

2 ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

Para elaborar la zonificación climatológica se utilizó el método de Thornthwaite se basa en el balance hídrico, considerando únicamente la precipitación y la evaporación desde la superficie del suelo. Se calcula el balance hídrico climático promedio, del cual se obtienen los índices necesarios para dicha clasificación. Este balance se calcula con los valores de la precipitación (P), la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo donde tomamos un almacenamiento de 100 mm (FVAA) y la Evapotranspiración potencial (ETP).

Para efectuar la clasificación climática según Thornthwaite se efectuaron 6 balances hídricos correspondientes a igual número de estaciones meteorológicas correspondientes a la región de la zona de estudio, la información fue tomada de fuente I.D.E.A.M, las estaciones que se utilizaron se encuentran relacionadas en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Relación de Estaciones meteorológicas empleadas para la clasificación climática según Thornthwaite

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	COORDENADAS		Altura (m.s.n.m)	PARÁMETROS
			LATITUD	LONGITUD		
La Laja	2401525	CO	06°14'00"	73°25'00"	1400	Precipitación, humedad, temperatura
El Santuario	2401107	PM	06°19'00"	73°27'00"	1800	Precipitación
Oiba	2401024	PM	06°16'00"	73°19'00"	1400	Precipitación
Olival	2401065	PM	06°08'00"	73°20'00"	1502	Precipitación
Chima	2401526	CO	06°21'00"	73°22'00"	1090	Precipitación, temperatura, humedad
Hda San Pedro	2401077	PM	06°07'00"	73°27'00"	1400	Precipitación

Fuente: I.D.E.A.M.

2.1 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL

Para cálculo del balance hídrico climático se tomaron los valores mensuales y decadales de precipitación. En este estudio se emplearon los valores medios mensuales resultantes de las series homogeneizadas para el periodo 1974-2002 de las estaciones meteorológicas de la zona, tomados del "INSTITUTO DE HIDROLOGIA, CLIMATOLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES I.D.E.A.M."

La precipitación correspondiente a cada una de las estaciones meteorológicas de la zona se consigna en las tablas 2, 3, 4 y en el anexo de balances hídricos climáticos de las estaciones.

Tabla 2. Valores Medios Mensuales de Precipitación en la zona de estudio

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUÑ	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
La Laja	104.0	161.8	201.4	346.7	396.9	254.1	264.8	265.6	320.7	403.3	341.7	189.1	3250.1
El Santuario	140.1	160.1	242.0	369.7	511.6	354.0	373.2	406.7	442.9	482.2	382.2	212.9	4077.6
Oiba	107.5	147.9	207.0	336.7	346.3	228.1	252.2	228.3	289.8	397.9	306.3	158.5	3006.5
Olival	107.8	152.2	232.5	372.8	375.9	274.9	288.7	269.7	319.1	409.1	337.6	210.7	3351.0
Chima	95.6	167.2	220.0	350.0	336.9	199.8	214.1	249.8	314.9	391.8	303.7	166.5	3010.3
Hda San Pedro	86.1	134.8	174.2	246.9	264.4	253.5	235.4	195.8	244.0	314.1	262.3	174.7	2586.2

Fuente: I.D.E.A.M.

Tabla 3. Valores Medios-Máximos Mensuales de Precipitación en la zona de estudio

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUÑ	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
La Laja	30.7	43.7	42.1	57.7	64.3	52.6	53.7	51.7	61.9	65.3	63.6	6.0	52.8
El Santuario	37.5	44.4	50.8	54.5	58.6	57.7	49.0	60.4	57.0	65.2	54.2	41.2	52.5
Oiba	31.0	39.4	42.8	51.2	54.2	41.1	46.8	40.0	50.0	56.4	50.4	37.1	45.0
Olival	30.3	36.0	43.9	50.3	49.5	47.8	45.4	44.2	43.0	55.5	47.4	40.9	44.5
Chima	35.7	41.1	49.0	63.4	62.3	47.4	51.2	50.3	51.4	59.6	56.5	45.7	51.1
Hda San Pedro	27.8	34.8	36.8	44.0	37.6	40.6	39.2	39.8	44.3	55.7	56.1	40.0	41.4

Fuente: I.D.E.A.M.

Tabla 4. Numero de días de Precipitación en la zona de estudio

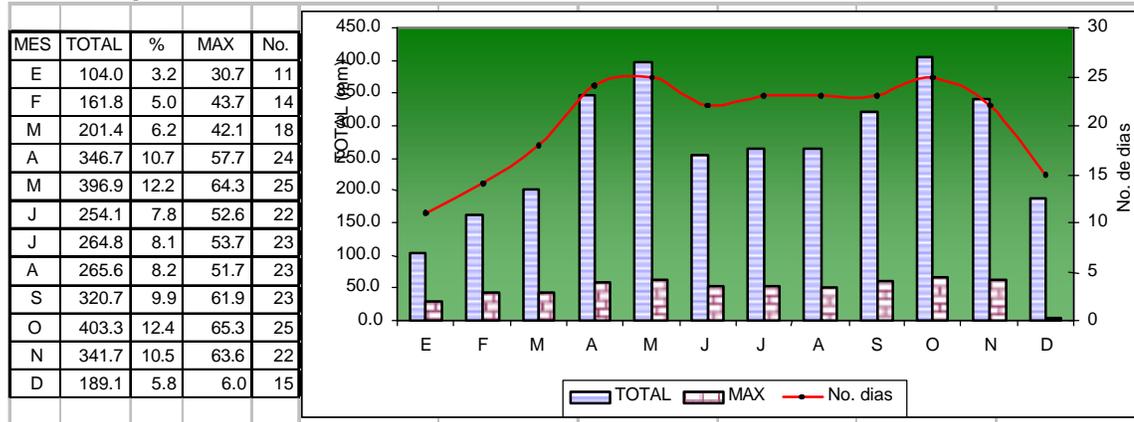
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUÑ	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
La Laja	11,3	14,2	18,2	24,0	24,8	22,4	22,7	22,7	23,3	25,1	22,3	14,9	246,0
El Santuario	9,0	9,2	13,0	19,6	23,3	17,8	20,9	20,7	22,6	23,3	19,9	13,4	213,0
Oiba	9,8	11,1	16,0	22,1	24,0	20,2	19,4	20,1	21,0	23,9	21,0	13,0	222,0
Olival	10,1	13,0	18,6	23,5	25,3	21,7	22,9	21,9	23,4	25,4	22,6	15,0	243,0
Chima	10,6	14,0	17,5	24,0	23,7	21,3	22,0	22,9	23,3	24,9	21,0	13,6	239,0
Hda San Pedro	7,9	10,6	13,9	17,6	20,7	19,1	19,0	17,4	17,5	19,8	18,1	13,6	195,0

Fuente: I.D.E.A.M.

De acuerdo a lo anterior, se analizó el régimen de lluvias en cada una de las estaciones correspondientes a la zona en estudio con el fin de elaborar el mapa de isoyetas.

2.1.1 Régimen de lluvias en la estación la Laja del municipio de Guadalupe

Gráfica 1. Régimen de lluvias en la estación CO LA LAJA del municipio de Guadalupe



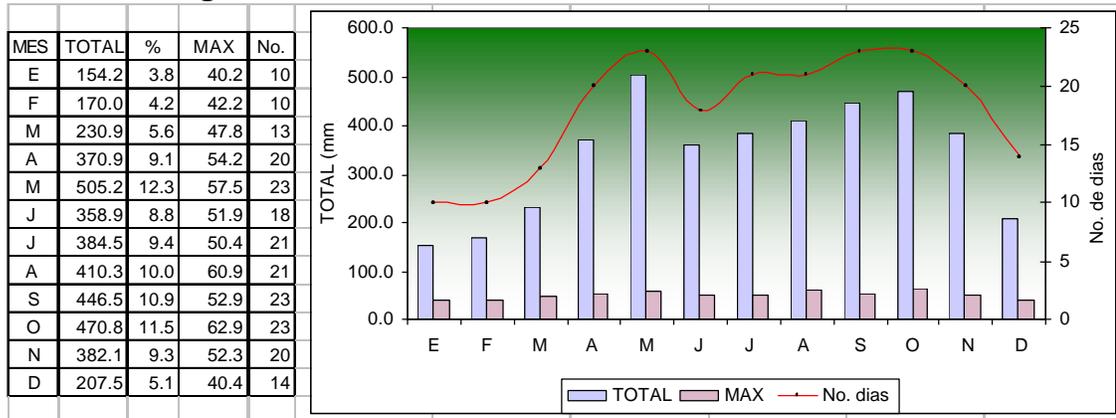
Fuente: I.D.E.A.M.

El régimen de lluvias en la estación CO LA LAJA y su área de influencia es de tipo bimodal, es decir, que se presentan dos temporadas lluviosas al año: la primera, de abril a junio y la segunda, de septiembre a noviembre; intercaladas con estas dos temporadas lluviosas se presentan dos períodos secos: el primero de diciembre a marzo y el segundo, de julio a agosto. La segunda temporada es la más lluviosa y le corresponde el 32.8 % del total de las lluvias del año. El mes más lluvioso del año es octubre con 403.3 mm, es decir, el 12.4 % de las lluvias del año. El mes más seco del año es enero con 104.0 mm (3.2%).

