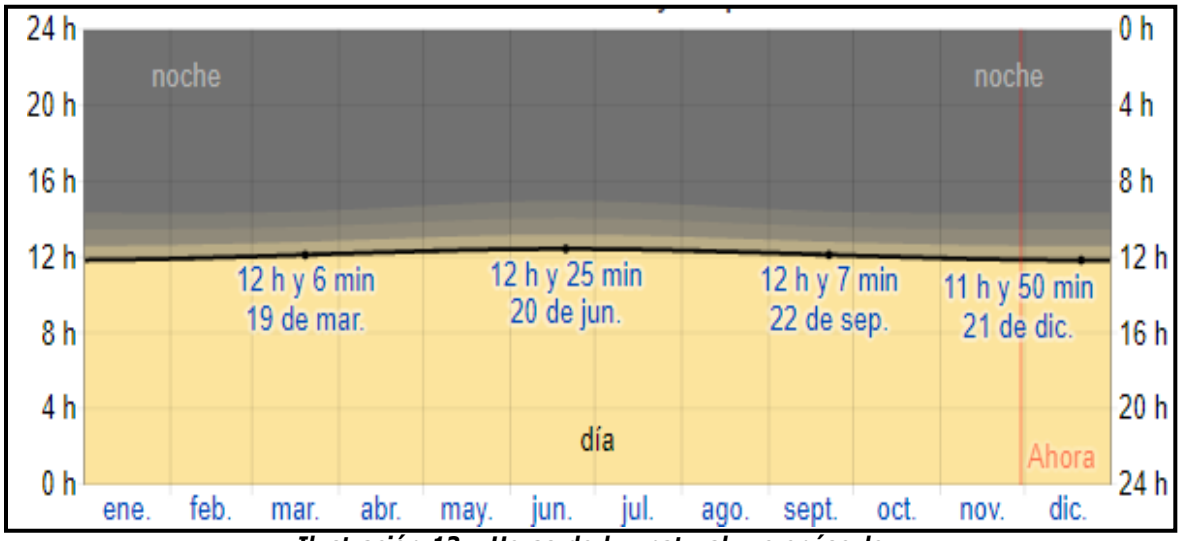


Ilustración 13 - Horas de luz natural y crepúsculo

La salida del sol más temprana es a las 5:45 a. m. el 24 de octubre, y la salida del sol más tardía es 31 minutos más tarde a las 6:16 a. m. el 3 de febrero. La puesta del sol más temprana es a las 5:41 p. m. el 9 de noviembre, y la puesta del sol más tardía es 37 minutos más tarde a las 6:17 p. m. el 17 de julio.

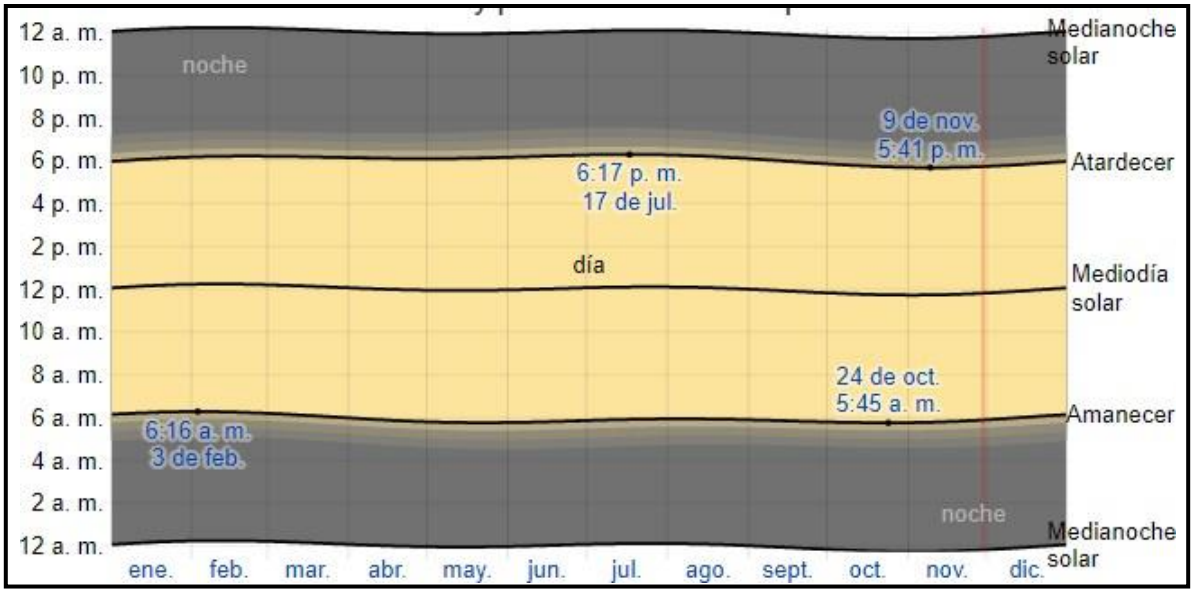


Ilustración 14 - Salida del sol y puesta del sol con crepúsculo

4.5.6 Clasificación Climática

La clasificación climática de Fresno se realizó basada en la Metodología de Caldas – Lang, la cual relaciona el rango altitudinal que define el piso térmico y la temperatura con los valores de precipitación o factor de lluvia que indica el grado de humedad o aridez presente en el área.

Pisos Térmicos	Símbolo	Rango de Altura (m)	Temperatura °C
Cálido	C	0 – 1000	>24
Templado	T	1001 – 2000	24 – 17,5
Frio	F	2001 – 3000	17,5 – 12,0
Paramo Bajo	PB	3001 – 3700	12,0 – 7,0
Paramo Alto	PA	3701 – 4200	<7

Tabla 10 - Pisos Térmicos

Relacionando las precipitaciones anuales y la temperatura se obtiene el Coeficiente de Lang para cada una de las estaciones de influencia. Mediante el proceso de interpolación se determina el límite aproximado de cada clase de clima que ha sido contrastado con la vegetación predominante.

Cociente P/T	Clases de Clima	Símbolo
0 – 20,0	Desértico	D
20,1 – 40,0	Árido	A
40,1 – 60,0	Semiárido	SA
60,1 – 100,0	Semihúmedo	SH
100,1 – 160,0	Húmedo	H
>A 160,0	Superhúmedo	SH

Tabla 11 – Clases de Cima según Lang

De acuerdo con la Metodología de Caldas-Lang, en el Municipio de fresno se presentan cinco provincias climáticas bien definidas: Cálido Húmedo, Cálido Superhúmedo, Templado Húmedo, Templado Superhúmedo y Frío Superhúmedo, su distribución espacial se evidencia en la tabla siguiente:

Provincia Climática	Símbolo	Área	
		HAS.	%
Cálido Húmedo	CH	821,67	3,65
Cálido Superhúmedo	CSH	220,26	0,98
Templado Húmedo	TH	12.046,99	53,58
Templado Superhúmedo	TSH	8.875,71	39,52
Frio Superhúmedo	FSH	508,49	2,26
TOTAL		22.483,11	100.00

Tabla 12 - Distribución de las Provincias Climáticas según Metodología de Caldas-Lang para el Municipio de Fresno.

Como se puede evidenciar en la tabla anterior, la mayor parte del área del Municipio se encuentra dentro de la provincia climática Templado Húmedo, ocupando aproximadamente unas 12.046,99 hectáreas, equivalentes al 53,58 % del área total del Municipio.

Esta provincia se encuentra localizada en el sector sureste del Municipio y abarca las Veredas La Picota, Holdown, La Porfía, Brisas del Gualí, Playas del Gualí, Mateguadua, Alto Grande, Zona Urbana de Fresno, Campeón Medio, Campeón Alto, La Florida, El Turco, Los Guaduales, Santa Rosa, Alto del Águila, Primavera, Cerro Azul, Guineal, Piedra Grande, La Ceiba, Aguasal La Playa, Aguasal Brillante, Buenos Aires, Arrayán y Remolino. En esta provincia es donde más se concentra la población y por ende las actividades productivas del Municipio.

Otra provincia climática importante para el Municipio es Templado Superhúmedo, pues cubre el 39,52 % del área de Fresno, equivalente a unas 8.875,71 hectáreas. La provincia con menos cobertura es la de Cálido Superhúmedo que sólo alcanza el 0,98 % del área del Municipio correspondiente a 220,26 hectáreas del total.

4.5.6.1 Cálido Húmedo (CH)

Corresponde a un área de 821,67 hectáreas, equivalentes al 3,65 % del total, distribuida hacia el suroriente del Municipio, en la ribera del Río Gualí margen izquierda aguas abajo; en esta provincia se ubicada parte de las Veredas La Sierra, Aguas Claras, Bajo Gualí, Santa Rosa, Campeón Bajo, EL Bosque y El Nogal. Se caracteriza por presentar temperaturas mayores a 23 ªC., y por el desarrollo de cultivos semipermanentes y permanentes, cultivos misceláneos y pastos arbolados.

4.5.6.2 Cálido Superhúmedo (CSH)

Se encuentra definido por un rango de altura entre los 700 a 1000 m.s.n.m y una temperatura promedio de 21º C, y una precipitación superior a los 4.000 mm anuales. Este tipo de clima, lo encontramos en el Norte del Municipio hacia la margen derecha aguas abajo del Río Guarinó, en las Veredas Betania, California y El Placer. Ocupa aproximadamente 220,26 Has, equivalentes al 0,98 % del área total del Municipio. Se desarrollan cultivos semipermanentes, permanentes y cultivos anuales transitorios, además se encuentra bosque protector y rastrojo.

4.5.6.3 Templado Húmedo (TH)

Esta provincia se encuentra localizada en el sector sureste del Municipio y abarca las Veredas La Picota, Holdown, La Porfía, Brisas del Gualí, Playas del Gualí, Mateguadua, Alto Grande, Zona Urbana de Fresno, Campeón Medio, Campeón Alto, La Florida, El Turco, Los Guaduales, Santa Rosa, Alto del Águila, Primavera, Cerro Azul, Guineal, Piedra Grande, La Ceiba, Aguasal La Playa, Aguasal Brillante, Buenos Aires, Arrayán y Remolino.

Es la que mayor área ocupa dentro del Municipio, aproximadamente 12.046,99 Has, correspondiente al 53,58 %. En esta provincia se concentra la mayor parte de la población de Fresno y por ende las actividades productivas del Municipio como son: agrícolas, pecuarias, prestación de servicios, comercio, recreación y ecoturismo; siendo el patrón de uso predominante los cultivos misceláneos, permanentes, semipermanentes, los anuales transitorios y el pasto manejado.

4.5.6.4 Templado Superhúmedo (TSH)

Esta provincia cubre un área aproximada de 8.875,71 hectáreas equivalentes al 39,52 %; se distribuye hacia el costado occidental del Municipio y corresponde al área que ocupan las Veredas Alegrías, Barretico, Barreto, Betania, Cachipay, Caja rica, California, Cascabel, Caucasia, Conflicto, El Guayabo, El Placer, El Tablazo, España, Fátima, Guayacanal, Jiménez, La Aguadita, La Colina, La Cristalina, La Divisa, La Floresta, La Hondura, La Linda, Las Marías, Los Andes, Medina, Mira Flores, Paramillo, Partidas, Pavas, Peñaliza, Petaquero, Portugal, Providencia,

Puente T, Raizal I, Raizal II, San Antonio, San Bernardo, San Isidro, Santa Clara, Travesías, Trincheras y Ucrania.

Se caracteriza porque en ella se desarrollan cultivos semipermanentes, permanentes, cultivos anuales transitorios, misceláneos y pastos enrastrojados principalmente.

4.5.6.5 Frío Superhúmedo (FSH)

Esta provincia se distribuye hacia el costado suroccidental del Municipio, en parte de las Veredas Caucasia, Conflicto, La Aguadita, La Divisa, La Hondura, Petaqueros, Raizal I y Raizal II. Se caracteriza por presentar una cobertura de uso principalmente de mosaicos de cultivos, pastos, relictos de bosque natural, rastrojo y en menor grado cultivos semipermanentes.

Ocupa aproximadamente unas 508,49 hectáreas, equivalentes al 2,26 % del área total del Municipio.

5 ANÁLISIS HIDROMETEOROLOGICO

Se seleccionaron las estaciones disponibles del IDEAM que se encontraban cerca del municipio; se ubicaron y seleccionaron las más representativas para dicha zona.

Para estimar los valores de precipitación esperados para varios periodos de retorno, fue necesario verificar el ajuste de los datos de la serie de precipitaciones máximas en 24 horas a una distribución de probabilidades adecuada.

