

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

Carrera de Ingeniería Ambiental

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

“TASAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN, BALANCE HÍDRICO Y
CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA DE
PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA PUYO”

AUTORES

Jairo Miguel Maldonado Erazo

Jairo Rafael Samaniego Merchán

DIRECTOR

PhD. Ricardo Vinicio Abril Saltos

Puyo – Pastaza – Ecuador

2019

AGRADECIMIENTO

Queremos hacer llegar un afable agradecimiento a nuestra alma mater, que ha sido durante los últimos cinco años nuestra fuente de formación académica, ética y social.

Expresamos gratitud al director del presente proyecto de investigación quien nos orientó en el desarrollo esta investigación.

Hacemos llegar un efusivo agradecimiento a los docentes que nos impartieron conocimiento que será nuestro punto de partida en el ejercicio de la vida profesional y nos guiaron en nuestro período universitario.

Un ameno agradecimiento los estudiantes de cuarto semestre del período académico 2018-2018 por su colaboración en la transcripción de la información histórica.

Un cordial agradecimiento al personal administrativo y de servicios que nos brindaron oportuna atención y ayuda en las diferentes actividades cotidianas.

Manifestamos nuestro reconocimiento al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología que facilitó con celeridad la información meteorológica de Puyo disponible que ha sido utilizada para realizar esta investigación.

DEDICATORIA

Querer es poder, frase repetida hasta el cansancio, a veces carente de sentido. El querer es poder siempre y cuando la actitud es la adecuada a la situación, a las vicisitudes, a la realidad. Hasta hace no mucho tiempo, esa frase corta pero optimista, tenía sentido incompleto, pues es en las horas más oscuras, más difíciles que se haya las respuestas que nos permiten lucidez. Tanto poder y optimismo en una sola línea con tres palabras, cuya amalgama aún sin comprenderla totalmente en su momento han impulsado mi perseverancia, aún cuando todo parecía venirse abajo, una corta línea que no sabía debía completar y abrazar, gracias madre.

Jairo Maldonado

La vida se conquista con las ganas de triunfar y salir adelante, pero nunca nadie dijo que el éxito es toda la felicidad, la felicidad es poder alcanzar los triunfos a lado de las personas más importantes de tu vida, es por eso que este trabajo le dedico primero a Dios, por haberme regalado una familia que me ha apoyado en todo este camino, a mi madre Luisa Amparito Merchán Quezada, que a más de darme la vida, ha sido el pilar fundamental de mi existencia enseñándome el significado de lucha y perseverancia sin importar nuestras diferencias de opiniones, a mí abuelita Carmen Isabel Quezada Narváez aun que ya no te encuentras a nuestro lado este pequeño éxito también te pertenece a ti madre querida, a mis hermanas y hermano, por no dejar que mi vida se arruine por mis malas decisiones, gracias a toda mi familia, por estar a mi lado a lo largo de toda mi vida y en especial en este proceso de formación profesional.

Jairo Samaniego

RESUMEN EJECUTIVO

La escasez de información hidrometeorológica científica en Puyo constituye un factor contraproducente para la planificación urbana, agrícola, turística, ambiental y económica, el hacer caso omiso a las características climatológicas de una localidad puede ser una limitante a la hora de tomar decisiones desde los puntos de vista de gobernanza, sanidad, de gestión de riesgo y producción. Mediante el presente proyecto de investigación se ha pretendido proporcionar desde la comunidad académica información hidrometeorológica y climatológica que incluye determinación de normales climatológicas mensuales y anual (4640 mm) de precipitación y valores extremos mensuales para conocer el comportamiento pluviométrico que permite estimar posibles fenómenos edáficos de Puyo; proyecciones a 30 años de precipitación mediante la determinación de períodos de retorno y curvas IDF en intervalos de 1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas empleando la metodología de Gumbel por ser la más adecuada; estimación de la evapotranspiración (ET_o) mensual, diaria y anual de Puyo con la metodología de Penman-Monteith que ofrece la posibilidad de estimación de ET_o de para diferentes coberturas vegetales o cultivos; y finalmente estimación del balance hídrico de acuerdo a Thornthwaite, cuyo resultado para Puyo muestra superávit hídrico durante todo el año, información que posibilita la determinación de índices de erosión del suelo. El contar con datos estadísticos descriptivos y probabilísticos posibilita reducir márgenes de error en la planificación de diversas actividades y planes basándose en la recurrencia de eventos hidrometeorológicos que suelen presentar comportamiento de trayectoria temporal cíclica. Los aportes de la presente investigación proporcionan insumos factibles a actividades que llevan a cabo agricultores, turistas, estudiantes, investigadores, GADs e instituciones gubernamentales y no gubernamentales.