El mes con mayor número de días con lluvia es octubre y mayo en el cual se registran 25 y 25 días respectivamente; los meses mas secos del año son enero y febrero registran históricamente 11 y 14 días de precipitación.

2.1.2 Régimen de lluvias en la estación El Santuario

Gráfica 2. Régimen de lluvias en la estación El Santuario



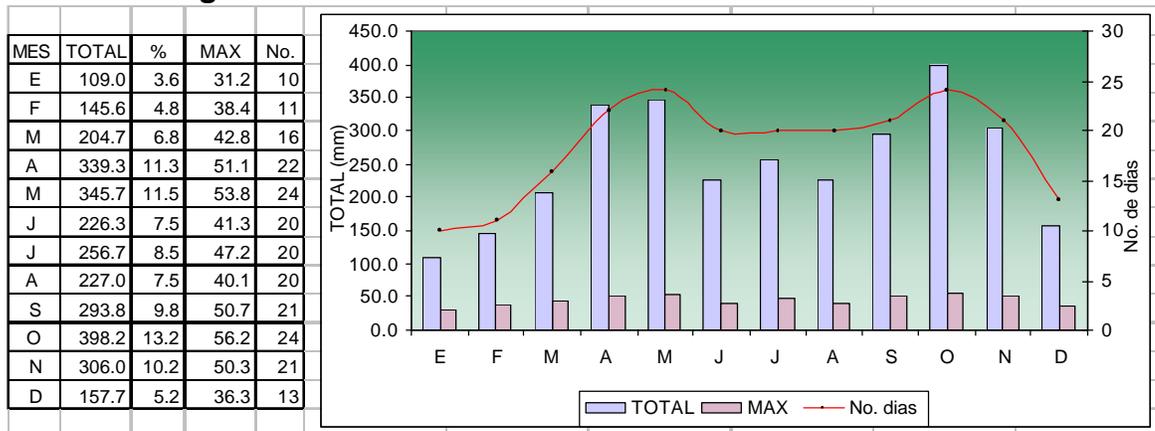
Fuente: I.D.E.A.M.

El régimen de lluvias en la estación EL SANTUARIO y su área de influencia es de tipo unimodal, es decir, que se presenta una temporada lluviosa al año, de abril a noviembre y una temporada seca de diciembre a marzo. El mes más lluvioso del año es mayo con 505.2 mm, es decir, el 12.3 % de las lluvias del año. El mes más seco del año es enero con 154.2 mm (3.8 %).

Los meses con mayor número de días con lluvia son: mayo, septiembre y octubre, en los cuales se registran 23 días respectivamente; enero y febrero registran históricamente 10 días de precipitación.

2.1.3 Régimen de lluvias en la estación de Oiba

Gráfica 3. Régimen de lluvias en la estación Oiba



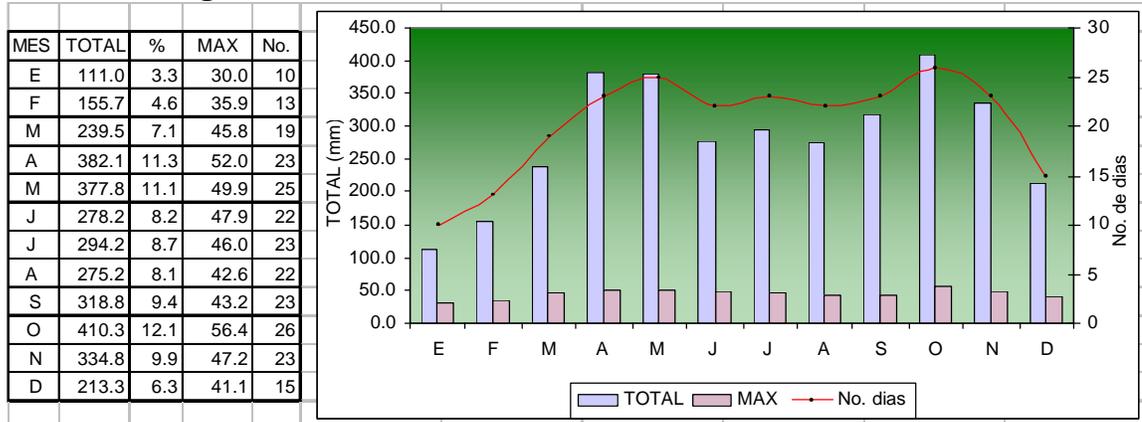
Fuente: I.D.E.A.M.

El régimen de lluvias en la estación OIBA y su área de influencia es de tipo bimodal, es decir, que se presentan dos temporadas lluviosas al año: la primera, de abril a mayo y la segunda, de septiembre a noviembre; intercaladas con estas dos temporadas lluviosas se presentan dos períodos secos: el primero de diciembre a febrero y el segundo, de junio a julio. La segunda temporada es la más lluviosa y le corresponde el 33.2 % del total de las lluvias del año. El mes más lluvioso del año es octubre con 398.2 mm, es decir, el 13.2 % de las lluvias del año. El mes más seco del año es enero con 109.0 mm (3.6 %). La temporada más seca del año es la primera, con el 13.6 % del total anual de las precipitaciones.

Los meses con mayor número de días con lluvia son: mayo y octubre, en los cuales se registran 24 días respectivamente; el mes más seco del año es enero, que registra históricamente 10 días de precipitación.

2.1.4 Régimen de lluvias en la estación Olival

Gráfica 4. Régimen de lluvias en la estación Olival - Oiba



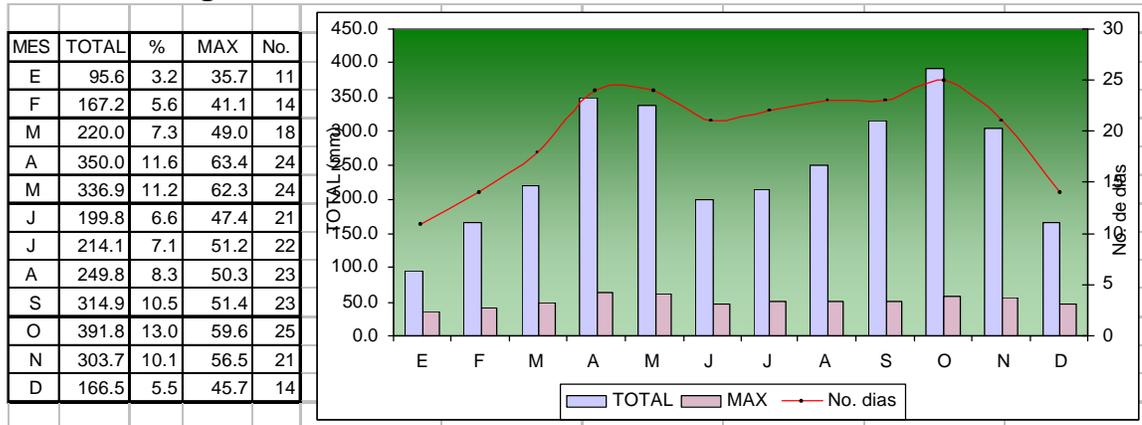
Fuente: I.D.E.A.M.

El régimen de lluvias en la estación Olival y su área de influencia es de tipo bimodal, es decir, que se presentan dos temporadas lluviosas al año: la primera, de abril a mayo y la segunda, de septiembre a noviembre; intercaladas con estas dos temporadas lluviosas se presenta un período seco de enero a febrero y, de junio a agosto, solo se presenta una breve disminución de las lluvias. La segunda temporada es la más lluviosa y le corresponde el 31.4 % del total de las lluvias del año. El mes más lluvioso del año es octubre con 410.3 mm, es decir, el 12.1 % de las lluvias del año. El mes más seco del año es enero con 30.0 mm (3.3 %). La temporada seca del año, comprendida entre enero y febrero, cuenta con el 7.9 % del total anual de las precipitaciones.

Los meses con mayor número de días con lluvia son: mayo y octubre, en los cuales se registran 25 y 26 días respectivamente; el mes más seco del año es enero, que registra históricamente 10 días de precipitación.