Se determinaron las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencias (Curvas IDF) utilizando el método de Vargas M. R., Díaz - Granados D. M, luego se determinó el aguacero de diseño de acuerdo con las curvas IDF - para diferentes periodos de retorno.

La estimación de los caudales de aguas lluvias para el diseño de colectores y canales se realiza mediante el modelo lluvia-escorrentía; se utiliza el método racional, siempre y cuando el área de drenaje sea inferior a 80 Ha corno lo dicta la resolución 0330 de 2017.

5.1 Selección de estaciones

Para la caracterización climática de la zona a nivel local, se utilizaron las estaciones que se presentan en la siguiente tabla, operadas por el Instituto de 'Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

CODIGO	ESTACION	CORRIENTE	CT	FECHA-INST	ENTIDAD	ELEV	LG	LM	LA.SS	D	LG	LM	LO.SS	D	NOMBRE DEL MUNICIPIO
23010020	EDEN EL	GUALI	PM	15/05/1958	IDEAM	1350	5	9	18	N	75	2	56	W	FRESNO
21255120	VILLA HERMOSA	LAGUNILLA	CO	15/09/1975	IDEAM	2029	5	1	36	N	75	7	2	W	VILLA HERMOSA
23015040	APTO MARIQUITA	GUALI	SS	15/01/1962	IDEAM	475	5	12	35	N	74	53	11	W	SAN SEBASTIAN DE MARIQUITA

Tabla 13. Estaciones hidrometeorologicas

Para el análisis de precipitaciones se utiliza la estación PM, El Edén muy cercana al casco urbano, y que cuenta con una serie de datos apropiada; para el caso de otros parámetros climáticos como temperaturas, humedad relativa, evaporación, nubosidad, entre otros, el municipio no cuenca con estaciones que midan estos parámetros. Por lo que se debe recurrir a las estaciones más cercanas.

Como se observa en la siguiente figura, las estaciones más cercanas son, la climatológica ordinaria (CO) Villa Hermosa, y la sinóptica secundaria (SS) Aeropuerto Mariquita. Sin embargo, corno se observa en la tabla anterior ambas están a elevaciones muy distintas si se compara con los 1300.00 msnm del municipio de Fresno.

Dicho lo anterior para el parámetro de temperatura, sabiendo que este está determinado principalmente por la altura, se analizan ambas estaciones, pero para los demás parámetros se utilizará la estación CO Villa Hermosa, ya que cuenta con mayor cantidad de datos, y se encuentra a una altura similar.

JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE ESTACIONES

Se hace preciso aclarar que la estación APTO MARIQUITA se encuentra a 18 kilómetros de distancia del municipio de Fresno, distancia que se encuentra dentro de los parámetros establecidos para elección de una estación hidrometereológica, además de que la curva idf de dicha estación se encuentra dentro del catalogo de curvas IDF de estaciones del IDEAM.



Lo anterior, se fundamenta en lo establecido por la OMM (organización meteorológica mundial), que el radio de acción para una estación climatológica principal tal como lo es la Estación EDEN Y APTO MARIQUITA posee un radio de acción promedio entre 25 y 30 kilómetros, que para el caso de estudio es de 18 kilómetros, distancia la cual se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

Tabla 1. Distribución de estaciones meteorológicas en una red básica.

GRUPO	TIPO ESTACIÓN	DISTANCIA (Km)	RADIO ACCIÓN PROMEDIO (Km)	SUGERENCIAS TÉCNICAS OMM
1-R	REFERENCIA	Entre 300 y 400	Entre 150 y 200	Una por cada 4 o 5 del primer grupo
1	SP - CP - AM	Entre 150 y 200	Entre 75 y 100	Aprox. una por cada 10 estaciones del 2 grupo
2	CO - ME	Entre 50 y 60	Entre 25 y 30	Aprox. 10 estaciones por cada una del primer grupo
3	PM - PG	Entre 25 y 30	Entre 12 y 15	La mitad de la distancia en áreas montañosas

Nota técnica No. 111 de la OMM. Adaptado L López. 2008

5.2 Análisis estadístico

Para la estación PM El Edén, se realizó el cálculo de las principales variables estadísticas, correspondientes al valor medio, desviación estándar, varianza, y coeficiente de asimetría, datos que permiten establecer las funciones de ajuste más apropiadas para la predicción de las variables de interés a diferentes periodos de retorno.

AÑO	mm
1958	65
1959	155
1960	87
1961	135
1962	120
1963	110
1964	86
1965	53
1966	52
1967	90
1968	95
1969	54
1970	73
1971	80
1972	90
1973	69

AÑO	mm
1981	80
1982	48
1983	90
1984	65
1985	43,2
1986	90
1987	61
1988	92
1989	32
1990	31
1991	31
1992	60
1993	31
1994	31
1995	91
1996	35

AÑO	mm
2003	80
2004	68
2005	60
2006	40
2007	90
2008	100
2009	31
2010	36
2011	70
2012	72
2013	103
2014	81
2015	95
2017	113,2
No Datos	**59**
Media	**70,41**

1974	60
1975	60
1976	150
1977	90
1978	55
1979	46

1997	60
1998	59
1999	35
2000	35
2001	40
2002	51

Desv. Estándar	**29,79**
Coef. Asimet	**0,76**

Tabla 14. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 Horas. Fuente IDEAM

5.3 Periodo de retorno

El periodo de retomo se define como el tiempo promedio en el que un evento determinado se repite, en el caso dado, se refiere al tiempo en el que se igualan o superan eventos máximos de caudales.

El periodo de retomo se calcula atendiendo a la probabilidad de que el evento suceda, expresado como:

$$T = \frac{1}{P(x \geq xi)} = \frac{1}{1 - P(x \leq xi)}$$

Dónde:
T: Periodo de retorno (años)
P: probabilidad
X: Evento máximo

Dicho esto, se puede establecer la probabilidad de ocurrencia de un determinado evento de máximos atendiendo al periodo de retomo requerido por la obra. La resolución 0330 de 2017 (artículo 135), define los siguientes periodos de retomo para los cálculos de caudales máximos instantáneos.

Características Área de drenaje	Periodo de Retorno
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 Hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 Hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 Hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 Hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000	50

Hectáreas	
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 Hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 Hectáreas	100

Tabla 15. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 Horas. Fuente IDEAM
Fuente: Articulo 135 Resolución 0330.

5.4 Curvas IDF

Es importante, además de cuantificar la lluvia que cae registrada en pluviómetros, poder predecir cuánto podrá caer en un futuro y cuál puede ser la máxima precipitación, con el fin de analizar los caudales de agua que producen las cuencas en eventos extremos. Sin embargo, un evento de lluvia es un evento aleatorio y para estudiar su evolución y predicción ha de realizarse mediante conceptos probabilísticos. Las curvas IDF pretenden exactamente eso, asociar la intensidad con la duración de la lluvia y la probabilidad de ocurrencia o frecuencia. De acuerdo con la metodología descrita en (Vargas & Díaz-Granados), se calcularon las curvas intensidad - duración - frecuencia teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$i = \frac{a \times T^b \times M^d}{(t/60)^c}$$

En donde: i: Intensidad de precipitación, mm/h
T: Periodo de retorno, años
t: Duración lluvia, horas
M: Promedio de la precipitación máxima anual en 24 horas, mm

Según (Vargas & Díaz-Granados), la zona de proyecto se encuentra en la región uno o región Andina, la cual es influenciada directamente por las condiciones de terreno y la altitud. En esta las lluvias pueden ir desde 1000 mm anuales en los valles interandinos, hasta los 4000 mm al año en los altiplanos y bosques alto

andino. Para esta región la referencia bibliográfica asigna a los parámetros a, b, c y d los valores de 0.94, 0.18, 0.66 y 0.83 respectivamente.

Se calculan curvas IDF para periodos de retomo de 3, 5, 1O, 25, 50 y 100 años y con una duración máxima de 300 minutos. En la siguiente figura, y la tabla que la precede se incluye la gráfica lDF y sus valores, para la estación El Edén.

Tiempo (min)	3 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
10	127.69	139.98	158.59	187.02	211.87	240.03
15	97.71	107.12	121.35	143.11	162.13	183.67
30	61.84	67.79	76.80	90.57	102.61	116.24
45	47.32	57.87	58.77	69.31	78.52	88.95
60	39.13	42.90	48.61	57.32	64.94	73.57
75	33.78	37.03	41.95	49.47	56.04	63.49
90	29.95	32.83	37.19	43.86	49.69	56.29
105	27.05	29.65	33.60	39.62	44.88	50.85
120	24.77	27.15	30.76	36.28	41.10	46.56
135	22.92	25.12	28.46	33.56	38.02	43.08
150	21.38	23.43	26.55	31.31	35.47	40.18
165	20.07	22.01	24.93	29.40	33.31	37.73
180	18.95	20.78	23.54	27.76	31.45	35.63
195	17.98	19.71	22.33	26.33	29.83	33.79
210	17.12	18.77	21.26	25.07	28.41	32.18
225	16.36	17.93	20.32	23.96	27.14	30.75
240	15.67	17.18	19.47	22.96	26.01	29.47
255	15.06	16.51	18.70	22.06	24.99	28.31
270	14.50	15.90	18.01	21.24	24.00	27.20
285	13.99	15.34	17.38	20.50	23.22	26.31
300	15.53	14.83	16.80	19.81	22.45	25.43

Tabla 16 Valores de intensidad duración y frecuencia.

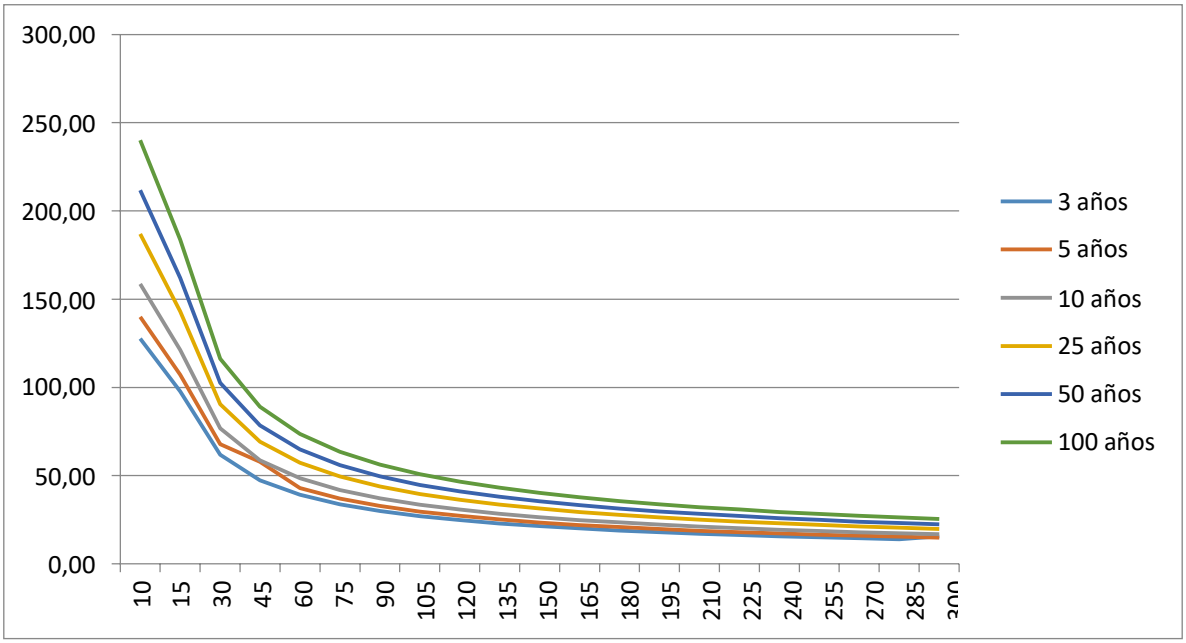


Ilustración 15 - Grafica ide la estación PM el EDEN

5.5 Análisis de Caudales

Como se dijo en la metodología, el método racional se utiliza en este tipo de estudios, siempre y cuando el área de drenaje no supere las 80 Ha (RAS 2017). Dicho método establece la relación entre el volumen de precipitación total y el volumen de escorrentía como el coeficiente de escorrentía, y asume que la precipitación cae uniformemente sobre toda el área en el intervalo de tiempo determinado, por tanto, el caudal instantáneo se puede expresar como la relación entre la intensidad de la precipitación, el área y el coeficiente de escorrentía, según la ecuación:

$$Q = 0.278 \times C \times 1 \times A$$

En donde:
- Q: Caudal máximo de descarga de escorrentía superficial, (m3/s).
- C: Coeficiente de escorrentía, (valor adimensional que depende de tipo de cobertura.
- 1: Intensidad de lluvia, (mm/h tomada de las curvas IDF).