PALABRAS CLAVES:

Gumbel, normal climatológica, Penman-Monteith, período de retorno, precipitación, Thornthwaite, superávit hídrico

ABSTRACT

Lacking of scientific hydrometeorological information of Puyo is a counterproductive factor for urbanistic, agricultural, touristic, environmental and economic planning. Ignoring climatological characteristics of a locality can be restrictive at time of taking decisions in governance, health service, risk management and production. Through this investigation project it has been aimed to provide data obtained by the academic community about hydrological and climatological information which includes monthly and annual (4640 mm) climatological normal and monthly extreme values in order to get pluviometric patterns which allow to estimate possible edaphic phenomena of Puyo; 30 year precipitation projections by means of return periods and IDF curves in intervals of 1, 2, 4, 6, 8, 12 and 24 hours using Gumbel method for being the most reliable methodology; annual, monthly and daily evapotranspiration (ET_0) estimation of Puyo using Penman-Monteith methodology which allows ET_0 estimation for several vegetable coverages and crops; and finally, hydric balance estimation using Thornthwaite methodology, whereof results for Puyo is hydric surplus throughout the year, information which makes possible soil erosion indexes determination. Having descriptive statistical and probabilistic data makes possible reduce error margins of activities planning based in hydrometeorological recurrence events that usually bring forward cyclical time path patterns. Contributions of this investigation provide useful inputs for farmers, tourists, students, researchers, GADs and governmental and non-governmental institutions activities.

KEYWORDS:

Gumbel, climatological normal, Penman-Monteith, return period, precipitation, Thornthwaite, hydric surplus.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA.....	III
RESUMEN EJECUTIVO	IV
PALABRAS CLAVES:.....	IV
ABSTRACT	V
KEYWORDS:.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	4
2.1.1 PRECIPITACIÓN.....	4
2.1.1.1 DEFINICIÓN.....	4
2.1.1.2 ORIGEN.....	4
2.1.1.3 TIPOS	5
2.1.1.4 VARIACIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN	5
2.1.1.5 MEDICIÓN.....	5
2.1.1.6 REGISTRO	6
2.1.1.7 UNIDADES Y ESCALAS	6
2.1.1.8 DATOS PLUVIOMÉTRICOS DE UN PUNTO	6
PLUVIOGRAMA.....	6
HIETOGRAMA	6
MÓDULO PLUVIOMÉTRICO ANUAL MEDIO.....	7
PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL.....	7
PRECIPITACIONES DIARIAS	7

PLUVIOMETRÍA MENSUAL	7
2.1.1.9 FRECUENCIA DE PRECIPITACIÓN.....	7
2.1.2 EVAPORACIÓN	8
2.1.2.1 DEFINICIÓN.....	8
2.1.2.2 MEDICIÓN.....	8
2.1.2.3 UNIDADES Y ESCALAS	8
2.1.3 REPRESENTATIVIDAD DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	8
2.2 PERIODOS DE RETORNO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS Y CURVAS IDF.....	9
2.2.1 MÉTODO PROBABILÍSTICO.....	9
2.2.1.1 DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD.....	9
PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA	9
2.2.1.2 PERIODO DE RETORNO.....	10
2.2.1.3 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE VALORES EXTREMOS.	10
2.2.1.4 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD.....	10
DISTRIBUCIÓN GUMBEL.....	11
2.2.2 CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN Y FRECUENCIA.....	13
2.2.2.1 DEFINICIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN Y FRECUENCIA.....	13
2.2.2.2 CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS IDF.....	14
2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	14
2.3.1 FACTORES METEOROLÓGICOS QUE DETERMINAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA.....	15
2.3.1.1 RADIACIÓN SOLAR.....	15
2.3.1.2 PRESIÓN ATMOSFÉRICA	16
CONSTANTE PSICROMÉTRICA.....	16
2.3.1.3 TEMPERATURA DEL AIRE.....	17
TEMPERATURA DE ROCÍO.....	17
2.3.1.4 HUMEDAD DEL AIRE.....	17
2.3.1.5 PRESIÓN DEL VAPOR DE SATURACIÓN.....	17
2.3.1.6 VELOCIDAD DEL VIENTO.....	18
2.3.2 ECUACIÓN DE PENMAN - MONTEITH	18
2.4 BALANCE HÍDRICO	19
2.4.1 DEFINICIÓN.....	19

2.4.2	<i>APLICACIONES</i>	20
2.4.3	<i>TIPOS</i>	20
2.4.3.1	BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO	20
2.4.3.2	BALANCE HÍDRICO AGROCLIMÁTICO	20
2.4.4	<i>BALANCE HÍDRICO MÉTODO THORNTHWAITE</i>	20
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		22
3.1	LOCALIZACIÓN	22
3.2	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	22
3.3	TIPOS DE INVESTIGACIÓN	23
3.4	MATERIALES Y EQUIPOS	24
3.5	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.5.1	<i>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</i>	24
3.5.2	<i>OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN</i>	24
3.5.2.1	RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DIARIA	25
3.5.2.2	COMPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN ALMACENADA	25
3.5.3	<i>PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</i>	25
3.5.3.1	DETERMINACIÓN DE PERIODOS DE RETORNO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS Y ESTABLECIMIENTO DE CURVAS IDF	26
	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	26
	DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL ²⁷	
	CONSTRUCCIÓN CURVA INTENSIDAD DURACIÓN Y FRECUENCIA ²⁸	
3.5.3.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS MESES QUE PRESENTAN VALORES HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS	29
3.5.3.3	ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (E_{T_0}).....	29
	CONSTANTE PSICROMÉTRICA (Γ).....	30
	PRESIÓN MEDIA DE VAPOR DE SATURACIÓN (E_s).....	31
	PRESIÓN REAL DE VAPOR (E_A) DERIVADA DE LA TEMPERATURA DEL PUNTO DE ROCÍO	31
	DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR ($E_s - E_A$)	32
	PENDIENTE DE LA CURVA DE PRESIÓN DE SATURACIÓN DE VAPOR (Δ)	32
	RADIACIÓN NETA (R_N).....	32
	FLUJO DEL CALOR DEL SUELO	36