2.1.5 Régimen de lluvias en la estación de Chima

Gráfica 5. Régimen de lluvias en la estación Co Chima



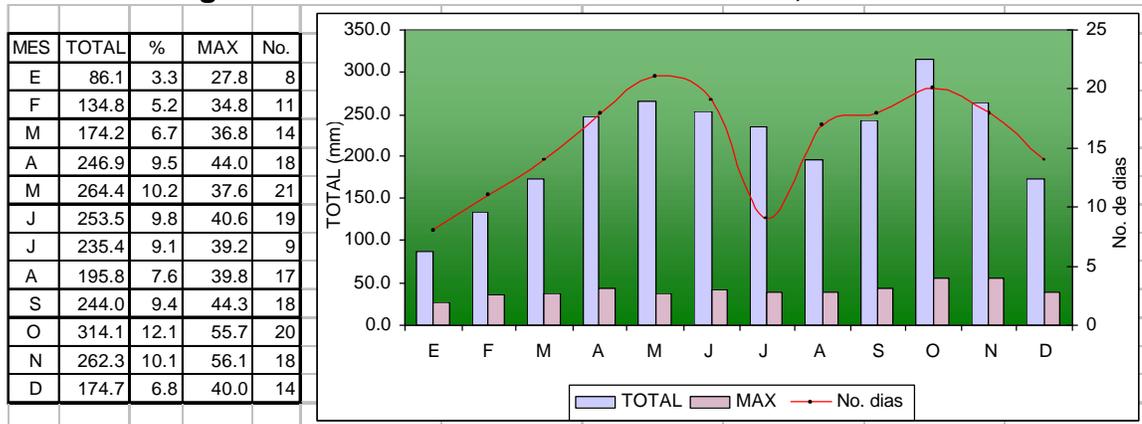
Fuente: I.D.E.A.M.

El régimen de lluvias en la estación CO CHIMA y su área de influencia es de tipo bimodal, es decir, que se presentan dos temporadas lluviosas al año: la primera, de marzo a mayo y la segunda, de septiembre a noviembre; intercaladas con estas dos temporadas lluviosas se presentan dos períodos secos: el primero de diciembre a febrero y el segundo, desde junio a agosto. La segunda temporada es la más lluviosa y le corresponde el 33.6 % del total de las lluvias del año. El mes más lluvioso del año es septiembre con 391.8 mm, es decir, el 13.0 % de las lluvias del año. El mes más seco del año es enero con 95.6 mm (3.2 %).

El mes con mayor número de días con lluvia es octubre en el cual se registran 25 días; el mes mas seco del año enero registra históricamente 11 días de precipitación.

2.1.6 Régimen de lluvias en la estación San Pedro

Gráfica 6. Régimen de lluvias en la estación PM HDA, San Pedro



Fuente: I.D.E.A.M.

El régimen de lluvias en la estación PM HDA SAN PEDRO y su área de influencia es de tipo bimodal, es decir, que se presentan dos temporadas lluviosas al año: la primera, de abril a julio y la segunda, de septiembre a noviembre; intercaladas con estas dos temporadas lluviosas se presentan dos períodos secos: el primero de diciembre a marzo y el segundo, el mes de agosto. La segunda temporada es la más lluviosa y le corresponde el 31.6 % del total de las lluvias del año. El mes más lluvioso del año es octubre con 314.1 mm, es decir, el 12.1 % de las lluvias del año. El mes más seco del año es enero con 86.1 mm (3.3 %).

El mes con mayor número de días con lluvia es mayo en el cual se registran 21 días; el mes mas seco del año es enero registran históricamente 8 días de precipitación.

2.2 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

Las temperaturas medias mensuales y la media anual se obtuvieron del “ESTUDIO DE LA TEMPERATURA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER”, colección de estudios ambientales de Santander N° 1, por J. Duarte, en el cual se emplearon las series mensuales de las estaciones climatológicas de departamento para el periodo 1974-1997.

Para estimar la temperatura media mensual en las estaciones pluviométricas y pluviográficas se emplearon las ecuaciones de regresión entre la temperatura media mensual y la elevación de las estaciones climatológicas de departamento. Las estaciones utilizadas pertenecen es su totalidad al flanco occidental de la cordillera oriental y al valle del Magdalena medio, por lo cual se considero solamente una zonificación

El objeto de realizar regresiones lineales para cada mes entre la temperatura media y la elevación en las estaciones meteorológicas, consiste en conocer la variación regional de este elemento meteorológico considerando la relativa estabilidad de los gradientes térmicos en el trópico. Esta metodología es utilizada con frecuencia para conocer los valores medios en sitios en donde no existen estaciones climatológicas o como instrumento guía para el trazado de isotermas.

El resultado de emplear esta metodología con las estaciones climatológicas del departamento dio resultados muy satisfactorios por pertenecer a una misma vertiente orográfica y no requerir una zonificación adicional. Los coeficientes de correlación (r) obtenidos están muy cerca a 1, y se encuentran consignados junto a las ecuaciones mensuales en la Tabla 5.

Tabla 5. Ecuaciones para el cálculo de la temperatura media mensual

MES	ECUACION	r
Enero	$Y = - 0.0062 X + 29.4604$	- 0.974
Febrero	$Y = - 0.0062 X + 29.6376$	- 0.975
Marzo	$Y = - 0.0061 X + 29.6378$	- 0.974
Abril	$Y = - 0.0059 X + 29.3214$	- 0.978
Mayo	$Y = - 0.0059 X + 29.1435$	- 0.983
Junio	$Y = - 0.0060 X + 29.2447$	- 0.985
Julio	$Y = - 0.0062 X + 29.3194$	- 0.984
Agosto	$Y = - 0.0061 X + 29.3367$	- 0.985
Septiembre	$Y = - 0.0059 X + 29.9938$	- 0.983
Octubre	$Y = - 0.0059 X + 28.5934$	- 0.984
Noviembre	$Y = - 0.0059 X + 28.6792$	- 0.981
Diciembre	$Y = - 0.0060 X + 29.0388$	- 0.977
Anual	$Y = - 0.0060 X + 29.1890$	- 0.981

Fuente: I.D.E.A.M.

Las temperaturas medias mensuales en las estaciones pluviométricas y pluviográficas se obtuvieron mediante las anteriores ecuaciones y en las

estaciones climatológicas promediando los datos observados durante el periodo 1974 - 2002, los valores obtenidos se encuentran en el las siguientes tablas.

Tabla 6. Valores Medios Mensuales de Temperatura

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
La Laja	21.3	21.4	21.6	21.4	21.3	21.2	21.1	21.1	21.0	20.9	21.0	21.2	21.2
Santuario	18.3	18.5	18.6	18.5	18.4	18.3	18.6	18.3	18.2	18.0	18.1	18.1	18.3
Oiba	20.9	21.0	21.1	21.0	20.8	20.8	21.0	20.8	20.6	20.3	20.5	20.6	20.8
Olival	20.2	20.4	20.5	20.3	20.2	20.2	20.4	20.1	20.0	19.7	19.8	20.0	20.1
Chima	23.4	23.4	23.4	23.3	23.2	23.2	23.0	23.0	23.0	23.0	23.2	23.2	23.2
Hda San Pedro	20.9	21.0	21.0	21.0	20.8	20.8	21.0	20.8	20.6	20.3	20.5	20.6	20.8

Fuente: I.D.E.A.M.

Tabla 7. Valores Máximos Mensuales de Temperatura

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
La Laja	28.1	28.5	28.7	28.3	28.2	28.0	28.0	28.1	27.9	27.7	27.4	27.3	28.0
Chima	32.2	32.6	32.7	32.3	31.7	31.5	31.7	31.8	31.8	31.2	31.4	31.3	31.9

Fuente: I.D.E.A.M.

Tabla 8. Valores Mínimos Mensuales de Temperatura

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUN	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
La Laja	12.9	13.3	13.4	14.1	14.1	13.7	12.9	12.9	13.4	13.6	13.5	13.5	13.4
Chima	14.9	15.4	15.9	16.2	16.1	15.6	15.5	15.3	15.4	15.8	15.9	15.6	15.6

Fuente: I.D.E.A.M.

Tabla 9. Valores Medios-Mínimos Mensuales de Temperatura

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUN	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
La Laja	15.4	15.4	15.6	16.0	16.0	15.7	15.1	15.2	15.2	15.4	15.6	15.7	15.5
Chima	17.1	17.5	17.6	17.8	17.7	17.5	17.3	17.2	17.2	17.5	17.7	17.7	17.5

Fuente: I.D.E.A.M.

Tabla 10. Valores Medios-Máximos Mensuales de Temperatura

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUN	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
La Laja	26.4	26.6	26.9	26.3	26.2	26.0	26.1	26.3	26.2	25.8	26.0	26.0	26.2
Chima	30.5	30.7	30.6	30.2	29.8	29.6	29.7	30	29.7	29.4	29.6	29.7	30

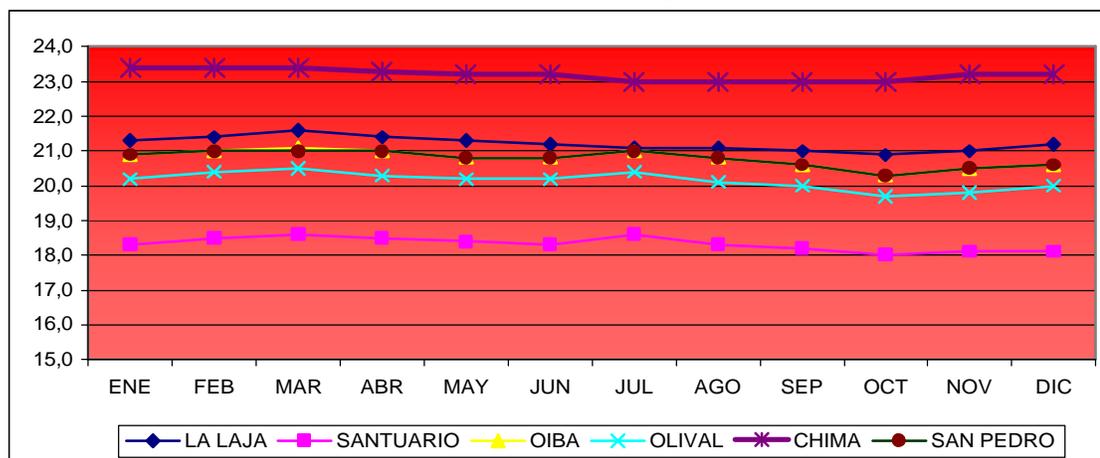
Fuente: I.D.E.A.M.