A: Área de drenaje, (m2, área aferente al elemento encargado de recolectar las aguas lluvia).

En general se utilizan los siguientes coeficientes de escorrentía:

Tipo de Superficie	C
Cubiertas	0.9
Pavimentos asfalticos y superficies de concreto	0.9
Vias adoquinadas	0.85
Zonas comerciales o industriales	0.9
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0.75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0.75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0.6
Residencia con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separadas	0.45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0.3
Laderas sin vegetación	0.6
Laderas con vegetación	0.3
Parques recreacionales	0.3

Tabla 17. Coeficientes de Escorrentía..

6 CARACTERIZACIÓN AGUAS RESIDUALES

6.1 VERTIMIENTOS IDENTIFICADOS

Se realizó recorrido por las descargas identificadas por el equipo de catastro de la consultoría durante el levantamiento de información catastral del municipio. La actividad se realizó por medio de inspección visual a los puntos de vertimientos identificados, a continuación se realiza una breve descripción de las descargas identificadas durante el recorrido: Se identificaron 22 vertimientos.

Vertimientos	Observaciones
Descarga 1	La descarga se encuentra al costado derecho, se evidencia vegetación abundante. Y con cuerpo receptor. El rio Sucio.
Descarga 3	Descarga Intermitente, con Influencia directa de talleres en la zona, no olores altos se encuentra en el patio de la casa, Vegetación.

Descarga 4	Se evidencia drenaje superficial denominado cap 2 intermitente, este vertimiento descarga directamente al box 6, se evidencia señales de contaminación alta, residuos sólidos, empozamientos de aguas residuales. generación de vectores y olores
Descarga 5	Es una vertimiento de caudal bajo, con descarga directa al suelo que se conecta 10 metros abajo a la descarga 19
Descarga 6	El vertimiento identificado descarga en la quebrada que une a la cañada Nicua y la cañada Matadero, está quebrada presenta signos de intervención humana contaminación caudales mayores, ancho aproximado de 6 metros.
Descarga 7	Descarga al Rio Sucio (Fuente de agua superficial), vegetación.
Descarga 9	Descarga sobre fuente de agua superficie!.(Rio sucio) Mencionado por pobladores de la zona.
Descarga 10	La descarga es de flujo constante y de gran caudal se dirige a la cañada hospital, olores, difícil acceso.
Descarga 11	Se evidencio tubería desalojada generando vertimiento denominado descarga 11
Descarga 13	Esta descarga sirve como estructura de alivio y luego a la cañada hospital. El flujo se dirige al pozo 379 y la descarga por la cañada hospital.
Descarga 14	Área libre de residuos sólidos en estado de conservación
Descarga 15	Descarga de aguas residuales ubicada sobre vía, al costado Izquierdo, recoge las aguas del barrio san Luis, descarga en suelo dentro de terreno de un cafetal.
Descarga 16	Se evidencia tubería que descarga, entorno con contaminación nivel medio. Mencionan los pobladores que la quebrada es la nicua
Descarga 17	La descarga 17 se comunica directamente al box 3.
Descarga 18	Descarga ubicada sobre la vía hacia padua.
Descarga 19	El vertimiento se encuentra sobre la cañada denominada matadero. se evidencia aguas diluidas por lo que se cree que recibe aguas provenientes de nacimientos o acuíferos de la zona. Se evidencia afectación directa de residuos sólidos y caballerizas. Vegetación en estado de degradación
Descarga 20	Caudal alto, se recomienda revisar la línea de pozos que Ingresan al vertimiento.
Descarga 21	Se conecta a la cañada matadero, se une a la descarga 20 aguas abajo
Descarga 22	Se une con el canal 12 y pasa por el box 5, se evidencia en áreas aledañas signos de contaminación.
Descarga 23	Al finalizar el Box 6 se encuentra el vertimiento, el cual cae sobre área natural

Descarga 24	La descarga es proveniente de la tubería la cual cae por gravedad al suelo y luego por escorrentía e infiltración se dirige a la cañada.
Descarga 25	Se conecta aguas abajo con la descarga 20 y 21

6.2 CAUDALES POR DESCARGA

Se realizó cálculo de los caudales de agua residuales mediante la metodología descrita en la Resolución 0330 de 2017; una vez procesado el catastro de redes del municipio se construyó el modelo hidráulico de la red de alcantarillado actual, y con los caudales previamente en cada nodo de la red se determinaron las descargas teóricas totales en cada punto de vertimiento del municipio

Descarga	Caudal Descargado (L/s)	%Q
DES-4	0,17	0,40%
DES-NICUA	0,18	0,40%
DES-9	0,26	0,60%
DES-5	0,26	0,60%
DES-12	0,36	0,80%
DES-16	0,38	0,80%
DES-24	0,39	0,80%
DES-7	0,41	0,90%
DES-6	0,45	1,00%
DES-3	0,51	1,10%
DES-21	0,52	1,10%
DES-25	0,6	1,30%
DES-11	1,21	2,60%
DES-18	1,36	2,90%
DES-1	1,62	3,40%
DES-14	1,78	3,80%
DES-15	1,89	4,00%
DES-22	2,94	6,20%
DES-23	3,98	8,50%
DES-10	9,26	19,70%

DES-19	18,01	38,30%
TOTAL	**46,54**	**99,20%**

Tabla 18. **Caudales teóricos agua residual**

De los resultados obtenidos se establece que el punto de vertimiento con mayor caudal, es la descarga 19, con un caudal teórico de 18,01 l/s.

Para los cálculos de generación de caudal se tuvo en cuenta una densidad poblacional de 196.4 hab/hectárea. (Calculada a partir del área de drenaje total y la población proyectada al año cero (2019) del periodo de diseño.

7 ESTUDIO DE POBLACIÓN Y DEMANDA

7.1. PERIODO DE DISEÑO

Los comportamientos históricos de la población y sus consumos son el insumo base para establecer las necesidades de un municipio. Por esta razón es de vital importancia elaborar un estudio detallado del crecimiento histórico de la población, con el fin de proyectar de la manera más apropiada estos comportamientos al horizonte de diseño y diseñar estructuras con la capacidad requerida para atender no sólo las necesidades actuales, sino las futuras, sin incurrir en sobrecostos.

Para lo anterior, se realizó una investigación exhaustiva de la información existente sobre los comportamientos de la población del municipio de Fresno y se analizó su comportamiento para determinar el mejor método de proyección de la misma. De igual manera, en dichas proyecciones, se tuvieron en cuenta los planes de desarrollo del municipio los cuales permiten estimar de manera más exacta la población que se espera atender a futuro.

7.2 DATOS HISTÓRICOS DE POBLACIÓN

Buscando conocer el comportamiento de la población del municipio de Fresno en los últimos años se recurrió a investigar en el DAÑE los resultados de los últimos censos realizados, así como la proyección de población al año 2020 realizada por esta entidad. Por otro lado, se consultaron los estudios de población realizados en

los planes maestros de acueducto del municipio con el objetivo de conocer las expectativas del mismo en torno a su crecimiento en años anteriores.

De igual manera, es de vital importancia para este tipo de estudios conocer las estrategias de desarrollo del municipio debido a que estas darán las pautas para la ampliación y optimización de los sistemas prestadores de servicios públicos al proporcionar mediante sus propuestas de expansión una población de saturación del municipio.

Finalmente, se solicitó información oficial del municipio sobre la población actual del mismo y las expansiones urbanas esperadas para comparar con la información previamente mencionada y usar la realidad del municipio para representar de la mejor manera posible el futuro del mismo

7.2.1 Información DANE

El DANE cuenta con información censal de los años 1985, 1993 y 2005 a partir de los cuales realizaron proyecciones de población desde el año 1985 al año 2020. La información extraída de los informes de cada uno de estos reportes se presenta a continuación:

Información DANE Censo 1985	**Personas x hogar**		
	Población (Hab)	**Total**	**27.569**
		Cabecera	**10.848**
		Resto	**16.721**

TABLA 19. Información censal 1985

Fuente: Colombia Censo Nacional 1985 - Cuadros de Población Total con Ajuste de Cobertura, por Secciones del País y Municipios, DAÑE, 1989

Información DANE Censo 1993	**Personas x hogar**		
	Población (Hab)	**Total**	**29.908**
		Cabecera	**12.787**
		Resto	**17.121**

TABLA 20 Información censal 1993

Fuente: XVI CENSO NACIONAL DE POBLACION Y V DE VIVIENDA -1993 / Población total censada, por área y sexo, según departamentos y municipios, DAÑE.

Información DANE Censo 1993	**Personas x hogar**		
	Población (Hab)	**Total**	**30.750**
		Cabecera	**14.268**
		Resto	**16.482**

TABLA 21 Información censal 1993

Fuente: XV CENSO NACIONAL DE POBLACION Y VI DE VIVIENDA - 2005 / Población total censada, por área y sexo, según departamentos y municipios, DAÑE.

TABLA 8-4. ESTIMACIONES DE POBLACIÓN 1985 - 2005 Y PROYECCIONES DE POBLACIÓN 2005 - 2020 EN LA CABECERA MUNICIPAL DE FRESNO.

Año	Población (Hab)	Año	Población (Hab)	Año	Población (Hab)	Año	Población (Hab)
1985	13,701	1994	13,842	2003	14,315	2012	14,802
1986	13,721	1995	13,882	2004	14,376	2013	14,829
1987	13,735	1996	13,931	2005	14,442	2014	14,857
1988	13,747	1997	13,985	2006	14,507	2015	14,878
1989	13,758	1998	14,043	2007	14,569	2016	14,891
1990	13,769	1999	14,1	2008	14,628	2017	14,901
1991	13,779	2000	14,153	2009	14,678	2018	14,900
1992	13,794	2001	14,205	2010	14,721	2019	14,900
1993	13,814	2002	14,259	2011	14,764	2020	14,891

TABLA 21 Estimaciones de población 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 - 2020 en la cabecera municipal de fresno.

Fuente: DANE

Con base en la información censal y en las proyecciones del DANE se observa que el municipio de Fresno presenta una tendencia en el aumento de la población, en especial en su área urbana y/o de cabecera la cual es el área de interés para el presente proyecto, mientras que en el resto del municipio se observa un aumento de población en la zona rural entre 1985 y 1993, y luego un decrecimiento entre este último año y el 2005.

De acuerdo con lo anterior, se espera que si la tendencia presentada hasta la fecha se mantiene para el horizonte de diseño de este proyecto, parte de la población haya migrado de la zona rural o de diferentes partes del país, al casco

urbano del municipio. Finalmente, es importante resaltar que de acuerdo con el censo del año 2005 en el municipio de Fresno un hogar era conformado por 3.4 personas.

7.2.2 Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado

Población urbana actual del Municipio y usuarios a los cuales se les presta servicio dentro del casco urbano. A continuación, se relaciona la información:

Personas (Hab)	**32,66**
Total Hogares	**10,909**
Cabecera y Centro Poblad	**5,46**
Resto	**5,449**
Habitantes Cabecera y Centro poblad	**16,346**
Habitantes Resto	**16,314**
Densidad habitacional (hab/viv)	**2,99**
Densidad habitacional (hab/viv)	**2,99**

Tabla 22. Población y suscriptores actuales del municipio

Uso/estrato	No. Usuarios
Uso Residencial	
1 - Bajo- Bajo	934
2 - Bajo	1736
3 - Medio Bajo	1009
4 - Medio	0
Total Residencial	3679
Uso Comercia	
Único	303
Total Comercial	303
Uso Oficial	
Único	22
Total Oficial	22
Uso Industrial	

Único	4
Total Industrial	4
Total	**4008**

Tabla 23. Suscriptores del servicio del acueducto
Fuente: Oficina de Servicios Públicos Domiciliarios del Municipio de Fresno. Junio 2018.

De acuerdo a la información suministrada por el municipio para el mes de mayo del presente año, Fresno cuenta con un total de 32.660 usuarios registrados en el SISBEN, los cuales corresponden a un total de 10.909 hogares, donde 5.460 se localizan en el casco urbano y centro poblado del municipio y 5.449 se distribuyen en la zona rural dispersa. Asumiendo que un hogar corresponde a una única vivienda, se estima una densidad habitacional de 2,99 hab/viv.