	VELOCIDAD DEL VIENTO (U_2)	37
3.5.3.4	DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SEGÚN THORNTHWAITE.	37
	PRECIPITACIÓN (P)	38
	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)	38
	DIFERENCIA ENTRE INPUTS OUTPUTS (DIF)	38
	RESERVA (R)	38
	VARIACIÓN DE LA RESERVA (VR)	39
	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR)	39
	DÉFICIT HÍDRICO (D).....	39
	SUPERÁVIT HÍDRICO (SP).....	40
	ESCORRENTÍA (ES)	40
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1.	RESULTADOS	41
4.1.1	<i>Períodos de retorno de precipitaciones extremas y curvas idf</i>	41
	PRECIPITACIONES MÁXIMAS	41
	ESTADÍGRAFOS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN DE LA MUESTRA, Y PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES	43
	PROBABILIDAD DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO	44
	CURVAS IDF.....	45
4.1.2	<i>Meses que presentan valores hidrometeorológicos extremos</i>	46
4.1.3	<i>Evapotranspiración</i>	48
4.1.4	<i>Balance hídrico</i>	50
4.2.	DISCUSIÓN	52
4.2.1	<i>Períodos de retorno de precipitaciones extremas y curvas IDF</i>	52
	Representatividad de los datos.....	52
	La alta variabilidad de datos	52
	Análisis de los resultados de las probabilidades de precipitación máximas para distintos periodos de retorno y curvas IDF.....	54
4.2.2	<i>Meses que presentan valores hidrometeorológicos extremos</i>	54
4.2.3	<i>Evapotranspiración</i>	55
4.2.4	<i>Balance hídrico</i>	55

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
5.1 CONCLUSIONES	56
5.2 RECOMENDACIONES	57
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA	58
CAPÍTULO VII ANEXOS	64
ANEXO 1.	64
ANEXO 2.	65
ANEXO 4.	67
ANEXO 5.	68
ANEXO 6.	69
ANEXO 7.	70
ANEXO 8.	71
ANEXO 9.	72
ANEXO 10.	73
ANEXO 11.	74
ANEXO 12.	75
ANEXO 13.	76
ANEXO 14.	77
ANEXO 15.	78
ANEXO 16.	79
ANEXO 17.	80
ANEXO 18.	81
ANEXO 19.	82
ANEXO 20.	83
ANEXO 21.	84
ANEXO 22.	85
ANEXO 23.	86
ANEXO 24.	87
ANEXO 25.	88
ANEXO 26.	89
ANEXO 27.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización y área de representatividad.....	22
Figura 2: Contenido de una curva IDF	28
Figura 3. Curvas IDF de la estación meteorológica Puyo (mm)	45
Figura 4. Normales Climatológicas de Precipitación de Puyo del período 1988 – 2017 (mm)	46
Figura 5. Precipitación anual de Puyo (mm) del período 1988-2017.....	47
Figura 6. Precipitaciones (mm) mensuales extremas del período 1988-2017	48
Figura 7. ETo mensuales de la ciudad de Puyo (mm) período 1988-2017	49
Figura 8. ETo diaria de la ciudad de Puyo (mm)	49
Figura 9: Condición hídrica de Puyo	51
Figura 10. Precipitaciones máximas (mm) de Puyo del período de duración de 1 hora del período 1987-2017	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	41
Tabla 2.....	42
Tabla 3.....	43
Tabla 4.....	44
Tabla 5.....	46
Tabla 6.....	48
Tabla 7.....	48
Tabla 8:.....	49
Tabla 9.....	50

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Las características hidrometeorológicas de una localidad son factores influyentes para una adecuada gestión de recursos hídricos, planificación y ordenamiento territorial. Martínez & Villalejo (2018) mencionan que la gestión integrada del recurso hídrico está conformada por varios componentes, de entre los cuales menciona los hidrológicos (redes y estudio); planificación y balances nacionales, regionales y de cuencas.

La falta de conocimiento de las características hidrometeorológicas, balance hídrico y/o proyecciones de precipitación a mediano y largo plazo supone una limitante para el crecimiento óptimo de un asentamiento urbano; no será un factor determinante, pero si influirá considerablemente sobre la capacidad de respuesta de los organismos competentes, infraestructura y calidad de vida de los habitantes de la localidad ante posibles eventualidades de naturaleza hidrometeorológica.

El incesante crecimiento demográfico y urbano que se evidencia de forma global, ha motivado desde hace décadas que la comunidad científica proporcione a la sociedad el estado de los recursos hídricos, así como también las perspectivas a futuro de tan preciado recurso (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos [WWAP], 2018). Es así que diversos autores han postulado diferentes ecuaciones sobre cómo obtener tasas de evaporación y balances hídricos que sean representativos, fiables y aplicables para contribuir a la planificación, toma de decisiones y toma de medidas, que garanticen la disponibilidad de agua, que expliquen los efectos y probables consecuencias de la variabilidad hidrológica sobre diversos sectores productivos, económicos, sociales y ambientales.