Tabla 11. Valores Medios Mensuales de Temperatura en la zona de estudio

MES	LA LAJA	SANTUARIO	OIBA	OLIVAL	CHIMA	SAN PEDRO
Enero	21,3	18,3	20,9	20,2	23,4	20,9
Febrero	21,4	18,5	21,0	20,4	23,4	21,0
Marzo	21,6	18,6	21,1	20,5	23,4	21,0
Abril	21,4	18,5	21,0	20,3	23,3	21,0
Mayo	21,3	18,4	20,8	20,2	23,2	20,8
Junio	21,2	18,3	20,8	20,2	23,2	20,8
Julio	21,1	18,6	21,0	20,4	23,0	21,0
Agosto	21,1	18,3	20,8	20,1	23,0	20,8
Septiembre	21,0	18,2	20,6	20,0	23,0	20,6
Octubre	20,9	18,0	20,3	19,7	23,0	20,3
Noviembre	21,0	18,1	20,5	19,8	23,2	20,5
Diciembre	21,2	18,1	20,6	20,0	23,2	20,6

Fuente: I.D.E.A.M.

Gráfica 7. Valores Medios Mensuales de Temperatura en la zona de estudio



Fuente: I.D.E.A.M.

De acuerdo con la información de temperatura dentro de la zona en estudio, los meses con mayores temperaturas medias están entre febrero y marzo con una temperatura de 21.4 Y 21.6 °C respectivamente, y el de menor temperatura media están entre los meses de octubre y noviembre con 20.9 y 21.0 °C. Para algunas de las estaciones dichos períodos varían, aunque predomina la tendencia mencionada.

Analizando la variación de la temperatura media anual con la elevación para las estaciones, se estableció la siguiente relación:

$$T = -0.0066 \cdot \text{Elevación} + 29.646 \quad R^2=0.9416$$

Tabla 12. Cotas límites de los pisos térmicos en el departamento de Santander

PISO TÉRMICO	RANGOS DE ALTURA	
	COTA DEL LIMITE INFERIOR (mts)	COTA DEL LIMITE SUPERIOR (mts)
CALIDO T ≥ 24 °C	0	865
TEMPLADO 24 °C > T ≥ 17.5 °C	865	1950
FRIO 17.5 °C > T ≥ 12 °C	1950	2865
PARAMUNO 12 > T ≤ 0 °C	2865	4865
NIEVES PERPETUAS T < 0 °C	4865	

Las cotas límites para cada piso térmico se determinaron mediante la ecuación de regresión lineal entre la Temperatura Media Mensual y la elevación de las estaciones climatológicas del departamento de Santander, contenida en el “ESTUDIO DE LA TEMPERATURA PARA EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER”, elaborado por el Área Operativa No 08 del IDEAM

Como podemos observar la temperatura media anual de la zona de estudio y en especial del municipio de Guadalupe oscilan entre 20.9 °C y 21.6 °C donde el piso térmico del municipio es templado, oscila entre 24°C y 17.5 °C y se encuentra en una altura mínima de 865 m.s.n.m. y 1950 m.s.n.m. y teniendo en cuenta la información de las demás estaciones de la red del I.D.E.A.M. se elaboro el mapa de isotermas para el municipio. Ver tabla y mapa de zonificación climático.

Tabla 13. Cotas de las isotermas medias, máximas medias y mínimas medias para el departamento de Santander

TEMP. °C	COTA DE LA CURVA DE NIVEL PARA LA TEMP. MEDIA ANUAL	COTA DE LA CURVA DE NIVEL PARA LA TEMP. MEDIA MAX.	COTA DE LA CURVA DE NIVEL PARA LA TEMP. MEDIA MIN.
34		85	
32		420	
30		750	
28	200	1085	
26	530	1420	
24	865	1750	0
22	1200	2085	340
20	1530	2420	685
18	1865	1750	1030
16	2200	3085	1375
14	2530	3420	1720
12	1865	3750	2065
10	3200	4085	2410
8	3530	4420	2755
6	3865		3100
4	4200		3440
2	4530		3785
0			4130
-2			4475

Las elevaciones correspondientes a la temperatura media anual, la temperatura máxima media y la temperatura mínima media, se establecieron mediante regresiones lineales entre la elevación de las estaciones climáticas y sus correspondientes temperaturas, extractadas del “ESTUDIO DE LA TEMPERATURA PARA EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER”, elaborado por el Área operativa No 08 del IDEAM

2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

La evapotranspiración potencial se define como la cantidad de agua que se podría evaporar desde la superficie del suelo y la que transpirarían las plantas si el suelo estuviera a capacidad de campo, es decir, si tuviere un contenido máximo (óptimo) de humedad.

La determinación de la evapotranspiración potencial es uno de los temas que más ha suscitado controversia, por la diversidad de fórmulas y autores, y por las pocas mediciones directas realizadas mediante lisímetros en nuestro medio; sin embargo, la fórmula desarrollada por Penman ha tenido un amplio reconocimiento dada su rigurosidad científica, las variables que involucra y los resultados obtenidos, otra no menos difundida es la desarrollada por

Thornthwaite ya que involucra un menor número de elementos meteorológicos, lo cual facilita el conocimiento de la evapotranspiración en zonas con poca información climatológica.

Para estimar la evapotranspiración potencial se debe elegir la formula que mejor se adapte a la zona. Tomando en consideración la zona de estudio perteneciente a la extensión del municipio de Guadalupe y la reducida información climatológica para aplicar el método de Penman, que ha comprobado que presenta buenos resultados, se opto por utilizar el método de Thornthwaite para calcular la ETP, el cual requiere solamente del conocimiento de las temperaturas medias mensuales.

La fórmula de C. W. Thornthwaite para el cálculo de la ETP, fue derivada en 1948 con base en las observaciones lisimétricas y pérdidas de agua en cuencas de la parte central de los EE.UU.

$$ETP = 0.53 \left(10^{T/I} \right)^a$$

En donde:

ETP = Evapotranspiración Potencial media diaria sin ajustar.

T = Temperatura media mensual en grados centígrados.

I = Índice calórico anual que se obtiene por la suma de los

Doce índices calóricos mensuales; cada índice mensual (i) está dado por:

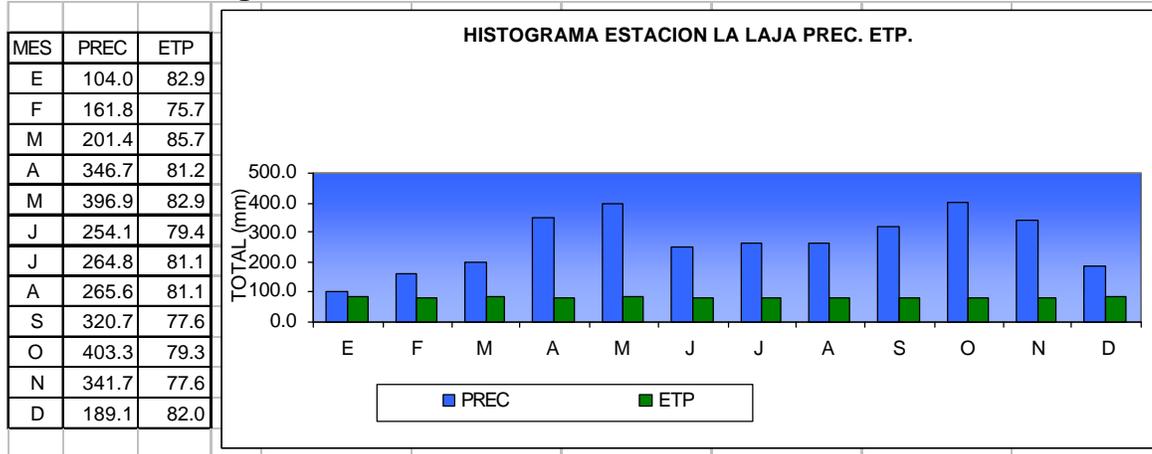
$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

a = Un exponente, función de I dado por la formula:

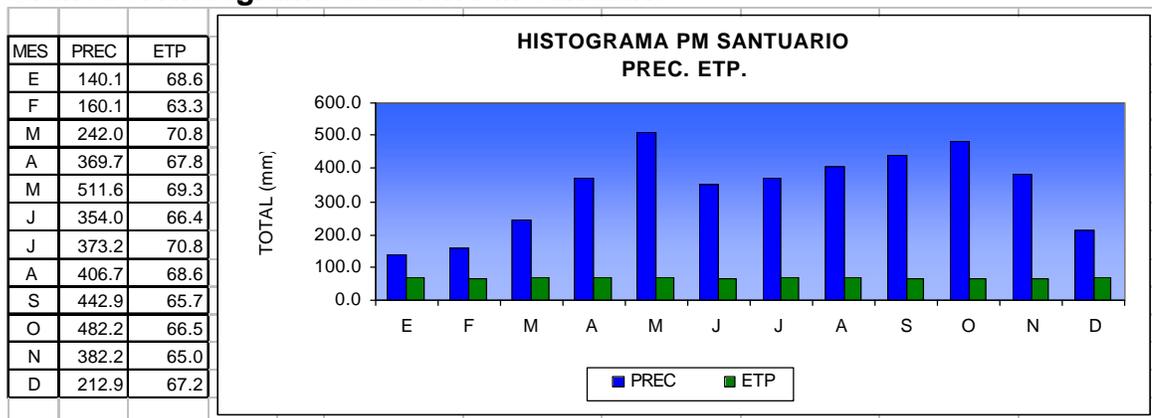
$$a = (675 * 10^{-9}) I^3 - (771 * 10^{-7}) I^2 + (179 * 10^{-4}) I + 0.492$$

La evapotranspiración potencial media mensual obtenida en la zona de estudio se encuentra en los siguientes gráficos y en los balances hídricos climáticos.

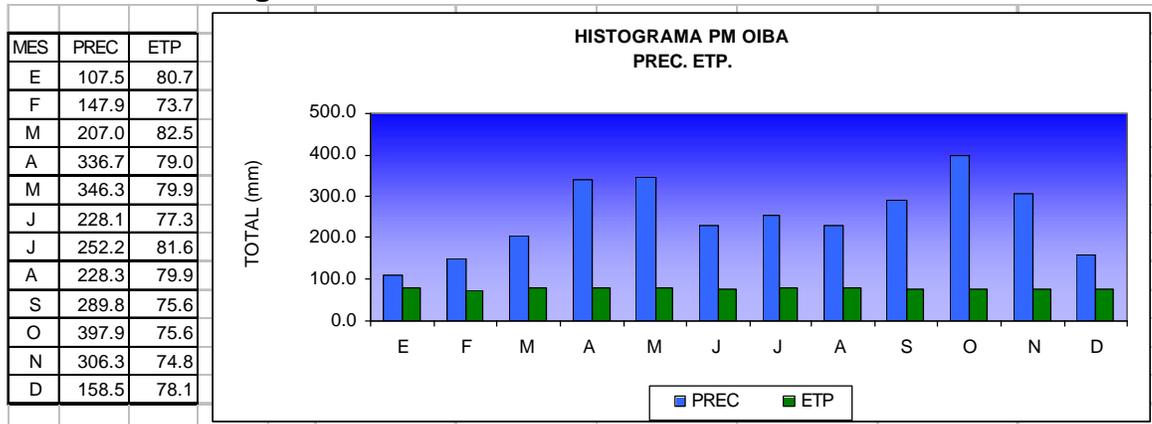
Gráfica 8. Histograma estación CO LA LAJA



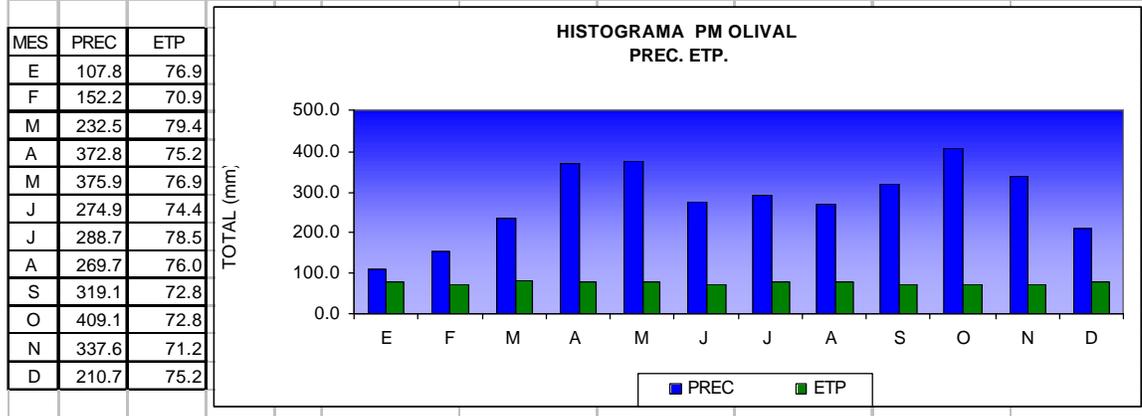
Gráfica 9. Histograma estación PM Santuario



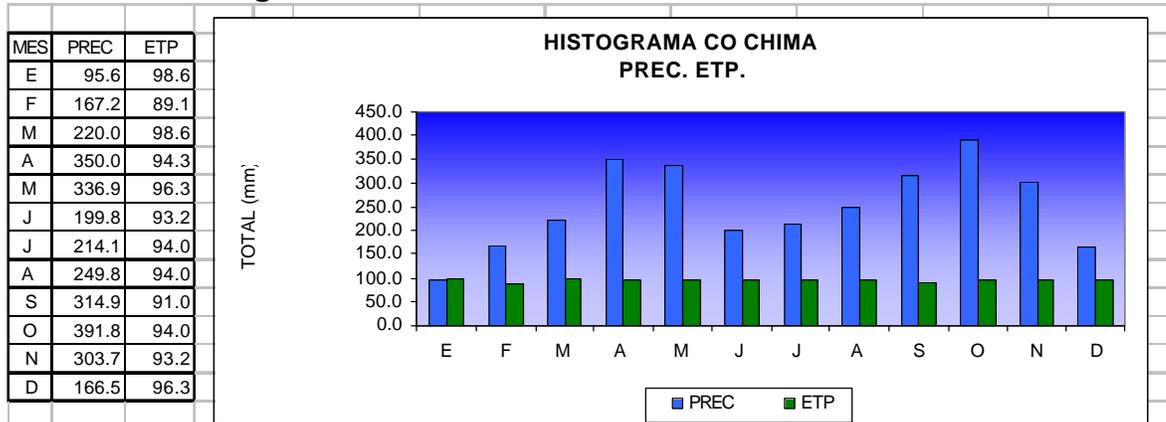
Gráfica 10. Histograma estación PM Oiba



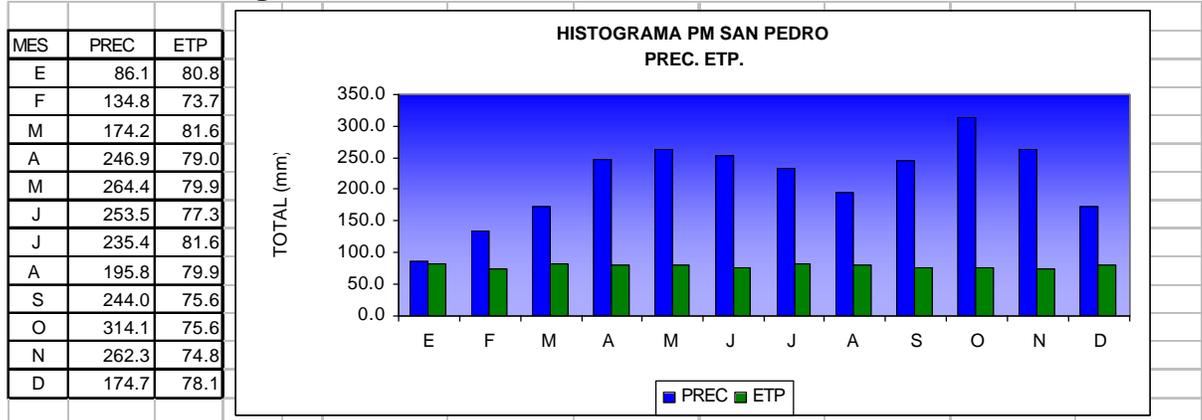
Gráfica 11. Histograma estación PM Olival



Gráfica 12. Histograma estación CO Chima



Gráfica 13. Histograma estación PM HDA San Pedro



Analizada la precipitación con respecto a la Evapotranspiración potencial podemos observar que la precipitación es mayor que la Evapotranspiración potencial, lo cual nos indica que hay un gran índice de excesos en todo el municipio.

2.4 BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO

El balance hídrico es simplemente la formulación matemática de la ley de conservación de masa o de la ecuación de continuidad, aplicada al agua en un sistema considerado, no importa cual sea su tamaño. El balance hídrico tiene múltiples aplicaciones en campos tales como la climatología, edafología, hidrología, ingeniería y agronomía; igualmente, los balances hídricos pueden ser calculados para diferentes espacios de tiempo, tales como: un día, una década, un mes, un año o para un promedio de años.