Teniendo en cuenta que la información de usuarios del casco urbano esta combinado con el número de usuarios registrados del centro poblado, no es posible emplear este dato para el desarrollo de las proyecciones de población, por este motivo se consultó en el sitio web de la gobernación del Tolima las estadísticas del SISBEN para los años 2012 a 2017, donde se obtuvo la información relacionada en la Tabla 8-11. Teniendo en cuenta que el comportamiento de los usuarios registrados en el SISBEN sigue la tendencia de aumento de la población en el casco urbano del municipio de fresno se empleará el número de habitantes del año 2017 como valor de entrada en las metodologías de proyección establecidas en el título B del RAS 2000.

Año	Población
2012	14,407
2013	14,482
2014	-
2015	15,094
2016	14,429
2017	14,612

Tabla 24. Registro habitantes urbanos inscritos en el sisben años 2012 a 2017.
Fuente: Gobernación del Tolima, 2018.

7.2.3 Desarrollo del Municipio - PBOT

El PBOT - Plan Básico den Ordenamiento Territorial - (el cual es definido para municipios con poblaciones entre 30.000 y 100.000 habitantes) de los municipios es el proyecto mediante el cual, entre otros objetivos, se realiza la planeación del crecimiento de un municipio durante cierto periodo de tiempo. Dentro de este se definen las áreas autorizadas para la expansión de los cascos urbanos, los índices de construcción y ocupación de las mismas y los planes parciales contemplados. A continuación, se realiza un resumen de los dos últimos planes parciales de Fresno y de acuerdo con los hallazgos se realiza un análisis de las proyecciones de crecimiento que tiene el municipio para establecer la población de saturación del mismo

7.2.3.1 Proyecto de Acuerdo Plan Básico de Ordenamiento Territorial - PBOT- Municipio De Fresno

Dicho acuerdo regía para tres periodos constitucionales de la administración municipal del municipio de Fresno más el tiempo que faltara para finalizar la administración en la cual fue aprobado, es decir, el PBOT del año 2002 es vigente durante 14 años a partir del año de expedición. Considerando lo anterior, este tuvo vigencia hasta el año 2016; actualmente, el municipio de Fresno se encuentra realizando la actualización del PBOT, cuya resolución debe salir en el transcurso de este año. Considerando lo anterior, la presente consultoría tendrá en cuenta únicamente la información consignada en el documento entregado por la Secretaría de Planeación e Infraestructura del municipio, cuya vigencia a largo plazo no alcanza a cubrir el periodo mínimo de diseño requerido para las obras

Los siguientes artículos del proyecto de acuerdo del PBOT del municipio de Fresno son aquellos que resultan útiles para determinar las proyecciones que tiene el municipio en cuanto a su desarrollo:

- **Artículo 9 - Suelo Urbano cabecera municipal de Fresno.**

El perímetro urbano del Municipio de Fresno tiene un área de 151.525 Ha, que corresponde al perímetro de servicios o perímetro sanitario.

- **Artículo 10 - Plan parcial en suelo de expansión urbana**.

El suelo de Expansión Urbano está localizado en el área rural y su incorporación a suelo urbano, se hará mediante la formulación y adopción del respectivo plan parcial y sus lineamientos.

■ Se debe garantizar la armónica mezcla de usos, con el respectivo señalamiento de usos e intensidades de ocupación.

■ Se debe garantizar la adecuada zonificación de áreas públicas destinadas a parques, equipamientos, y vías locales, las cuales se consolidarán como cargas urbanísticas y se debe hacer su debido reparto entre los propietarios del sector.

■ Estudio de suelo y estabilidad para el proyecto urbanístico, junto con las medidas u obras contempladas para su protección, en especial para proyectos de altura.

■ La formulación del Plan Parcial está en cabeza de la administración municipal o de los propietarios particulares beneficiados.

■ Las demás normas que la Secretaria de Planeación o quien haga sus funciones considere, en la expedición de las determinantes para la formulación de los Planes Parciales.

■ Todo proyecto urbanístico debe contener mínimo un porcentaje del 15% del área neta urbanizable, para el desarrollo de viviendas de interés social y/o prioritario, los cuales deben estar plenamente delimitados en el planteamiento del proyecto y cuya densidad será alta; lo anterior no afectará las áreas de cesión previstas por la norma.

■ Para el caso de multifamiliares, cada apartamento o unidad tendrá un área no inferior a 62 mts2. - Para el caso de multifamiliares bajo la modalidad de

vivienda de interés social y/o prioritario, el área mínima estará sujeta a los estudios de factibilidad del proyecto, sin que su área sea inferior a 42 mts2.

- **Artículo 73 - Áreas de Cesión.**

El porcentaje mínimo de las cesiones urbanísticas gratuitas para cualquier desarrollo o actuación urbanística con área igual o superior a una (1) hectáreas será del 30% del Área Neta Urbanizable, distribuido así:

- Para espacio público estarán entre el 15% al 20 del área neta urbanizable.

- Para equipamiento estarán entre el 15% al 10% del área neta urbanizable.

- Las cesiones para vías locales serán mínimo del 15% del área neta urbanizable y dependiendo de sus condiciones de accesibilidad y diseño pueden aumentar pero no disminuir, en el caso de aumentar el porcentaje para vías locales, esto no afectará los porcentajes determinados para espacio público y equipamientos.

- **Índice de Ocupación.**

El índice de ocupación para vivienda unifamiliar y bifamiliar es de 0,75, para vivienda multifamiliar es de 0.6.

- **Normas urbanísticas para el suelo urbano.**

Alturas: Se permiten construcciones hasta de dos (2) pisos y altillo (unifamiliar y bifamiliar).

- **Artículo 87. Planes Parciales a implementar.**

Los planes parciales a implementar, en el Municipio de Fresno son las siguientes áreas identificadas como suelo de expansión urbana

Plan Parcial zona de Expansión Urbana 1: localizada al norte del perímetro urbano del municipio de Fresno, con un área de 7.561 has.

Plan Parcial zona de Expansión Urbana 2: localizada al sur del perímetro urbano del municipio de Fresno, con un área de 7.895 has.

Adicional a estos artículos, se encuentran los planos de usos de suelo respectivos que permiten prever el tipo de desarrollo que se generara en cada uno de los lotes disponibles para construcción.

7.2.3.2 Estimación de población de saturación

La población de saturación nos indica la población máxima que puede albergar el municipio de acuerdo con su capacidad de territorio, de ofrecer servicios públicos de manera adecuada y brindar atención médica y de educación a sus habitantes. En la Tabla 8-12 se presenta el cálculo de la población de saturación. Para lo anterior, se recurrió al Proyecto Acuerdo Propuesta Revisión y Ajuste del PBOT. En donde se presenta el uso del suelo urbano del municipio de Fresno. A partir de este plano se determinaron las áreas totales para cada tipo de uso. Considerando que, en cada tipo de área, si esta se urbaniza o ya se encuentra urbanizada, el 30% de dicha área debe ser cedida al municipio para la construcción de parques y/o espacio público diferente a las vías.

Adicionalmente, considerando el tipo de uso y los usos permitidos dentro del mismo se estima el porcentaje de intensidad residencial del área en cuestión: 80% para áreas netamente urbanas residenciales, 60% en áreas donde se encuentran zonas de vivienda campestre, y 80% en áreas urbanas de expansión.

Seguidamente haciendo uso de los índices de ocupación y construcción permitidos en cada una de las zonas existentes se estimó el área disponible para la construcción de viviendas, la cual fue afectada por un porcentaje de ventas ya que no toda el área será de vivienda, sino que se requieren espacios comunes destinados a otros usos. Asumiendo viviendas tipo de 60 m2, se obtiene el número de viviendas máximo permitido en cada uso del suelo. Finalmente, considerando la densidad habitacional estimada para el año 2018 a partir de la información suministrada por el municipio, y asumiendo que 1 usuario = 1 vivienda, se estima el número de habitantes en cada zona y la suma de la totalidad de la población en cada sector corresponde a la población de saturación del municipio.

TABLA 8-12. POBLACIÓN DE SATURACIÓN.

Uso	Área Total	Cesión (%)	Área Neta (m2)	Intensidad (%)	IO	Área Construida (m2)	IC	Área Viviendas (m2)	%Ventas	Área de Ventas(m2)	Unidad Promedio(m2)	# Viviendas	Densidad (hab/Viv)
Área Suburbano Vivienda Campestre	91.367	30	63.957	60	0,70	26.862	1,75	47.008	80	37.607	60	627	2,99
Área urbana	756.707		529.695	80	0,73	309.342	1,69	522.788	80	418.230	60	6.971	2,99
Área de Expansión	154.564		108.195	80	0,73	63.186	1,83	115.630	80	92.504	60	1.542	2,99

Tabla 25. Población de saturación.

A partir de la información del PBOT del municipio de Fresno, se realiza la estimación de la población de saturación del municipio, la cual se estima en 27.364 habitantes. Este cálculo se realizó usando la reglamentación de construcción permitida en el PBOT mencionado de acuerdo al uso de suelo urbano.

7.3. PERIODO DE DISEÑO

De acuerdo con el artículo 40. Período de diseño de la Resolución 0330 de 2017: "Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años". Es decir, nuestro horizonte de diseño será el año 2044 considerando que este año se terminen los diseños y el año base sea el año 2019.

7.4. PROYECCIONES DE POBLACIÓN

Una vez revisada la información existente se tiene una base para la realización de proyecciones de población de acuerdo a las directrices del RAS 2000 y/o Resolución 0330 de 2017. Tomando en cuenta lo anterior, se realizaron proyecciones del tipo aritmético, geométrico, exponencial y gráfico considerando diferentes periodos de tiempo y los datos fueron analizados para determinar la metodología más aplicable al municipio.
Las memorias de este estudio se presentan en el ANEXO III.

7.4.1 .Áreas en Desarrollo

A la fecha de elaboración del presente diagnóstico no se ha recibido información por parte del municipio, referente al desarrollo de proyectos urbanísticos en las zonas de expansión urbana relacionadas en la Figura 8-1. Por este motivo el crecimiento poblacional debido a la urbanización de éstas, se determinará como la población de saturación máxima de acuerdo al literal b del numeral 8.2.4, es decir una población total de 4.617 habitantes.

Se asumió que al año 5 del periodo de diseño (2024) se contará con un total de 2.309 habitantes en las zonas de expansión urbana, y que al año 10 (2029) se encontrarán completamente urbanizadas dichas áreas, para un total de 4.617 habitantes.

7.4.2. Método Aritmético, Geométrico y Exponencial (2005 - 2020)

De acuerdo con las metodologías presentadas en el Titulo B del RAS, las proyecciones de población realizadas por este método toman como dato futuro el dato de proyección del censo del DAÑE (en este caso año 2020) y como dato inicial el último censo realizado por la misma institución (2005). De acuerdo a las proyecciones de esta entidad se espera un crecimiento de la población en el casco urbano del municipio. Mediante esta aproximación se espera un aumento de la población en el horizonte de diseño de 7,29 % con tasas medias de aumento en 8 y 12 años de 1,94 % y 2,96 % respectivamente para el casco urbano del municipio de Fresno

2005-2020	Año/ Método	Aritmético	Geométrico		Exponencial	
			r	Pob	k	Pob
0	2018	14.808		14.808		14.808
1	2019	14.849		14.849		14.849
2	2020	14.891		14.891		14.891
3	2021	14.933		14.933		14.933
4	2022	14.974		14.976		14.976
5	2023	15.016		15.019		15.019

6	2024	15.057		15.062		15.062
7	2025	15.099		15.105		15.105
8	2026	15.140	0,29%	15.148	0,003	15.148
9	2027	15.182		15.191		15.191
10	2028	15.223		15.234		15.234
11	2029	15.265		15.278		15.278
12	2030	15.306		15.321		15.321
13	2031	15.348		15.365		15.365
14	2032	15.389		15.409		15.409
15	2033	15.431		15.453		15.453
16	2034	15.472		15.497		15.497
17	2035	15.514		15.541		15.541
18	2036	15.556		15.586		15.586
19	2037	15.597		15.630		15.630
20	2038	15.639		15.675		15.675
21	2039	15.680	0,29%	15.719	0,003	15.719
22	2040	15.722		15.764		15.764
23	2041	15.763		15.809		15.809
24	2042	15.805		15.854		15.854
25	2043	15.846		15.900		15.900
26	2044	15.888		15.945		15.945

Tabla 26. Proyecciones método aritmético, geométrico y exponencial (2005 - 2020).
Fuente: EDAT

7.4.3. Método Aritmético, Geométrico y Exponencial (2005 - 2017)

Considerando como únicos datos validos la información censal del año 2005 y la información suministrada por el SISBEN del año 2017 se procede a evaluar las metodologías del RAS tomando como base estos dos datos. Mediante esta proyección se espera un aumento de la población en el horizonte de diseño de 5,09 % con tasas medias de aumento en 8 y 12 años de 1,36 % y 2,09 % respectivamente para el casco urbano del municipio de Fresno. Esta proyección no representa un aumento tan significativo como el que demuestra la realizada en el numeral 0