Nuestro país ha sido catalogado como el país con mayor número de ríos por km² del mundo Secretaría Nacional del Agua ([SENAGUA], 2009) sin embargo no se ha aplicado una gestión integral de nuestros recursos hídricos, quizás por la aparente abundancia de los mismos, pero se debe mencionar que cantidad no es sinónimo de calidad, muchos de los cuerpos de agua de nuestro territorio nacional están contaminados y su aprovechamiento, en muchos casos es ineficiente, por la falta de información hidrológica apropiada.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ([FAO], 2006) proporciona a la comunidad mundial dentro de la serie de publicaciones de Estudio

de Riego y Drenaje el estudio de Evapotranspiración del cultivo – Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, que constituye el estudio a partir del cual se estima el valor de evapotranspiración de la ciudad de Puyo y su área de influencia.

La ciudad de Puyo es una urbe rodeada y atravesada por varios cuerpos de agua que impiden una distribución y dispersión uniforme de asentamientos urbanísticos. Es imperativo contar con información hidrometeorológica fiable para evitar incidentes como los ocurridos el 3 de noviembre de 2016 que evidenciaron el escaso conocimiento sobre el comportamiento de los cuerpos de agua bajo la influencia de precipitación de gran intensidad y las limitantes de un inadecuado ordenamiento territorial bajo los efectos de precipitaciones cuya intensidad y duración no contemplada anteriormente por los entes encargados de la gestión de riesgos afectó y podría volver causar estragos en varios sectores y actividades económicas de la ciudad, las precipitaciones provocaron el crecimiento y desbordamiento de los ríos Puyo y Pambay, el colapso del sistema de alcantarillado, se evacuó a 40 familias del sector La Isla, el agua ingresó a viviendas de los barrios Amazonas, México, Plaza Aray, Obrero, El Chofer y La Isla, Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos ([SGNR], 2016).

En la ciudad de Puyo se puede observar de manera evidente que aún no se cuenta con una gestión hídrica, a medida que ha ido creciendo la urbe, los problemas han ido acumulándose, de forma que actualmente es imperativo realizar estudios orientados a diagnosticar, describir y proponer alternativas de solución o al menos de reducción de impactos sobre la cuenca del río Puyo.

El presente proyecto de investigación está dirigido hacia una estimación de las tasas de evapotranspiración de referencia, determinación del balance hídrico climático de la ciudad de Puyo además de proporcionar proyecciones de precipitación que puedan contribuir a futuros proyectos: de investigación, de identificación de características climáticas, de riesgos, de planificación y ordenamiento territorial, de vialidad, de obra civil, de salud y bienestar social, para la consecución del presente proyecto se requirió emplear información de la estación meteorológica Puyo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La escasez de información hidrometeorológica que indique puntualmente la realidad de las características hídricas de Puyo ha impedido realizar estimaciones y proyecciones del comportamiento de la precipitación a mediano y largo plazo que puedan incluirse en la programación de actividades laborales, sociales, agrícolas, ambientales y económicas de la zona.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar tasas de evapotranspiración de referencia, balance hídrico climático y curvas de intensidad-duración-frecuencia de precipitación de la ciudad de Puyo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar períodos de retorno para precipitaciones que excedan valores mayores a los normales.
- Establecer Curvas IDF, para un período de retorno de 30 años.
- Identificar estadísticamente meses que presenten valores hidrometeorológicos extremos.
- Determinar las tasas de evapotranspiración de referencia mensual y anual.
- Obtener el balance hídrico de Puyo mediante el método de Thornthwaite.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

González (2013) especifica como variables climatológicas a las propiedades que definen las condiciones de la atmósfera, cuyo conjunto define el estado del tiempo o del clima, también se los puede denominar parámetros o elementos climatológicos.

Las variables climatológicas con su respectiva unidad de medida se pueden resumir así:

- Precipitación en mm.
- Temperatura del aire en °C.
- Temperatura del punto de rocío en °C.
- Humedad relativa en %.
- Dirección del viento en grados geográficos.
- Velocidad del viento m/s o en kt (nudos).
- Recorrido del viento en m o Km.
- Presión atmosférica en hPa.
- Nubosidad en octas.
- Visibilidad horizontal en Km.
- Heliofanía en horas de luz solar.
- Irradiancia solar en W/m².
- Evaporación en mm.

En función a los objetivos del presente proyecto de investigación, es menester referirse a los dos parámetros que tienen relación con la consecución de los objetivos.

2.1.1 PRECIPITACIÓN

2.1.1.1 Definición

La Organización Meteorológica Mundial ([OMM],1993) define a la precipitación como un fenómeno que se puede observar en la atmósfera, que consiste en la caída en vertical; desde una nube hasta la superficie del suelo, de una partícula de naturaleza acuosa que puede presentarse en estado líquido o sólido.