El óptimo aprovechamiento de la tierra depende de las condiciones climáticas y de los recursos hídricos existentes en una determinada zona; así mismo, los factores y elementos que definen el clima, el agua y el suelo que al interrelacionarse permiten la actividad vegetativa y el desarrollo productivo de los cultivos, los cuales según sus exigencias definirán el rango de utilización combinada de estos factores. Por tanto una escasez o un exceso hídrico en cualquiera de las fases de desarrollo de los cultivos, puede ocasionar pérdida parcial o total de estos.

El balance hídrico especifica que el total de agua que penetra a un sistema, debe ser igual al agua que sale de él, más la diferencia entre los contenidos final e inicial. El uso de la ecuación del balance hídrico implica medidas de flujo y almacenamiento de agua, aunque mediante una apropiada selección del espacio y del período de tiempo para el cual se realiza el balance, algunas medidas pueden ser eliminadas. El balance hídrico climático realizado en este estudio se calcula con los valores de la precipitación (P), la evapotranspiración potencial (ETP) y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (F.V.A.A.)

La ecuación general del balance hídrico se puede sintetizar de la siguiente forma:

$$P = ET + HS + I + E$$

En donde,

P = Precipitación

ET = Evapotranspiración

I = Infiltración

ΔHS = Cambio de humedad del suelo ($H_f - H_i$)

H_f = Humedad final

H_i = Humedad inicial

Este balance determina las condiciones hídricas promedios de la zona y se calcula generalmente con fines de largo alcance como la planeación de los recursos hídricos, estudios de factibilidad de obras civiles, riego y drenaje, y para las clasificaciones climáticas y agroclimáticas; en los balances para las clasificaciones climáticas se emplean los valores medios de la precipitación o la probabilidad de ocurrencia del 50 %.

En los balances a nivel mensual se consideran solamente los aportes de agua provenientes de la precipitación; los aportes de agua subterránea o las pérdidas por percolación, no se tienen en cuenta. Las demandas siempre están dadas por la ETP media.

Las pérdidas en el almacenamiento del suelo se calculan a una tasa proporcional, dependiendo de la fracción de agua almacenada en el suelo. Estas pérdidas se calculan cuando la lluvia es insuficiente para cubrir la demanda de agua (ETP), la cual deja un déficit de agua (ETP-P); entonces a partir de la capacidad total de almacenamiento del agua en el suelo y del valor correspondiente al mes anterior (almacenamiento anterior), se determina la fracción de agua almacenada para multiplicarlo por el déficit y así cubrir parte de dicho déficit:

Pérdida por almacenamiento: Se presenta cuando la precipitación es menor que la Evapotranspiración potencial.

$$\text{Pérd. Almac.} = (\text{ETP} - P) * (\text{Almac. anterior} / \text{Almac. Total})$$

Almacenamiento: Existe cuando la precipitación es mayor que la ETP, quedando una reserva de humedad que se acumula mes a mes y no puede ser superior a la capacidad de campo.

$$\text{Almac.} = \text{Almac. Anterior} + \text{Precipitación} - \text{Pérdida por almac.}$$

Evapotranspiración Real: Es la Evapotranspiración que realmente, según el método, ocurre en función del agua disponible (precipitación + almacenamiento). Máximo puede ser igual a la Evapotranspiración potencial.

$$\text{ET} = \text{Precipitación} + \text{Pérdida por almac.}$$

Déficit: Cuando la precipitación es menor a la Evapotranspiración potencial, se evapora y transpira toda el agua precipitada, la cantidad que hace falta para

completar el total de ETP, se toma del almacenamiento y, si aun así no se completa el valor de ETP el faltante se considera como déficit (deficiencia). La suma de los valores mensuales se conoce déficit anual (D)
Déficit = ETP - ET

Exceso: Existe si la precipitación es mayor que la Evapotranspiración potencial y hay un sobrante de agua una vez completado el almacenamiento en el suelo. A la suma de los excesos producidos mes a mes durante todo el año se denomina exceso anual (E).

Excesos = Almac. Ante. + Prec. - ETP - Almac. total
(cuando $P > ETP$ y $ALM. ANT. + P > ETP + ALM. TOTAL$)

Para determinar los periodos de crecimiento de la vegetación, se analiza el índice “R” que se refiere a la proporción en que la evapotranspiración potencial es satisfecha por la oferta de humedad en cada una de las décadas del año.

$$R = ET / ETP$$

Se considera que cuando el índice “R” para un mes o en promedio alcanza un valor de 0.60 o más, existen condiciones de humedad mínimas requeridas para el desarrollo de las plantas.

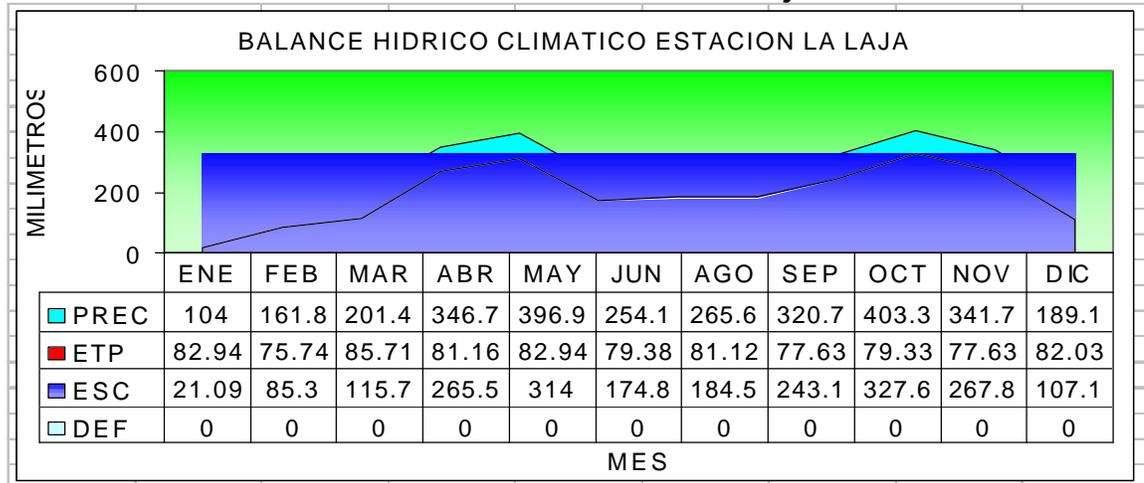
En la comprobación del balance hídrico se debe cumplir para los valores anuales la siguiente relación: ver cálculo de balances hídricos anexos.

$$P + D = ETP + E$$

2.4.1 Gráficas del Balance Hídrico Climático

En los gráficos de balance hídrico se comparan la precipitación con la evapotranspiración potencial y real, generalmente a nivel mensual o decadal. Esta comparación proporciona información sobre la cantidad de exceso o déficit de agua disponible en el suelo durante las diferentes épocas de año. Cuando la precipitación supera la evapotranspiración potencial hay exceso de agua que inicialmente se acumula en el suelo y los sobrantes circulan por el suelo para unirse con otras corrientes. El conocimiento del déficit de agua probable es muy útil para la planificación del riego y para la predicción de los rendimientos de las cosechas.