2005-2017	Año/ Método	Aritmético	Geométrico		Exponencial	
			r	Pob	k	Pob
0	2018	14.641		14.641		14.641
1	2019	14.669		14.670		14.670
2	2020	14.698	0,20%	14.699	0,002	14.699
3	2021	14.727		14.728		14.728
4	2022	14.755		14.758		14.758
5	2023	14.784		14.787		14.787
6	2024	14.813		14.816		14.816
7	2025	14.841		14.846		14.846
8	2026	14.870		14.875		14.875
9	2027	14.899		14.905		14.905
10	2028	14.927		14.935		14.935
11	2029	14.956		14.964		14.964
12	2030	14.985		14.994		14.994
13	2031	14.013		15.024		15.024
14	2032	15.042		15.044		15.044
15	2033	15.071	0,20%	15.084	0,002	15.084
16	2034	15.099		15.114		15.114
17	2035	15.128		15.144		15.144
18	2036	15.157		15.174		15.174
19	2037	15.185		15.204		15.204
20	2038	15.214		15.234		15.234
21	2039	15.243		15.264		15.264
22	2040	15.271		15.295		15.295
23	2041	15.300		15.325		15.325
24	2042	15.329		15.356		15.356
25	2043	15.357		15.386		15.386
26	2044	15.386		15.417		15.417

***Tabla 27. Proyecciones método aritmético, geométrico y exponencial* (2005 - 2017).**

7.4.4. Método Aritmético, Geométrico y Exponencial (2017 - 2020)

Considerando que se tiene información más actualizada del crecimiento de la población se toma como año inicial la información de población actual en el

municipio (año 2017) y como final las proyecciones del DAÑE (año 2020). Con base en esta información, se realizaron proyecciones de población encontrando un aumento en la población más acelerado que con las proyecciones realizadas en los numerales anteriores. En este caso mediante esta proyección se espera un aumento de la población en el horizonte de diseño de 16,44 % con tasas medias de aumento en 8 y 12 años de 4,33 % y 6,35 % respectivamente para el casco urbano del municipio de Fresno.

2017-2020	Año/ Método	Aritmético	Geométrico		Exponencial	
			r	Pob	k	Pob
0	2018	14.705		14.704		14.704
1	2019	14.798		14.797		14.797
2	2020	14.891		14.891		14.891
3	2021	14.984		14.985		14.985
4	2022	15.077		15.080		15.080
5	2023	15.170		15.175		15.175
6	2024	15.263		15.271		15.271
7	2025	15.356		15.368		15.368
8	2026	15.449		15.465		15.465
9	2027	15.542		15.563		15.563
10	2028	15.635		15.661		15.661
11	2029	15.728		15.760		15.760
12	2030	15.821		15.860		15.860
13	2031	15.914	0,63%	15.960	0,01	15.960
14	2032	16.007		16.061		16.061
15	2033	16.100		16.163		16.163
16	2034	16.193		16.265		16.265
17	2035	16.286		16.368		16.368
18	2036	16.379		16.471		16.471
19	2037	16.472		16.576		16.576
20	2038	16.565		16.680		16.680
21	2039	16.658		16.786		16.786
22	2040	16.751		16.892		16.892
23	2041	16.844		16.999		16.999
24	2042	16.937		17.107		17.107
25	2043	17.030		17.215		17.215

26	2044	17.123		17.324		17.324

***Tabla 28. Proyecciones método aritmético, geométrico y exponencial* (2017 - 2020).**

7.4.5. Método Gráfico (1985 - 2017)

Buscando poder integrar en las proyecciones la situación actual del municipio se recurrió a métodos gráficos mediante los cuales se hace uso de todos los datos censales de los cuales se tiene información y se incluye el dato de la población actual suministrado por el municipio según las estadísticas del SISBEN del año 2017.

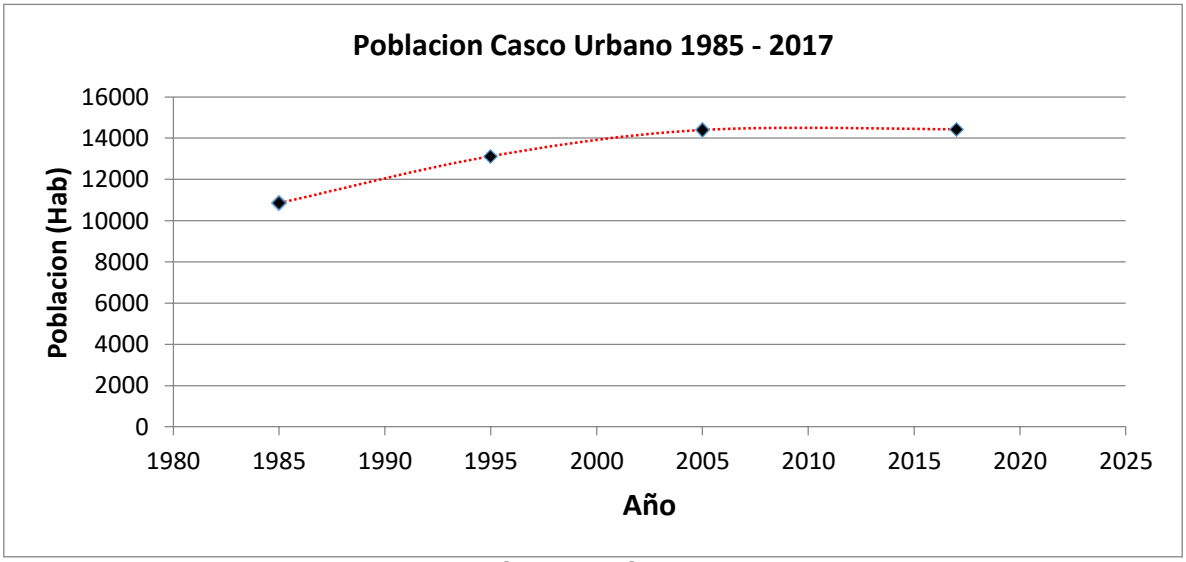


Ilustración 5. MÉTODO GRÁFICO (1985 - 2017).
Fuente: EDAT

Al graficar todos los datos mencionados (1985, 1993, 2005 y 2017) se tiene que el comportamiento de la población es de tipo polinómico grado 3 (véase Gráfica 8-2) y está representada por la siguiente expresión:

$$P = ax3 — bx2 + cx — d$$

Dónde,
P: Población en el año de proyección x.

x: Año en el que se desea proyectar la población.
a,b,cy d: Coeficientes de regresión polinómica grado 3 (véase Tabla 8-16).

Coeficiente	Valor
a	0,0625
b	379,885417
c	769652,875
d	519750257
R2	1

Tabla 29. Coeficientes de regresión método grafico (1985-2017)
Fuente: EDAT

1985-2017	AÑO/ METODO	GRAFICO POBLACION
0	2018	14.610
1	2019	14.604
2	2020	14.596
3	2021	14.586
4	2022	14.574
5	2023	14.560
6	2024	14.545
7	2025	14.530
8	2026	14.514
9	2027	14.498
10	2028	14.482
11	2029	14.467
12	2030	14.453
13	2031	14.441
14	2032	14.430
15	2033	14.422
16	2034	14.416
17	2035	14.414
18	2036	14.414
19	2037	14.419

20	2038	14.427
21	2039	14.440
22	2040	14.458
23	2041	14.481
24	2042	14.510
25	2043	14.544
26	2044	14.585

Tabla 30. **Proyecciones método grafico (1985 - 2017)**
Fuente: EDAT

Utilizando la ecuación resultante de este método, se realiza la proyección de población al año 2044. Como se observa en la Tabla 8-17, mediante este método de proyección se evidencia una tasa de decrecimiento en la población dentro del horizonte de diseño de -0,17 % para el casco urbano del municipio de Fresno. Teniendo en cuenta los datos históricos del municipio y la tendencia al aumento de población del mismo, esta proyección no se considera una buena aproximación a la realidad, y no será tenida en cuenta dentro del presente estudio.

7.4.6. Método Gráfico (1985 - 2017 - 2020)

Buscando poder integrar en las proyecciones la situación actual del municipio se recurrió a métodos gráficos mediante los cuales se hace uso de todos los datos censales de los cuales se tiene información y se incluye el dato de la población actual suministrado por el municipio según las estadísticas del SISBEN del año 2017, junto con el dato de proyección de población del DAÑE para el año 2020.

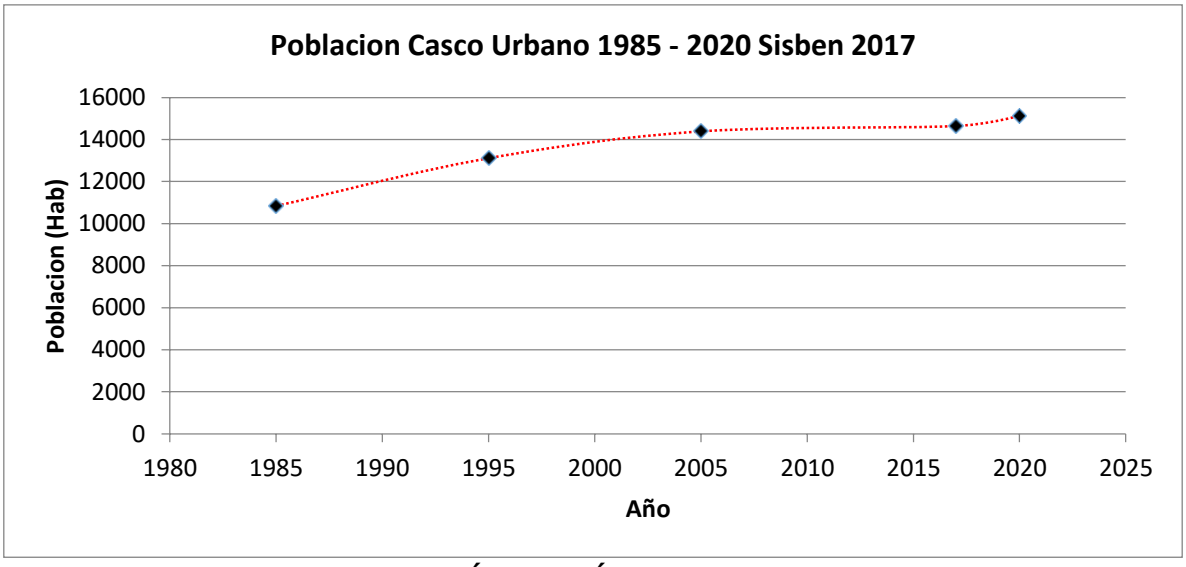


Ilustración 6. MÉTODO GRÁFICO (1985 - 2017 - 2020).
Fuente EDAT

Al graficar todos los datos mencionados (1985, 1993, 2005,2017 y 2020) se tiene que el comportamiento de la población es de tipo polinómico grado 4 (véase Gráfica 8-3) y está representada por la siguiente expresión:

$$P = ax4 — bx3 + cx2 — dx + e$$

Dónde,
P: Población en el año de proyección x.
x: Año en el que se desea proyectar la población.
a, b,c,dy e: Coeficientes de regresión polinómica grado 4 (véase Tabla 8-18)

Coeficiente	Valor
a	0,00693048
b	55,3813566
c	165949,64
d	220997626
e	1,10E+11
R2	1

Tabla 31. Coeficientes de regresión método gráfico (1985 - 2017 - 2020)
Fuente EDAT

1985-2020	AÑO/ METODO	GRAFICO
		POBLACION
0	2018	15.192
1	2019	15.285
2	2020	15.401
3	2021	15.544
4	2022	15.718
5	2023	15.926
6	2024	16.174
7	2025	16.464
8	2026	16.802
9	2027	17.192
10	2028	17.639
11	2029	18.148
12	2030	18.724
13	2031	19.732
14	2032	20.097
15	2033	20.907
16	2034	21.805
17	2035	22.798
18	2036	23.893
19	2037	25.094
20	2038	26.410
21	2039	27.847
22	2040	29.410
23	2041	31.108
24	2042	32.947
25	2043	34.935
26	2044	37.079

Tabla 32. Proyecciones método gráfico (1985 - 2017 - 2020)
Fuente EDAT

Utilizando la ecuación resultante de este método, se realiza la proyección de población al año 2044. Como se observa en la Tabla 8-19, la tasa de crecimiento de la población en el horizonte de diseño de 144,07 % con tasas media de

aumento en 8 y 12 años de 22,07% y 77,36 % respectivamente para el casco urbano del municipio de Fresno.