El proceso para la formación de la precipitación, de acuerdo a Martínez (2005) implica la existencia de núcleos de condensación suspendidos en la atmósfera, es decir nubes; en función de éstas últimas la precipitación puede presentar propiedades diferentes que producen variaciones en su tipo, intensidad, duración y distribución espacio-temporal.

2.1.1.2 Origen

Según Higuera & Casas (1977) la precipitación puede ocurrir de dos maneras:

1. Cuando la humedad relativa del ambiente es 100%.
2. Cuando en una nube existe presencia de micro gotitas y/o micro cristales de origen acuoso en estado de suspensión y adquieren mayor volumen hasta llegar al momento en que ya no pueden estar suspendidas en la atmósfera.

2.1.1.3 Tipos

Como expresa Sánchez (2017) de acuerdo a su origen se pueden distinguir tres tipos:

1. **Ciclónicas:** se asocian a borrascas o ciclones, el autor postula que la mayor parte del volumen precipitado en una cuenca hidrográfica corresponde a este tipo de precipitación.
2. **De convección:** son producidas por corrientes ascendientes de aire caliente con presencia de vapor de agua, asociadas a tormentas.
3. **Orográficas:** originadas cuando masas de aire húmedo ascienden una barrera montañosa.

2.1.1.4 Variación temporal de la precipitación

De acuerdo a Tiempo (2017) en gran parte de las regiones tropicales existen dos factores que influyen en la variación temporal de la precipitación; el cambio de dirección estacional en los vientos predominantes que de acuerdo a FAO (1996) pueden ser calientes o fríos, húmedos o secos y la Zona de Convergencia Intertropical.

2.1.1.5 Medición

La OMM define la medición de la precipitación como la cantidad total de precipitación que llega a la superficie terrestre en un período determinado se expresa en términos de profundidad vertical del agua (o su equivalencia en el caso de precipitaciones sólidas) que debería cubrir en una proyección horizontal de la superficie terrestre OMM (2008a).

La medición puede ser realizada por un observador meteorológico o técnico meteorológico, mediante la utilización de un pluviómetro y una probeta graduada, cuya escala es acorde al instrumento convencional del que se disponga en la estación meteorológica.

El área de recepción puede variar de acuerdo al tipo de pluviómetro, el más utilizado es el tipo Hellmann cuya área de recepción es de 200 cm², la altura a la que debe encontrarse la boca de recepción del instrumento debe ser de 1.2 m.

También se puede realizar la medición mediante el empleo de sensores automatizados debidamente calibrados.

2.1.1.6 Registro

Para el registro en el caso de contar con un pluviógrafo convencional se emplean láminas de papel impresas, que incluyen escala temporal (líneas verticales) y la cantidad de precipitación (líneas horizontales), además de un mecanismo inscriptor que permita graficar la caída de precipitación a través del tiempo.

En el caso de tener instrumentos automatizados de registro no se necesitará láminas de papel, sino un AWOS (Automatic Weather Operating System).

2.1.1.7 Unidades y escalas

Como menciona Sánchez (2017) la precipitación se puede cuantificar mediante el empleo de cualquier recipiente de paredes rectas. La unidad de medida es el milímetro, cuya equivalencia es de 1mm es igual a $0,001\text{m}^3.\text{m}^{-2}$.

La unidad de la precipitación es profundidad linear de agua precipitada en mm en una superficie ($\text{mm}.\text{m}^{-2}$), o peso del agua precipitada en kg en una superficie ($\text{Kg}.\text{m}^{-2}$) para la precipitación sólida OMM (2008b).

2.1.1.8 Datos pluviométricos de un punto

Sánchez (2017) Considera que básicamente se computan precipitación diaria, mensual y anual.

Pluviograma

Sánchez (2017) Define a un pluviograma como la representación de lluvia acumulada con respecto al tiempo, las escalas temporales pueden ser diarios, mensuales o anuales.

En el eje X se dispondrá de la escala temporal, mientras que en el eje Y se dispondrá de la cantidad de precipitación acumulada en mm.

Hietograma

Para Sánchez (2017) es un diagrama gráfico que expresa la precipitación en función del tiempo. Generalmente se representa como un hietograma, pero también se puede expresar como un gráfico de línea. Se lo puede obtener para graficar diversos intervalos de tiempo: horarios, diarios, meses o años.

En el eje X se dispondrá de la escala temporal para el eje Y se dispondrá de la escala de intensidades.

Módulo pluviométrico anual medio

Hace referencia a la media aritmética de las precipitaciones anuales en una serie de años. La OMM recomienda que deben ser series de al menos 30 años OMM (2015).

Precipitación media mensual

Es la media aritmética de las precipitaciones de cada mes a lo largo de una serie de años. La suma de las medias aritméticas de todos los meses dará como resultado el módulo pluviométrico anual medio.

Precipitaciones diarias

Las precipitaciones a escala diaria tienen gran importancia en el estudio de obras como sistemas de alcantarillado o de drenaje.

Pluviometría mensual

Como afirma Sánchez (2017) para el estudio de las precipitaciones como generadoras de caudales excepcionales (avenidas), se debe tomar en consideración las precipitaciones máximas diarias (el día más lluvioso de cada año), para aumentar el detalle hasta períodos de horas.