Gráfica 14. Balance Hídrico Climático estación La Laja



$I_m = 236.30$

$I_a = 0.0$

$I_h = 236.60$

$ETP = 966.75$

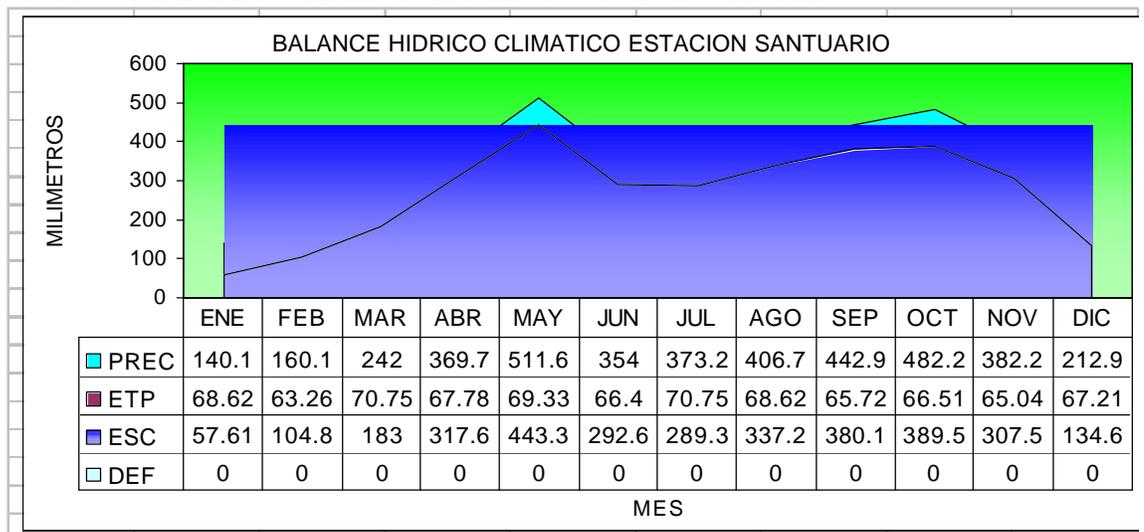
Súper-Húmedo

Deficiencia de agua poca o ninguna

Superávit de agua grande en verano e invierno

Mesotermal

Gráfica 15. Balance hídrico climático estación Santuario



$I_m = 399.65$

$I_a = 0.0$

$I_h = 399.65$

$ETP = 809.99$

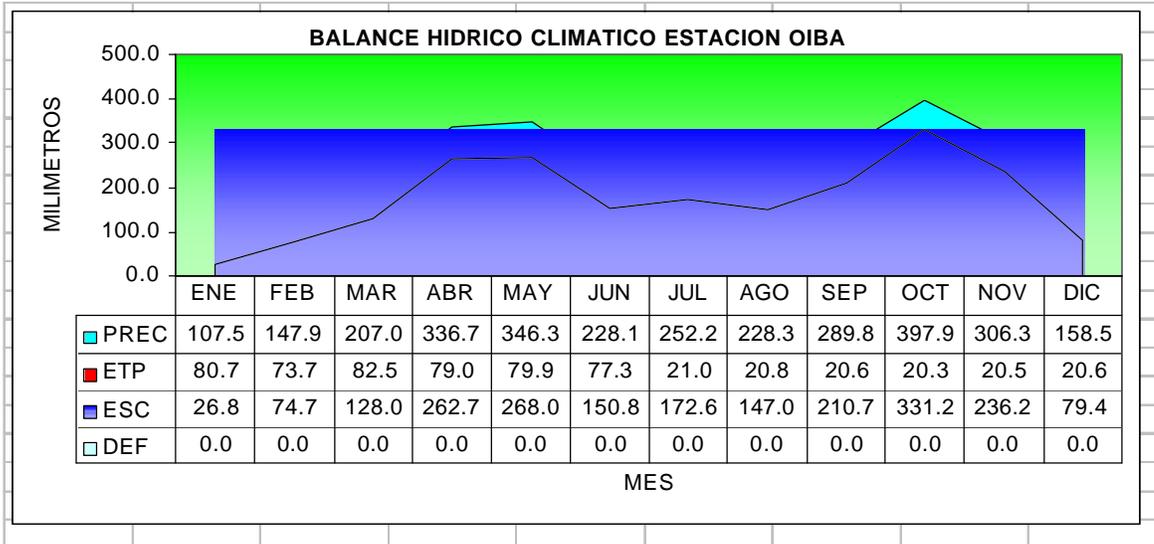
Súper-Húmedo

Deficiencia de agua poca o ninguna

Superávit de agua grande en verano e invierno

Mesotermal

Gráfica 16. Balance Hídrico Climático estación Oiba



Im = 222.48

la = 0.0

Ih = 222.48

ETP = 938.49

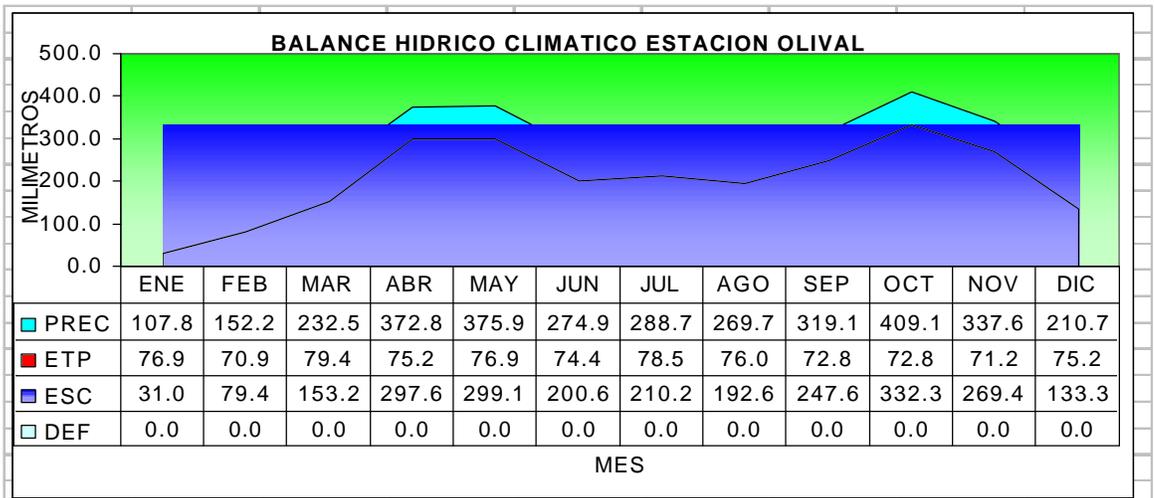
Súper - Húmedo

Deficiencia de agua poca o ninguna

Superávit de agua grande en verano e invierno

Mesotermal

Gráfica 17. Balance hídrico climático estación Olival



Im = 236.30

la = 0.0

Ih = 236.60

ETP = 966.75

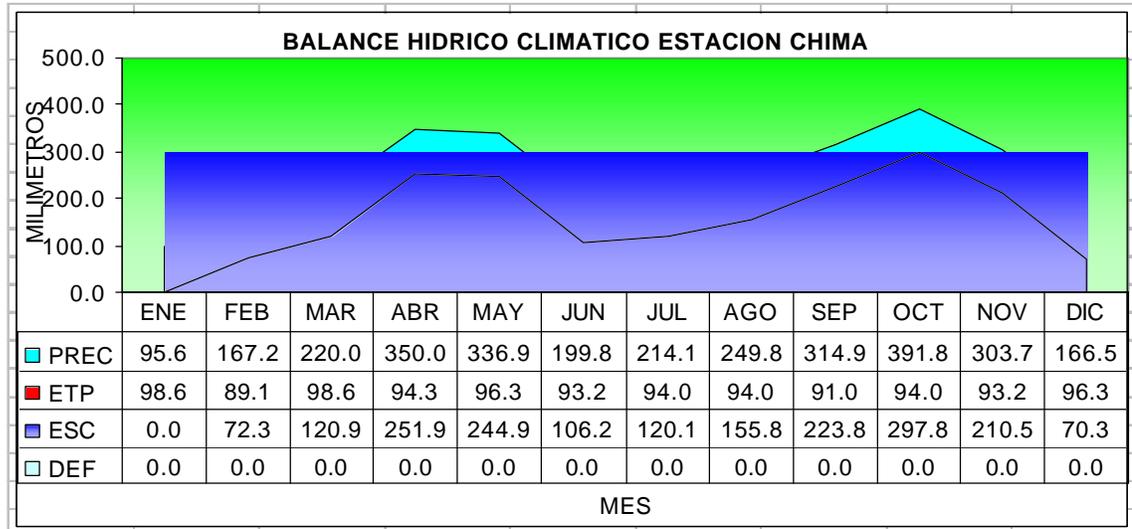
Súper-Húmedo

Deficiencia de agua poca o ninguna

Superávit de agua grande en verano e invierno

Mesotermal

Gráfica 18. Balance hídrico climático estación Chima



Im = 165.54

Súper-Húmedo

la = 0.0

Deficiencia de agua poca o ninguna

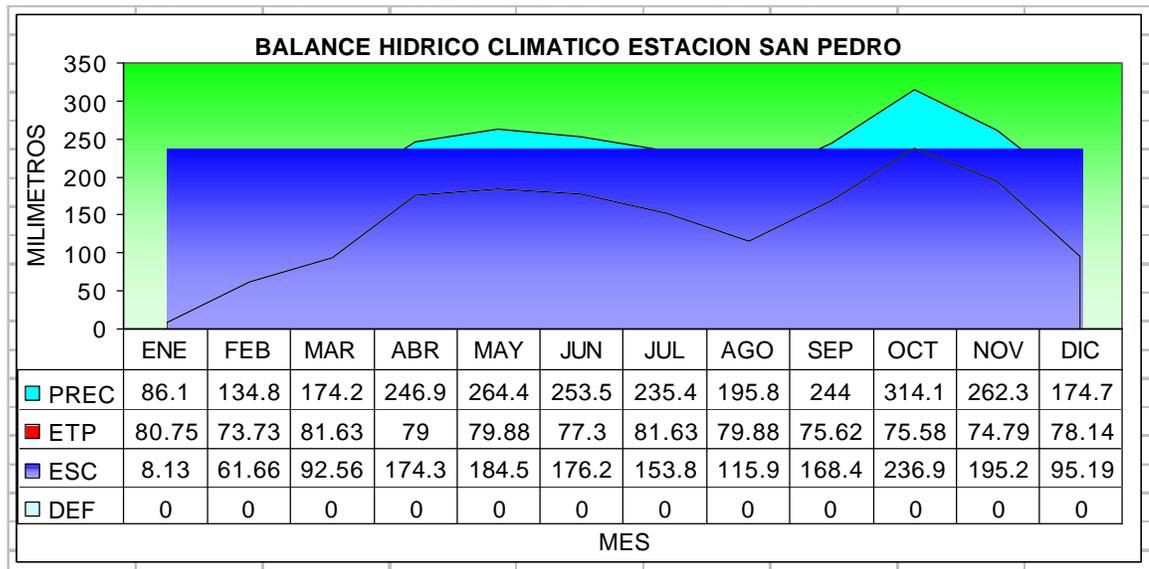
Ih = 165.54

Superávit de agua grande en verano e invierno

ETP = 1132.44

Mesotermal

Gráfica 19. Balance hídrico CLIMÁTICO estación San Pedro



Im = 177.28

Súper-Húmedo

la = 0.0

Deficiencia de agua poca o ninguna

Ih = 177.28

Superávit de agua grande en verano e invierno

ETP = 937.93

Mesotermal

2.5 ÍNDICES PARA LA CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA POR THORNTHWAITTE