Teniendo en cuenta los datos históricos del municipio y el comportamiento del crecimiento de la población según los datos censales de población del mismo, esta proyección sobrestima la población al año 2044 y sobrepasa la población de saturación determinada en el numeral 8.2.4, motivo por el cual no se considera una buena aproximación a la realidad, y no será tenida en cuenta dentro del presente estudio.

7.4.7. Método Gráfico (1985 - 2020)

Buscando poder integrar en las proyecciones la situación actual del municipio se recurrió a métodos gráficos mediante los cuales se hace uso de todos los datos recolectados. En este caso de evaluación se integran los datos de los tres censos realizados en el país, junto con la proyección de la población calculada por el DAÑE para el año 2020

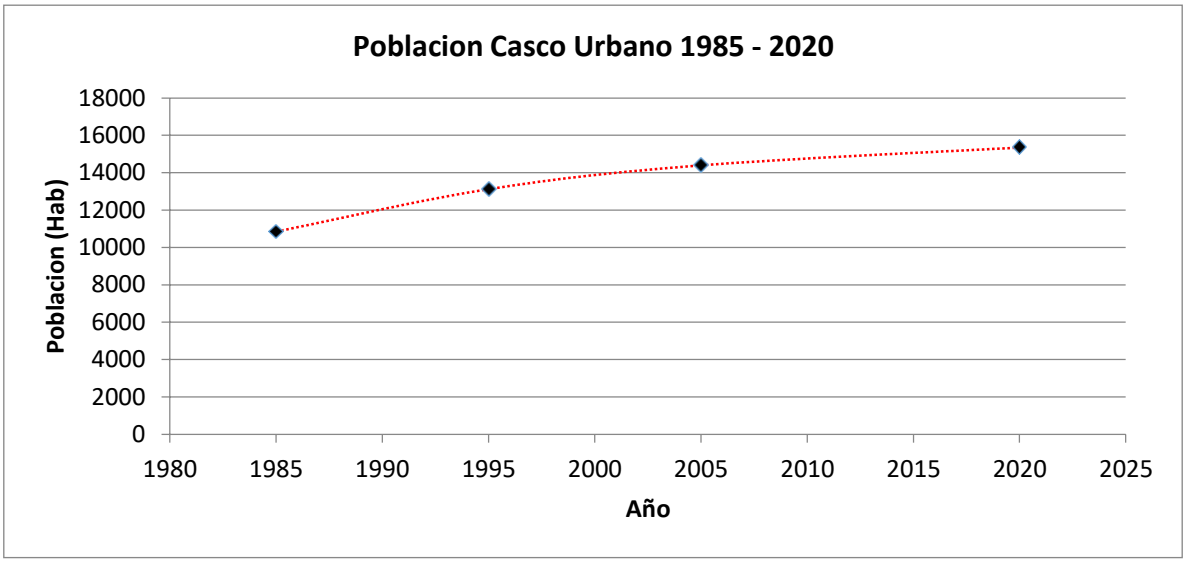


Ilustración 7. MÉTODO GRÁFICO (1985 - 2020).
Fuente: EDAT

Al graficar todos los datos mencionados (1985, 1993, 2005 y 2020) se tiene que el comportamiento de la población es de tipo polinómico grado 3 (véase Gráfica 8-4) y está representada por la siguiente expresión:

$$P = ax3 — bx2 + ex — d$$

Dónde,

P: Población en el año de proyección x.
x: Año en el que se desea proyectar la población.
a, b, c y d: Coeficientes de regresión polinómica grado 3 (véase Tabla 8-20).

Coeficiente	Valor
a	0,08329145
b	504,28063
c	1017736,31
d	684667811
R2	1

Tabla 33. Coeficientes de regresión método gráfico (1985 - 2020).
Fuente: EDAT

AÑO	CENSO	PROYECCION	TASA CRECIMIENTO
1985	10.848	10.848	
1983	12.787	12.787	
2005	14.268	14.268	
2017	14.612	14.804	
2018		14.833	0,20%
2019		14.862	0,20%
2020	14.891	14.891	0,20%
2021		14.921	0,20%
2022		14.953	0,21%
2023		14.987	0,23%
2024		15.023	0,24%

2025		15.062	0,26%
2026		15.104	0,28%
2027		15.151	0,31%
2028		15.202	0,34%
2029		15.257	0,37%
2030		15.319	0,40%
2031		15.386	0,44%
2032		15.459	0,48%
2033		15.540	0,52%
2034		15.628	0,57%
2035		15.723	0,61%
2036		15.828	0,66%
2037		15.941	0,72%
2038		16.063	0,77%
2039		16.196	0,83%
2040		16.339	0,88%
2041		16.493	0,94%
2042		16.658	1,00%
2043		16.835	1,06%
2044		17.025	1,13%
MINIMO			0,20%
MAXIMO			1,13%
PROMEDIO			0,52%
TOTAL (2018 - 2044)			14,81%

Tabla 34. **Proyecciones método grafico (1985 - 2020).**
Fuente: EDAT

Utilizando la ecuación resultante de este método, se realiza la proyección de población al año 2044. Como se observa en la Tabla 8-21 la tasa de crecimiento de la población en el horizonte de diseño es de 14,78 % con tasas medias de aumento en 8 y 12 años de 2,09 % y 9,56 % respectivamente para el casco urbano del municipio de Fresno

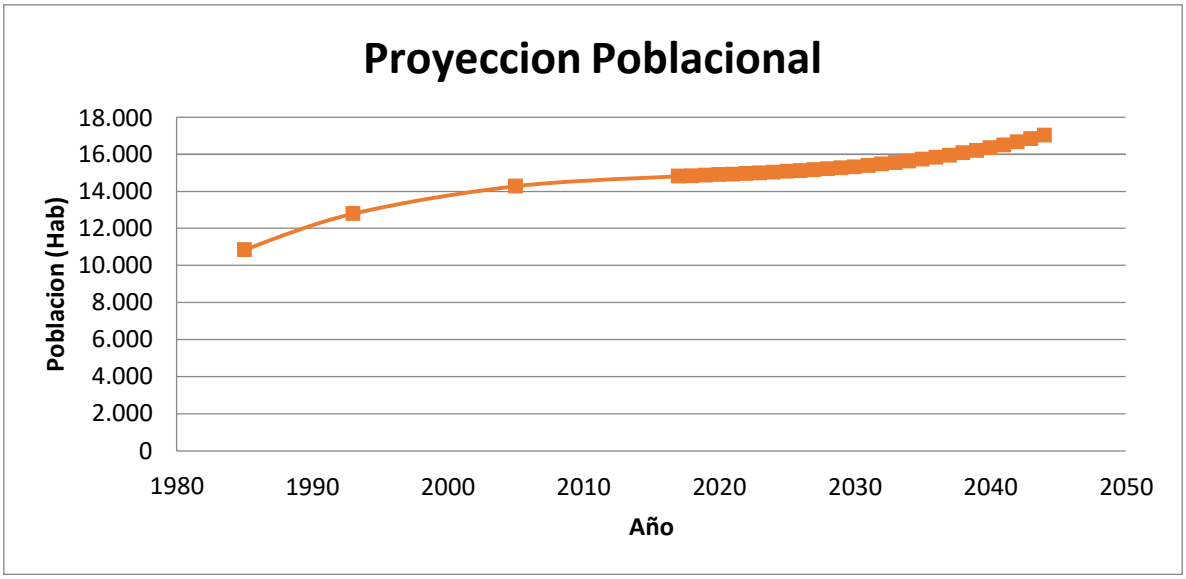


Ilustración 8. Método grafico (1985 - 2020).
Fuente: EDAT

De acuerdo a la información censal, la zona Urbana de Fresno tuvo un crecimiento del 31,5% entre el año 1985 y el año 2005. Con la información del número de usuarios registrados en el SISBEN (año 2017), se determinó que el municipio tuvo un crecimiento de 14,3 % en la población del casco urbano desde el año 1993. En la Tabla 8-21 y la Gráfica 8-5 se presenta la comparación de la proyección obtenida en este numeral, con los datos censales del municipio, donde se evidencia que la tasa de crecimiento de la proyección es similar al crecimiento que presentó el municipio desde el año 1993.

Así mismo en la gráfica se observa la tendencia de los datos censales junto con el comportamiento de la presente proyección en la cual se evidencia que el método seleccionado se ajusta al comportamiento del crecimiento del municipio, y representa adecuadamente el número de habitantes al horizonte de diseño.

Finalmente de acuerdo al numeral 7.4.1, se suma la población calculada a las zonas de expansión para los años 2024 y 2029 de la siguiente manera:

Tabla 34. **Proyecciones método gráfico con zonas de expansión (1985-2020)**

AÑO	CENSO	PROYECCION	TASA CRECIMIENTO
2019		14.862	0,20%
2020		14.891	0,20%
2021		14.921	0,20%
2022		14.953	0,21%
2023		14.987	0,23%
2024	2.309	17.331	15,64%
2025		17.370	0,23%
2026		17.413	0,24%
2027		17.459	0,27%
2028		17.510	0,29%
2029	2.309	19.874	13,50%
2030		19.936	0,31%
2031		20.003	0,34%
2032		20.076	0,37%
2033		20.157	0,40%
2034		20.245	0,44%
2035		20.340	0,47%
2036		20.445	0,51%
2037		20.558	0,55%
2038		20.680	0,60%
2039		20.813	0,64%
2040		20.956	0,69%
2041		21.110	0,73%
2042		21.275	0,78%
2043		21.452	0,83%
2044		21.642	0,88%
MINIMO			0,20%
MAXIMO			1,13%
PROMEDIO			15,64%
TOTAL (2019 - 2044)			46,00%

Tabla 35. Proyecciones método gráfico con zonas de expansión (1985-2020)

7.4.8. Población Flotante

De acuerdo a la información consignada en el numeral 3.4.8 y a lo conversado con los funcionarios del municipio, en este se celebran diferentes eventos a lo largo del año y cuenta con atracciones turísticas que atraen población flotante en determinadas épocas. Considerando lo anterior, se asume un valor del 20% para esta población que a pesar de ser temporal debe ser atendida por el sistema cuando sea necesario.

7.4.9. Población de Diseño

Considerando los análisis realizados hasta este punto se determinó lo siguiente:

- La población proyectada mediante el método gráfico considerando los años 1985,1993, 2005 y 2020 es aquella que representa de manera más adecuada el comportamiento poblacional del municipio.

- Se requiere tener en cuenta un 20% adicional de población debido a la población flotante que visita al municipio para las diferentes actividades que en este se realizan.
- En el horizonte de diseño no se alcanza la saturación (27.364 hab) del casco urbano del municipio de Fresno.

Con base en lo anterior, la población de diseño se estima como:

Población Casco Urbano Proyectada 2044	21.642
Población Flotante	4.328
TOTAL	25.971

Tabla 36. Población de diseño.

8 DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO

8.1. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Para la estimación de caudales residuales y de aguas lluvias se tomó como información guía los artículos 134 y 135 de la resolución mencionada, los cuales se encuentran dentro del Capítulo 4 "Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Pluviales", Sección 1 "Consideraciones Técnicas Generales de las Redes de Alcantarillado". A continuación, se listan las recomendaciones para la estimación de cada tipo de caudal y se explica la metodología adoptada por esta consultoría.

8.1.1 .Caudales Sanitarios

8.1.1.1. Resolución 0330 de 2017 - RAS

Los aportes de aguas residuales deben determinarse con base en información de consumos y/o mediciones recientes registrados en la localidad, y considerando las densidades previstas para el periodo de diseño con base en el Plan de Ordenamiento Territorial o Plan Básico de Ordenamiento Territorial o Esquema de Ordenamiento Territorial y Plan de Desarrollo del municipio a través de zonificación del uso de la tierra. Se justificarán los valores adoptados y deben ser aprobados por la persona prestadora del servicio. Se deben estimar los caudales para las condiciones iniciales y finales del periodo de diseño, en cada uno de los tramos de la red. Los caudales que se requiere calcular son los siguientes:

1. Caudal de aguas residuales domésticas. Cuando se cuente con proyección de demanda de agua potable, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_D = C_R \times D_{NETAp} \times A$$

Donde,

C_R, es el coeficiente de retorno.
D_{NETAp}, es la demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s.ha). A, es el área tributaria de drenaje (ha).

Cuando se cuente con proyección de demanda de agua potable por suscriptor, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_D = \frac{C_R \times P_S \times D_{NETAS}}{30}$$

Donde,

Ps, es el número de suscriptores proyectados al periodo de diseño.
D_{NETAS}, es la demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor (m3/suscriptor-mes).