De acuerdo a la información expresada por Palacios (2018) el INAMHI, recopila información horaria, diaria, mensual y anual mediante cuadros estadísticos, siendo los cuadros mensuales en los que se puede hallar información que permite calcular la intensidad horaria de las precipitaciones, así como las precipitaciones máximas en períodos horarios, diarios y mensuales.

2.1.1.9 Frecuencia de precipitación

Para Heuveltop, Pardo, Quirós, & Espinoza (1986) la frecuencia de la incidencia de la precipitación es el número de días de lluvia, con la condicionante que deben reunir más de 1mm de precipitación acumulada en 24 horas para ser considerados como días lluvia.

De acuerdo a lo manifestado por la OMM (1981) una serie de datos de precipitación tiene consistencia y homogeneidad si toda la información proviene de la misma fuente. Así mismo el organismo menciona la definición de valores atípicos, mismos que se presentan en la serie

de datos, explica que un valor atípico es un evento extremadamente raro que interrumpe un patrón establecido obtenido por otras observaciones. En consecuencia su período de retorno podría ser mayor que el período registrado o que el valor atípico podría representar una población diferente de aquella representada por otra precipitación extrema.

2.1.2 EVAPORACIÓN

2.1.2.1 Definición

De acuerdo a la OMM (2008a) la evaporación es la cantidad de agua evaporada desde una superficie descubierta de agua o desde el suelo.

2.1.2.2 Medición

La evaporación se mide con instrumentos llamados evaporímetros, que pueden ser clasificados en atmómetros evaporímetros de cubeta y tanques evaporímetros. Según explica INAMHI (2011) en el Ecuador se emplea el tanque de evaporación clase A, que es un cilindro cuya parte superior es abierta, tiene 25,4cm de profundidad y 120,7cm de diámetro.

2.1.2.3 Unidades y escalas

Análogamente a la precipitación, la unidad de medida es profundidad linear de agua evaporada en mm desde una superficie m^2 durante una unidad de tiempo ($mm \cdot m^{-2} \cdot día$), o peso del agua evaporada en kg desde una superficie m^2 durante una unidad de tiempo ($Kg \cdot m^{-2} \cdot día$) para la precipitación sólida.

La tasa de evaporación está definida como la cantidad de agua evaporada de una superficie por unidad de tiempo. Además puede ser expresada como masa o volumen de agua líquida evaporada de una superficie durante una unidad de tiempo. Normalmente la unidad de tiempo a la que se hace referencia es de un día.

La cantidad de evaporación debe ser indicada en milímetros, cuya equivalencia es de 1mm es igual a $0,001m^3 \cdot m^{-2}$.

2.1.3 REPRESENTATIVIDAD DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La representatividad de una observación meteorológica como define OMM (2008b) es el grado de exactitud con el que describe el valor de una variable necesaria para una finalidad

específica y que en el caso de aplicaciones de pequeña escala o local la dimensión del área que será tomada en cuenta puede ser de 10km o menos.

2.2 PERIODOS DE RETORNO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS Y CURVAS IDF

Para Martínez (2005) consiste en el análisis de la distribución de la precipitación en determinado punto, además muestra la relación entre la intensidad y la duración de la tormenta, además menciona que es necesario introducir el concepto de probabilidad para poder evaluar riesgos.

Según Chow (1994) la intensidad i se define como: “La tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h o pulg/h)”.

Para (Heuvelop, *et al.*, 1986) la intensidad es una característica muy importante en climatología aplicada, principalmente en los trópicos, pues en esas latitudes se presentan intensidades de precipitación altas.

González (2014) Indica que resulta de la unión de puntos representativos de la intensidad media en intervalos establecidos y correspondientes todos ellos a un mismo período de retorno.

2.2.1 MÉTODO PROBABILÍSTICO

Darba (2006) Define a un método probabilístico como la representación de cada uno de los elementos de una muestra, mediante modelos de distribución probabilísticas.

Para determinar períodos de retorno de precipitaciones que excedan valores mayores a los normales se utilizó la distribución de Gumbel.

2.2.1.1 Determinación de la Probabilidad

Pizarro & Novoa (1986) citado en Camiroaga (2008) declara que es necesario la definición de dos términos para poder llegar a una descripción clara de lo que es la probabilidad implícita, estos términos son periodo de retorno y la probabilidad de excedencia.

Probabilidad de excedencia

Esta probabilidad está coligada al periodo de retorno.

$$P_{\text{excedencia}} = P(x) = \frac{1}{T} \quad (1)$$

La probabilidad de que la x tome un valor igual o inferior a cierto número X , está dado por la función de distribución de probabilidad $F(X)$.

$$F(X) = P(x \leq X) = 1 - \frac{1}{T} \quad (2)$$

La posibilidad de que la variable aleatoria x sea mayor que X está definida por la función.

$$P(x > X) = 1 - F(X) = \frac{1}{T} \quad (3)$$

2.2.1.2 Periodo de retorno

Según Torregrosa (2014) el periodo de retorno T es el intervalo de tiempo que transcurre para igualar o superar un suceso, se lo conoce también como intervalo de recurrencia.