En la clasificación climática de Thornthwaite, además de la evapotranspiración potencial (ETP) se tiene en cuenta la precipitación (P); definiendo con estos dos elementos una serie de índices cuyos valores se utilizan para determinar los tipos climáticos.

Relación de Humedad (RH): Esta dada por la siguiente expresión:

$$RH = \frac{P - ETP}{ETP}$$

Índice de Humedad (I_h): Está dado por la relación entre el exceso de agua anual (E) y la evapotranspiración potencial anual, en porcentaje.

$$I_h = \frac{E}{ETP} 100$$

Índice de Aridez (I_a): Está dado por la relación entre la deficiencia anual de agua (D) la evapotranspiración potencial anual (ETP), en porcentaje.

$$I_a = \frac{D}{ETP} 100$$

Teniendo en cuenta la variación de la precipitación en el transcurso del año y en consecuencia la desigual influencia de los índices de aridez y humedad, Thornthwaite define un índice hídrico anual (I_m), como:

$$I_m = I_h - 0.6(I_a)$$

En esta expresión, se hace una consideración anual del comportamiento de los elementos climáticos, utilizando para ello el 100% del índice de humedad y el 60% del índice de aridez.

Además, Thornthwaite da más importancia al índice de humedad que a los índices de aridez por considerar que 152 mm de excesos de agua en un

período húmedo, suplen el déficit de 254 mm de agua presentado en un período de sequía.

Si $I_m \geq 0$ el clima es húmedo

Si $I_m \leq 0$ el clima es seco

Mediante los índices de humedad se establecen nueve tipos climáticos mayores cuyo factor adimensional oscila entre - 60 y + 100.

La primera letra de la clasificación de Thornthwaite define los tipos principales de clima.

Tabla 14. Factor de humedad para definir los tipos principales de clima según Thornthwaite

I_m	Símbolo	Tipo climático
100.1 y más	A	Superhúmedo
80.1 a 100.0	B ₄	Muy húmedo
60.1 a 80.0	B ₃	Húmedo
40.1 a 60.0	B ₂	Moderadamente húmedo
20.1 a 40.0	B ₁	Ligeramente húmedo
0.1 a 20.0	C ₂	Semihúmedo
-20.0 a 0.0	C ₁	Semiseco
-40.0 a -20.1	D	Semiárido
-60.0 a -40.1	E	Árido

Tabla 15. Unidades clasificación climática de Thornwaite

TIPO DE CLIMA	INDICE HIDRICO ANUAL	SIMBOLO	COLOR
Superhumedo	100,1 y mas	A	
Muy humedo	80,1 - 100,0	B4	
Humedo	60,1 - 80,0	B3	
Moderadamente Humedo	40,1 - 60,0	B2	
Ligeramente Humedo	20,1 - 40,0	B1	
Semihumedo	0,1 - 20,0	C2	
Semiseco	-20,0 - -0,0	C1	
Semiarido	-40,0 - -20,0	D	
Arido	-60,0 - -40,0	E	

Fuente: Autor

La segunda letra de la clasificación se asigna considerando la variación estacional de la humedad efectiva y son los índices de humedad y aridez los empleados para tal efecto. Para los climas A, B en todos sus rangos y C₂, la variación estacional de la humedad la determina el índice de aridez, y para los climas C₁, D y E se utiliza el índice de humedad.

Tabla 16. Índices de Aridez (I_A) para definir los subtipos climáticos

Índice en % (I _a)	Símbolo	Deficiencia de agua
0.0 a 16.7	R	Poca o ninguna
16.7 a 33.3	A	Moderada en verano
16.7 a 33.3	W	Moderada en invierno
Mayor que 33.3	a ₂	Grande en verano
Mayor que 33.3	w ₂	Grande en invierno

Tabla 17. Índices de humedad (I_h) para definir los subtipos climáticos

Índice en % (I _h) 2	Símbolo	Superávit de agua
0.0 a 10.0	D	Poco o nada
10.0 a 20.0	s´	Moderado en verano
10.0 a 20.0	w´	Moderado en invierno
Mayor que 20.0	s´2	Grande en verano
Mayor que 20.0	w´2	Grande en invierno

La tercera letra está dada por el carácter térmico, expresado en la evapotranspiración potencial, y se calcula en función de la temperatura media mensual, por lo cual constituye un índice de eficiencia termal.

Tabla 18. Índice de eficiencia termal para definir la tercera letra del tipo climático

ETP (mm)	Símbolo	Clima
< 142	E´	Hielos
142 - 285	D´	Tundra
285 - 427	C´1	Microtermal
427 - 570	C´2	Microtermal
570 - 712	B´1	Mesotermal
712 - 855	B´2	Mesotermal
855 - 997	B´3	Mesotermal
997 - 1140	B´4	Mesotermal
>1140	A´	Megatermal

Tomando como base una temperatura de 23° C sin producirse variaciones importantes durante el año en la zona ecuatorial, la evapotranspiración potencial anual (ETP) es de 1140 mm, índice utilizado para separar las regiones mesotermales de las megatermales. Las regiones que siguen de la mesotermal son deducidas por medio de una progresión aritmética descendente a partir del valor 1140 mm.

Por lo tanto para la zona de estudio y en especial el municipio de Guadalupe donde no sobre pasa la evapotranspiración potencial anual mayor de 1140 mm concluimos que es mesotermal.

La cuarta y última letra de la clasificación se define por medio de la denominada concentración estival de la eficiencia termal (CE). Esta es una expresión en porcentaje de la suma de la evapotranspiración potencial de tres meses consecutivos con la temperatura media más alta (Epi), respecto a la evapotranspiración potencial total anual (ETP).

$$C E = \frac{\sum_{i=1}^3 E p i}{E T P} 100$$

La concentración estival se define teniendo en cuenta que en el Ecuador la temperatura media no presenta grandes variaciones a través del año y, por tanto, se considera constante.

Tabla 19. Concentración estival para definir la cuarta letra del tipo climático

CE (por ciento)	Símbolo
< 48.0	a´
48.0 - 51.9	b´ ₄
51.9 - 56.3	b´ ₃
56.3 - 61.6	b´ ₂
61.6 - 68.0	b´ ₁
68.0 - 76.3	c´ ₂
76.3 - 88.0	c´ ₁
> 88.0	d

En esta tabla, se presentan los resultados de la clasificación climática de Thornthwaite en las estaciones meteorológicas correspondientes al municipio de Guadalupe.

Tabla 20. Tipos climáticos principales en los puntos de la zona en estudio

Estación	ETP	PREC	Exc.	Déf.	Clasificación climática				
					I. h.	I.a.	Fac. Hum.	Símb	Tipo climático
La Laja	966.7	3250.1	2287.36	0	236.6	0	236.6	A	Súper húmedo
Santuario	809.9	4077.6	3237.11	0	399.6	0	399.65	A	Súper húmedo
Oiba	938.4	3006.5	2087.93	0	222.4	0	222.48	A	Súper húmedo
Olival	900.1	3351.0	2446.21	0	271.7	0	271.77	A	Súper húmedo
Chima	1132.4	3010.3	1874.6	0	165.5	0	165.5	A	Súper húmedo
Hda San Pedro	937.9	2586.2	1662.81	0	177.2	0	1777.2	A	Súper húmedo

De acuerdo a la anterior tabla se concluimos que todo el municipio presenta un clima Súper-húmedo con gran superávit de agua y en época de verano con gran cantidad de recurso hídrico lo cual nos indica que es una zona que cuenta con un gran recurso hídrico para sus necesidades, esto debido a que el municipio se encuentra ubicado en una cota de nivel mínima de 800 y máxima de 2000 metros sobre el nivel del mar, y su casco urbano esta ubicado a una altura de 1400 m.s.n.m. con una precipitación promedio de 3400 mm y una temperatura entre 20°C y 21°C, con una evapotranspiración potencial de 966.75 (mm).