Cuando se utilice proyección de población, se debe calcular con la siguiente ecuación

$$Q_D = \frac{C_R \times P \times D_{NETA}}{86{,}400}$$

Donde,

D_{NETA}, es la dotación neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab.día).
P, es el número de habitantes proyectados al período de diseño.

El coeficiente de retomo (C_R) debe estimarse a partir del análisis de información-existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio. De no contar con datos de campo, se debe tomar un valor de 0,85.

2. Caudal de aguas residuales no domésticas. Para zonas netamente industriales, comerciales e institucionales se deben elaborar análisis específicos de aportes de aguas residuales.

3. Caudal medio diario. Se debe calcular el caudal medio diario de aguas residuales como la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

4. Caudal máximo horario. El factor de mayoración utilizado en la estimación del caudal máximo horario debe calcularse haciendo uso de mediciones de campo, en las cuales se tengan en cuenta los patrones de consumo de la población. En ausencia de datos de campo, se debe estimar con las ecuaciones aproximadas, teniendo en cuenta las limitaciones que puedan presentarse en su aplicabilidad. Este valor deberá estar entre 1,4 y 3,8.

5. Caudal de conexiones erradas. Los aportes por conexiones erradas deben estimarse a partir de la información existente en la localidad. En ausencia de esta información deberá utilizar un valor máximo de 0,2 L/s. Ha. Sin embargo, teniendo en cuenta que el sistema de alcantarillado del municipio de Fresno es combinado, no se tiene en cuenta el caudal de conexiones erradas para el cálculo del caudal de diseño.

6. Caudal de infiltración. El caudal de infiltración debe estimarse a partir de aforos en el sistema y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de las tuberías, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de estructuras de conexión y demás estructuras, y su calidad constructiva. Ante la ausencia de información, se debe utilizar un factor entre 0,1 y 0, 3 L/s. Ha, de acuerdo con las características topográficas, de suelos, los niveles freáticos y la precipitación de la zona del proyecto. Para situaciones en las cuales el nivel freático se encuentre por debajo del nivel de cimentación de la red, el caudal de infiltración podrá excluirse como componente del caudal de diseño.

7. Caudal de diseño. El caudal de diseño debe obtenerse sumando el caudal máximo horario, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas. Cuando el

caudal de diseño calculado en el tramo sea menor que 1,5 L/s, debe adoptarse este último valor como caudal de diseño para el tramo

8.1.1.2. Metodología

La estimación de caudales se realizó haciendo uso del estudio de población y demanda realizado por esta consultoría y aplicando sus resultados a las áreas tributarias determinadas para el municipio de Fresno.

A partir del estudio de población y demanda, se determina la densidad poblacional del municipio, número de habitantes por hectárea, y esta densidad es aplicada a cada área tributaria determinando de esta forma el número de habitantes que aportan sus aguas residuales a cada tramo. Una vez establecido esto, y teniendo en cuenta la dotación neta adoptada como consumo de los habitantes actualmente en el municipio, así como un coeficiente de retorno de 0,85 se determina el caudal medio diario del municipio.

Posteriormente, se realiza el análisis del factor de mayoración mediante diferentes metodologías y el resultado es aplicado al caudal medio diario con el fin de determinar el caudal máximo horario.
Finalmente, se incluyen los caudales de infiltraciones y conexiones erradas de acuerdo con las recomendaciones del RAS, descritas en el numeral anterior y se determina el caudal total o caudal de diseño el cual será utilizado para determinar el comportamiento del sistema de alcantarillado del municipio cuando este funciona únicamente transportando aguas residuales.

a) Población y Dotación Neta

Como se mencionó anteriormente, para la determinación de los caudales sanitarios se requiere conocer la densidad poblacional de la zona en estudio; por ende, es de vital importancia conocer la población actual y futura del municipio.
Este análisis fue realizado en el estudio de Población de la presente consultoria, encontrando que la población al año 0 (2019) del municipio corresponderá a 14.862 habitantes y para el horizonte de diseño año 25 (2044) está habrá incrementado a 21.642 habitantes.

Este último valor, considera el crecimiento de la población debido al desarrollo de los polígonos de expansión establecidos en el Proyecto Acuerdo Propuesta Revisión y Ajuste del PBOT del municipio de Fresno.
Considerando lo anterior, y que el área urbana del municipio actualmente es de 151.525 Ha, de las cuales 75,67 Ha corresponden a zonas urbanizadas, adyacentes al sistema de alcantarillado del municipio. De este modo, se tiene que la densidad poblacional del municipio es de 196,40 Hab/Ha aproximadamente. A futuro, considerando los polígonos de expansión (un área de drenaje total de 91,13 Ha), la nueva densidad poblacional será de 237,49 Hab/Ha para el año 2044.
Se adopta el valor estipulado en el artículo 13 de la resolución 0330 de 2017, el cual no debe superar los 130 L/hab*día para poblaciones localizadas entre 1.000 y 2.000 metros sobre el nivel del mar.

b) Áreas Tributarias

La definición de áreas tributarias a cada tubería fue realizada haciendo uso del software ArcGIS®, mediante el cual fueron encerrados en polígonos todos aquellos predios cuyos frentes fuesen paralelos a un tramo de tubería, incluyendo de igual manera la tubería en cuestión. A continuación, se presentan las áreas tributarias estimadas para el municipio de Fresno tanto para el escenario del año 0 (2019), como para el escenario futuro (2044). Como se mencionó anteriormente, el área futura corresponde al área de drenaje del perímetro urbano actual y las zonas de expansión consideradas dentro del Proyecto Acuerdo Propuesta Revisión y Ajuste del PBOT del municipio de Fresno. En la Figura 9-1 se ilustran las áreas de drenaje de aguas residuales para el escenario actual en color rosa, y en amarillo se relacionan las zonas de expansión urbana, que drenaría a los pozos adyacentes del sistema de alcantarillado para el escenario futuro (año 2044).

c) Caudal Medio Diario

El caudal medio diario se determina para cada tubería a partir del producto entre la densidad poblacional del municipio por el área tributaria asignada al tramo.
Posteriormente, el resultado de este producto, es decir, los habitantes que realizan sus aportes a dicho tramo, es multiplicado por la dotación neta del municipio y por

un coeficiente de retorno de 0,85; debido a que no toda el agua que es consumida regresa al sistema de alcantarillado.
Para el escenario del año 0 (2019), se obtuvo un caudal medio diario de 22,81 L/s y para el escenario futuro de 33,21 L7s.

d) Factor de Mayoración

Haciendo uso del factor de mayoración es posible tener en cuenta las variaciones en el consumo de agua de la población y de dicha forma determinar el caudal máximo horario que será entregado a las redes de alcantarillado.

Debido a que no se tienen mediciones de caudal residual en las redes y que estas son de tipo combinado, se estimó el factor de mayoración tomando en cuenta las diferentes metodologías presentadas en el Capítulo 3 del Título D "Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias" del RAS y a partir de los resultados encontrados se determinó la que mejor ajuste presentará para el proyecto en particular.

Entre las metodologías evaluadas se encuentran:

Una vez revisados los resultados de las tres metodologías, se observa que en promedio todos se encuentran por encima de 2.5, considerando que de acuerdo con la resolución 0330 de 2017 el factor de mayoración se debe encontrar entre 1,4 y 3,8. Esta consultoría opta por seleccionar un factor de mayoración más conservador de 1.4.

e) Caudal Máximo Horario

Una vez establecido el valor del factor de mayoración, se determina el producto entre el caudal medio diario y el factor de mayoración determinado, encontrando un caudal máximo horario actual (2019) de 31,93 L/s y para el escenario futuro de 46,50 L/s.

f) Conexiones Erradas

Considerando que el sistema es combinado, no se tienen en cuenta contribuciones de conexiones erradas para el cálculo del caudal de diseño de aguas residuales.

g) Caudal de Infiltración

Considerando que no se cuentan con aforos para la determinación del caudal de infiltración en el sistema, considerando las características topográficas, geotecnias e hidrológicas del área de estudio se asume un valor de 0.2 L/s*Ha de acuerdo con las recomendaciones del RAS. Este valor es aplicado a cada una de las áreas tributarias encontrando un valor total de 15,13 L/s para el escenario actual y un valor de 18,23 L/s para el escenario futuro teniendo en cuenta las zonas de expansión urbanas.

h) Caudal de Diseño

De acuerdo con el artículo 134 numeral 7 de la resolución 330, el caudal de diseño se determina como la suma de los caudales máximo horario, infiltración y conexiones erradas. Considerando lo anterior:

$Q_{Actual} = Q_{MH} + Q_{CE} + Q_{INF}$

$= 31, 93 L/s + 0, 0 L/s + 15, 13 L/s$

$= 47, 07 L/s$

$Q_{Futuro} = Q_{MH} + Q_{CE} + Q_{INF}$

$= 46,50 L/s + 0,0 L/s + 18,23 L/s$

$= 64,73 ^/s$

8.1.2. Caudales Pluviales

8.1.2.1. Resolución 0330 de 2017-RAS

La estimación de los caudales de aguas lluvias para el diseño de colectores y canales se debe realizar mediante modelos lluvia - escorrentia, basados en modelos de abstracciones. Se puede utilizar el método racional, siempre y cuando el área de drenaje sea inferior a 80 ha. Para su estimación, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

1. Período de Retorno. El período de retomo de la lluvia de diseño se debe seleccionar de acuerdo con la importancia de las áreas y los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico, el comercio, la industria y la infraestructura. En ningún caso podrán ser menores que los valores mostrados en la Tabla 37

Características Área de drenaje	Periodo de Retorno
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 Hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 Hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 Hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 Hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 Hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 Hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 Hectáreas	100

Tabla 37. Periodo de retorno
Fuente: Tabla 16, Resolución 0330 de 2017.

2. **Intensidad Lluvia.** Se deben seleccionar las curvas IDF de cada localidad o región en particular y verificar su validez. Si no existen o no contemplan datos del último quinquenio, se deben obtener a partir de información pluviográfica de la zona, incluyendo los datos más recientes, para derivar las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos. Si esto no permite derivar curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse curvas IDF por métodos sintéticos, derivados con información pluviográfica colombiana.

En el análisis se deberán incluir los cambios en las intensidades producidos por los fenómenos de variabilidad y cambio climático sucedidos en Colombia, teniendo en cuenta los lineamientos desarrollados en las comunicaciones nacionales sobre cambio climático, elaborados por el IDEAM.

Con base en el análisis de las curvas IDF bajo el escenario de cambio climático, si la intensidad de diseño, acorde con el periodo de retorno requerido (Tabla 9-2) es mayor a la intensidad de la curva IDF de este literal, el diseñador deberá plantear un plan de expansión que incluya elementos de redundancia y costos estimados con una proyección al periodo de diseño.

La decisión de implementar los diseños de expansión, será tomada por el operador del sistema una vez el análisis de la información pluviográfica de la zona, incluyendo los datos más recientes de monitoreo de precipitación en la cuenca abastecedora, además de la información de caudales de entrada, indiquen una tendencia de aproximación al caudal identificado con las curvas IDF bajo el escenario de cambio climático en un periodo mínimo de 5 años.

3. **Tipo de cobertura.** Se debe realizar un análisis detallado de las coberturas de las áreas de estudio, tanto para la situación al inicio como al final del periodo de diseño.

4. **Tiempo de concentración**. Se debe considerar el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el sistema. El tiempo de entrada se debe calcular de acuerdo con las características del área de drenaje. Se debe realizar una simulación para tiempos de concentración mínimos entre 3 y 10 minutos, y evaluar la incidencia de adoptar uno u otro valor.