El periodo de retorno es la inversa de la probabilidad.

$$T = \frac{1}{p} \quad (4)$$

2.2.1.3 Análisis de Frecuencia de Valores Extremos.

El análisis de frecuencia de valores extremos radica en establecer las variables de la distribución de probabilidad y determinar con un modelo estadístico de distribución la magnitud del suceso para un intervalo de recurrencia dado, la eficacia del análisis dependerá del margen de error propio del modelo estadístico a elegir, otro de los factores que contribuyen a la obtención de un análisis fiable es el tamaño y las condición de la muestra, la OMM recomienda que como mínimo el tamaño de la base de datos para estudios climatológicos debe contener un periodo de 30 años para que los resultados sean valederos Aguilera (2007).

2.2.1.4 Funciones de Distribución de Probabilidad

Funciones de distribución de probabilidad es deducir el comportamiento futuro de una serie histórica de datos climatológicos partiendo de la observación de una muestra, dicho de otra manera la conducta de las variables aleatorias discretas o continuas se representa con modelos de distribución de probabilidad Gorgas, Cardiel, & Zamorano (2011).

La función de distribución de probabilidad utilizada es la de Gumbel misma que se comporta de la siguiente manera:

$$P(x \leq X) = F(X) = e^{-e^{-y}} \quad (5)$$

Distribución Gumbel

“Ley estadística de distribución de frecuencias para valores extremos” (Torregrosa, 2014, p.365).

Gumbel es utilizado para calcular valores extremos, partiendo de una base de datos de niveles máximos de distintos parámetros. Este método probabilístico es muy utilizado para el cálculo de valores máximos de precipitaciones, caudales, velocidades de vientos entre otros; estas proyecciones son esenciales para emplearlos en distintas aplicaciones de la ingeniería, como para la construcción de diferentes obras, construcción de redes de alcantarillado, diques, hidroeléctricas, puentes por nombrar las más importantes. Además es un insumo para estudios probabilísticos como la frecuencia de inundaciones de una cuenca hidrográfica, fenómenos costeros etc.

Pizarro, Flores, Sangüesa, & Martínez (2003) recomiendan que los periodos de retorno a calcular, no excedan con el doble o el triple de la longitud de datos de la serie a estudiar. Mientras más alejados estén los periodos de retorno de la longitud de la muestra a estudiar el margen de error aumentara en el cálculo de las intensidades futuras. Por otra parte, plantean que este tipo de estudio no tiene una metodología estándar a seguir, es por eso que lo expuesto por los diferentes autores más que una metodología es una proposición.

La distribución de Gumbel y la distribución de log-Pearson tipo III son los modelos más aceptables para conocer y manejar el comportamiento de las variables de precipitación Chereque (1989).

Vente Chow expresa a estas distribuciones de la forma.

$$X = X_m + D_x \quad (6)$$

Donde:

- X valor máximo (precipitación) para un período de retorno T, con una probabilidad proporcionada.
- X_m media de la base de datos de precipitaciones máximas.

Dx desviación respecto a la media, que se estima mediante el producto.

$$Dx = k * s_{n-1} \quad (7)$$

Donde:

k factor de frecuencia definido por cada distribución. Es una función de nivel de probabilidad asignado a X .

s_{n-1} desviación estándar de la serie.

La ley de Gumbel está dada por la expresión.

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (8)$$

Donde:

$F(x)$ probabilidad de que un valor sea igualado o excedido.

y variable reducida, dada por la expresión.

La variable “ y ” se la puede calcular de diferentes maneras como se expresa en las siguientes ecuaciones:

En función del tiempo de retorno.

$$y^T = -\ln(\ln(\frac{T}{T-1})) \quad (9)$$

Otra ecuación está dada en función de X

$$y = \alpha(X - \mu) \quad (10)$$

μ moda de la distribución.

α parámetro de dispersión.

Para una muestra definida.

$$\mu = X_m - \left(\frac{y_n}{\alpha}\right) \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{S_n}{s_{n-1}} \quad (12)$$

y_n valor medio esperado de la variable reducida.

S_n desviación estándar de la variable reducida.

Las funciones (y_n) y (S_n) dependen del tamaño de la muestra. Ver anexo 1, reemplazando los valores en:

$$y = \alpha(X - \mu)$$

$$y = \alpha X - \alpha\mu$$

$$y = \frac{S_n}{S_{n-1}} X - \frac{S_n}{S_{n-1}} \left(X_m - \left(\frac{y_n}{\alpha} \right) \right)$$

$$y = \frac{S_n}{S_{n-1}} X - \frac{S_n}{S_{n-1}} X_m + y_n$$

$$\frac{S_n}{S_{n-1}} X = \frac{S_n}{S_{n-1}} X_m + y - y_n$$

$$X = X_m + \frac{y - y_n}{S_n} * S_{n-1}$$

$$X = X_m + k * S_{n-1} \quad (13)$$

$$X = X_m + D_x \quad (14)$$

2.2.2 CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN Y FRECUENCIA

2.2.2.1 Definición de las curvas Intensidad Duración y Frecuencia

Las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) son el resultado de la unión de puntos característicos de la intensidad en distintos intervalos de duración, todos dentro de un mismo periodo de retorno Pizarro et al. (2003).