La suma total de las áreas de drenaje de aguas lluvia es de 91,88 Ha para el escenario actual, y 15,46 Ha adicionales que se tienen previstas como zonas de expansión dentro del Proyecto Acuerdo Propuesta Revisión y Ajuste del PBOT del municipio de Fresno para el escenario futuro, considerando lo anterior, para las cuales considerando la topografía de la región, las aguas lluvias de estas zona pueden ser drenadas directamente a los cuerpos receptores aledaños, sin verse la necesidad de conectarlos al sistema de alcantarillado existente

Descarga	Área Acumulada (Ha)	Descarga	Área Acumulada (Ha)
DES-19	29,53	**DES-18**	1,48
DES-10	19,87	**DES-3**	1,46
DES-23	12,04	**DES-12**	1,22
DES-22	6,74	**CAÑADA-F**	1,16
DES-14	4,53	**DES-25**	0,91
DES-13	3,98	**DES-18**	0,56
DES-15	2,56	**DES-7**	0,47
DES-11	1,74	**DES-4**	0,27
DES-13	1,58	**DES-6**	0,25
DES-24	1,53		

Tabla 38. Área acumulada por descarga.
Fuente: EDAT

En la Tabla 38 se relacionan las descargas del sistema de alcantarillado existente, y el área acumulada en hectáreas por punto de descarga. Teniendo en cuenta que ningún punto supera un área acumulada a 80 Ha, se adopta el método racional para la estimación de los caudales pluviales, esta metodología permite determinar el caudal pico máximo de aguas lluvias de un evento de precipitación, a partir de la intensidad media, coeficiente de escorrentía y duración que será igual al tiempo de concentración del área de drenaje.

$$Q = C\text{-}I\text{-}A$$

Donde,
Q, caudal superficial (L/s).
C, coeficiente de escorrentía (adimensional).
I, intensidad promedio de la lluvia (L/s-ha).
A, área de drenaje (ha).

a) Coeficiente de Escorrentía

No toda el agua lluvia precipitada llega al sistema del alcantarillado, pues parte se pierde por factores tales como evaporización, intercepción vegetal, detención superficial en cunetas, zanjas o depresiones, y por infiltración. Por lo anterior, el caudal pico máximo de aguas lluvias es multiplicado por el coeficiente de escorrentía que permite establecer la proporción de caudal que efectivamente llegará al sistema de alcantarillado.

Tipo de Superficie	C
Cubiertas	0.9
Pavimentos asfalticos y superficies de concreto	0.9
Vias adoquinadas	0.85
Zonas comerciales o industriales	0.9
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0.75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0.75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0.6
Residencia con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separadas	0.45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0.3
Laderas sin vegetación	0.6
Laderas con vegetación	0.3
Parques recreacionales	0.3

Tabla 38. Coeficiente de escorrentía para diferentes superficies

Para la determinación del coeficiente de escorrentía se utilizaron los valores recomendados por el título D del RAS 2016 y que se presentan en la Tabla 9-4. Igualmente, con ayuda de la ortofoto se determinaron las áreas de acuerdo con los diferentes tipos de superficie. En caso de que un área de drenaje estuviese compuesta por diferentes tipos de superficie se procedió a estimar el coeficiente de escorrentía del área de drenaje como el promedio ponderado de los coeficientes de escorrentía por sus respectivas áreas como se relaciona en la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\sum_{i}^{n} C_i \times A_i}{\sum_{i}^{n} A_i}$$

Donde,
n, número de subáreas de drenaje.
A,, i-ésima subárea de drenaje (ha).
Ci, coeficiente de escorrentía de la i-ésima subárea de drenaje (adimensional).

Se consideran un único escenario de simulación. El escenario actual tomando las áreas de drenaje definidas para el año 2019. A futuro, debido a la topografía de la región, no se adicionarán los polígonos de expansión establecidos en el Proyecto Acuerdo Propuesta Revisión y Ajuste del PBOT del municipio de Fresno, debido a que estos pueden ser drenados a los cuerpos de agua adyacentes, sin la necesidad de ser conectados al sistema de alcantarillado existente.

b) Intensidad

De acuerdo a los análisis del estudio hidrológico, se tiene que los resultados de precipitación arrojados por la estación el Edén, son aquellos con Influencia directa sobre el municipio de Fresno. En la Tabla 6-4, se presentan los valores de duración intensidad y frecuencia, determinados para esta estación, y en la Figura 6-3 su respectiva curva IDF.

c) Período de retorno

De acuerdo con las recomendaciones del RAS se hace uso de la Tabla 37 para la determinación del periodo de retorno.

d) Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda el agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el colector, es decir, es el tiempo requerido desde el comienzo de la lluvia para que toda el área este contribuyendo al colector en cuestión.

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que la escorrentía llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje, tránsito o recorrido del agua dentro del colector

$$Tc = Te + Tt$$

Donde,
Te, tiempo de entrada (min).
Lm, es la distancia que recorre el flujo para entrar al sistema (m).
Sm, pendiente de la cuenca (m/m).

Por su parte, el tiempo de recorrido puede calcularse como la relación entre la longitud de la tubería y la velocidad media del flujo dentro de la misma:

$$T_e = 100\frac{\left(L_m/1600\right)^{0.6}}{\left(S_m/0.3048 \times 1600\right)^{0.3}}$$

Donde,
Te, tiempo de recorrido (min).
L_m, longitud de la tubería (m).
S_m, velocidad medio de flujo (m/s).

El tiempo de recorrido debe determinarse mediante un proceso iterativo el cual consiste en determinar inicialmente el tiempo de recorrido suponiendo una velocidad real del flujo en la tubería, posteriormente determinar el tiempo de entrada y el tiempo de concentración para con este valor y con el período de retomo determinar la intensidad y poder estimar el caudal. Con el caudal determinado se debe determinar la velocidad real del flujo en la tubería y si está difiere de la supuesta en más del 10%, se debe asumir esta nueva velocidad como velocidad real y repetir la iteración.

De acuerdo con las recomendaciones del RAS el tiempo de concentración mínimo debe estar entre 3 y 10 minutos. Por lo tanto, de acuerdo con la experiencia del consultor se adopta un valor mínimo de 8 minutos.

e) Áreas de drenaje

Las áreas de drenaje pluviales fueron estimadas para cada uno de los tramos a diseñar considerando la topografía de la zona y las tuberías pluviales del sistema. Con lo anterior, se generan las áreas de drenaje de acuerdo con el recorrido esperado del agua. En la Figura 9-2, en color púrpura se presentan las áreas de drenaje determinadas, y en color amarillo se ilustran las zonas de expansión urbana consideradas dentro del Proyecto Acuerdo Propuesta Revisión y Ajuste del PBOT del municipio de Fresno

a) Tipo de Cobertura

El tipo de cobertura se determina con el fin de estimar la cantidad de lluvia que se infiltra en el suelo y aquella que continúa como escorrentía superficial hasta ingresar al sistema de alcantarillado existente

8.2. MODELACIÓN HIDRÁULICA

9.2.1. Topología

Para la modelación hidráulica se hizo uso de la información recolectada en el catastro de redes. No obstante, debido a diferentes dificultades presentadas para catastrar toda la red fue necesario complementar el modelo con la información basada en suposiciones para dar continuidad a los colectores de alcantarillado.

El modelo hidráulico es implementado con ayuda del software Storm Water Management Model - SWMM - de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), el cual ofrece una solución dinámica y de multiplataforma para la modelación de sistemas de alcantarillado sanitario y combinado. Sin embargo, teniendo en cuenta las dificultades que posee la topología del sistema (tuberías en contrapendiente y colectores que llegan a pozos de inspección por debajo de la cota batea de salida) se decidió implementar el modelo hidráulico en SewerGEMS que permite la modelación hidráulica de los elementos bajo las condiciones mencionadas y posteriormente exportar los resultados al software SWMM para su visualización por parte de los entes de control.

Como primer paso para la construcción geométrica del modelo se ubicaron los pozos de alcantarillado con las siguientes características:

- Coordenadas (x, y)
- Cota Rasante
- Cota del Fondo
- Diámetro
- Tipo de red, que corresponde al uso definido en el sistema (sanitario, pluvial o combinado)

Una vez ubicados los pozos se conectaron a través de tramos de tuberías, ingresando el valor del diámetro y el coeficiente de rugosidad de Manning (función del material). Después de tener todas las tuberías existentes en la red (investigadas o no investigadas), se ingresó el valor de las cotas bateas en los extremos de las tuberías. En resumen, las características de los colectores que se ingresaron en el modelo matemático son las siguientes:

- Pozo Inicial y Pozo Final
- Diámetro
- Material, n Manning
- Cota Clave Inicial y Final
- Cota Batea Inicial y Final
- Tipo de red, que corresponde al uso definido en el sistema (sanitario, pluvial o combinado)

El último elemento de la red son los puntos de descarga, los cuales se conectan a los emisarios finales, estos deben tener una cota de descarga establecida. Las características de los puntos de descarga que se ingresan al modelo son:

- Coordenadas (x,y)
- Cota Rasante
- Cota de Descarga o del fondo
- Tipo de red, que corresponde al uso definido en el sistema (sanitario, pluvial o combinado)

Con el fin de realizar un diagnóstico integral de los sistemas de alcantarillado, en los tramos en los cuales no se tenía información, debido a los inconvenientes para la inspección de los pozos, se realizó una ponderación con los datos existentes de topografía que garantizara la continuidad del modelo matemático. Este cálculo se realizó manteniendo las características de los colectores (material, diámetro y longitud). Además de complementar información, se garantizó la ubicación de tramos iniciales y la continuidad de la red

El procedimiento para completar la información del modelo consistió en ponderar las cotas conocidas aguas arriba, con las cotas conocidas aguas abajo y

establecer una pendiente consistente con los datos de la topografía realizada en el tramo.

8.2.2. Análisis de Flujo Uniforme

Los análisis del sistema se harán a través del análisis de flujo uniforme mediante el cual se evalúa el sistema bajo la condición de máximo consumo en el caso de alcantarillado sanitarig y de precipitación máxima en el caso de alcantarillado pluvial, las cuales corresponden a los escenarios críticos a los cuales se enfrenta el sistema.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El municipio de Fresno al no contar con una red de alcantarillado pluvial da manejo a la totalidad de caudal de agua lluvia mediante aguas de escorrentia, evitando mezclar dicho caudal con el caudal generado en la red de alcantarillado la cual es de uso unicamente sanitario.

Una vez realizada la modelación y evaluación hidráulica del sistema de alcantarillado del municipio de Fresno, bajo un escenario de tiempo seco (únicamente como alcantarillado sanitario); se evidencia que éste tiene capacidad suficiente para recibir y transportar los caudales de aguas residuales que aporta el casco urbano actualmente, como aquel que aportará en el horizonte de diseño (25 años). No obstante, presenta algunas falencias en cuanto a la capacidad de auto limpieza que, aunque es bastante buena, tiene algunos sectores que deben ser monitoreados de manera frecuente en especial tramos iniciales, con

el fin de identificar el momento en que sea pertinente realizarles mantenimiento y limpieza para evitar la colmatación de los tramos de tubería como de los pozos de inspección.

Al igual que en la evaluación del sistema sanitario, se observó que el alcantarillado presenta una buena capacidad de auto limpieza, sin embargo tiene algunos sectores que deben ser monitoreados de manera frecuente con el fin de identificar el momento en que sea pertinente realizarles mantenimiento y limpieza para evitar la colmatación de los tramos de tubería como de los pozos de inspección. En relación al manejo de agua lluvia y al no contar el municipio con alcantarillado pluvial el manejo se hará en su totalidad por escorrentía, por lo cual las vías presentan un diseño de confinamiento mediante bordillo prefabricado y bombeo de las vías para encausar el caudal de precipitaciones

En el presente diagnóstico en la evaluación hidráulica del sistema de alcantarillado del municipio de Fresno, no se tuvo en cuenta la magnitud del caudal de aguas subterráneas. Dicho flujo, se estimará mediante los aforos realizados en los puntos de vertimiento, y se reevaluará el modelo hidráulico en los escenarios de simulación descritos con el fin de determinar el comportamiento del sistema de alcantarillado con la inclusión del caudal de aguas subterráneas para la siguiente etapa de desarrollo del proyecto. Pese a esto, se recomienda realizar un estudio completo de Hidrogeología, para determinar la influencia y magnitud de las aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado actual y la afectación que pueden ocasionar a la infraestructura del municipio.

Se recomienda realizar mantenimientos periódicos a la red de alcantarillado y elementos de pozo, lo anterior con el fin de evitar posibles obstrucciones en las estructuras que conlleven a colapsos en la operación del sistema, en especial en zonas identificadas donde los esfuerzos cortantes se encuentren por debajo de los parámetros exigidos por la resolución 0330 de 2017.

Se recomienda la inspección de la red de alcantarillado con cámara de televisión,

lo anterior con el fin de poder establecer con mayor precisión el estado interno de las tuberías y las bóvedas subterráneas que se encuentran en el sistema y poder definir de acuerdo a su estado estructural la necesidad de realizar renovaciones y/o mantenimientos.

RELACIÓN DE PROFESIONALES

En la tabla 4 se relacionan los profesionales, técnicos y tecnólogos involucrados en la formulación del estudio.

Tabla - Relación de profesionales

NOMBRE	MATRÍCULA PROFESIONAL	FIRMA
JAIME HUMBERTO PALACINO	2520219921 CND	

Fuente: Elaboración propia