Una vez definido el concepto de curvas IDF, surge la necesidad de conocer conceptos como la intensidad de precipitación y probabilidad de excedencia de un determinado evento, para tener un entendimiento más claro de las curva IDF.

Intensidad de precipitación

Como menciona Torregrosa (2014) la intensidad de precipitación es la “cantidad de lluvia, expresada en unidades de altura por unidad de tiempo”.

2.2.2.2 Construcción de las curvas IDF

Pizarro et al. (2003) dan a conocer los diferentes métodos de construcción de las curvas IDF según el planteamiento de diversos autores.

Aparicio (1997) Plantea dos métodos, el primero llamado intensidad-periodo de retorno, donde relaciona estas dos variables para cada duración por separado, con modelos probabilísticos usados para la hidrología.

El otro método es una relación simultánea de las tres variables intensidad, duración y periodo de retorno que expresa en la siguiente ecuación.

$$I = \frac{k \cdot T^m}{(d+c)^n} \quad (15)$$

Donde:

k, m, n, c	constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple
I	intensidad de precipitación
d	duración

Chow, Maidment & Mays (1994) plantean dos métodos de construcción de las curvas IDF. El primero considera un análisis de frecuencias de precipitaciones mediante la utilización de una función de distribución de probabilidades de valores extremos como la función de Gumbel. En su segundo método expresa a las curvas IDF como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica

2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN

De acuerdo a la FAO (2006) el concepto incluye tres diferentes definiciones: evapotranspiración de referencia (ET_o), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ($ET_{c_{aj}}$).

ET_o es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera.

Abarca la combinación de dos procesos separados en los que el agua se pierde a través de evaporación desde la superficie del suelo y mediante transpiración del cultivo. Esa pérdida

de agua en estado líquido del suelo y de las plantas se convierte en vapor de agua, debido al calentamiento del agua provocado por la incidencia de la radiación solar. A medida que ocurre la evaporación, existe una saturación gradual del aire y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse por completo si el aire húmedo circundante no se transfiere a la atmósfera.

2.3.1 FACTORES METEOROLÓGICOS QUE DETERMINAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

Según indica FAO (2006) los factores meteorológicos que influyen en la evapotranspiración son aquellos que proporcionan la energía necesaria para la vaporización del agua en una superficie evaporante. Los principales parámetros meteorológicos que se deben considerar son los siguientes:

2.3.1.1 Radiación solar

La cantidad de energía disponible determina el proceso de evapotranspiración. Siendo la radiación solar la fuente de energía más importante en el planeta, ésta puede transformar grandes volúmenes de agua de estado líquido a gaseoso. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante está condicionada por la posición del planeta respecto a la órbita que describe alrededor del Sol (plano de la eclíptica) y a la inclinación de la Tierra respecto al plano de la órbita, generando así cantidades potenciales de radiación diferentes para cada latitud y estación del año. Al momento de determinar el efecto de la radiación solar en la evapotranspiración, se debe considerar que la cantidad de energía no es la misma disponible que en la exósfera, la evaporación solar real que llega a una superficie evaporante depende de la turbidez de las capas medias y bajas de la atmósfera, en especial de la incidencia de la nubosidad que puede contribuir a la reflexión y absorción de la radiación solar.

Es importante tener presente que no toda la energía disponible se utiliza para la evaporación del agua, parte de esa energía cumple la función de calentar la atmósfera y el suelo.

Se pueden diferenciar estos tipos de radiación para la determinación de la ET_0 :

Radiación de onda corta

Proviene directamente del Sol, este tipo de radiación presenta valores altos de temperatura, el Sol emite radiación a alrededor de 6000 °C como menciona Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ([SEMARNAT], 2007).

Radiación extraterrestre

Es la cantidad de energía que incide de forma perpendicular a la superficie de la Tierra en el extremo superior de la atmósfera se le denomina constante solar, su valor aproximado es de 0,082 MJ.m⁻².min⁻¹, este valor puede tener variaciones en función a la latitud, estaciones del año y hora del día FAO (2006).

Radiación de onda larga

La radiación de onda larga es aquella que proviene de la superficie terrestre, su temperatura es relativamente baja, emite radiación que rodea los 0 °C, según explica Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2007).

“La cantidad de emisión de energía de onda larga es proporcional a la temperatura absoluta de la superficie elevada a la cuarta potencia. Esta relación se expresa cuantitativamente por la ley de Stefan-Boltzmann.” FAO (2006).

2.3.1.2 Presión Atmosférica

La presión atmosférica se puede definir como el peso ejercido por la atmósfera terrestre en una unidad de área según indica Barry & Chorley (2003). A modo general en altas elevaciones como es el caso de localidades montañosas la presión atmosférica es baja con relación a la presión atmosférica de lugares ubicados a nivel del mar. La unidad de medida empleada por la OMM es el hectopascal (hPa).

La presión atmosférica es un parámetro que no se emplea directamente para la obtención de la ET_o, pero si la constante psicrométrica.

Constante psicrométrica

La constante psicrométrica es un valor que representa la variación de la atmósfera con la altura, en la que una masa de aire mientras asciende pierde temperatura, y ocurre lo inverso cuando desciende FAO (2006).

2.3.1.3 Temperatura del aire

La radiación solar absorbida por la atmósfera y la energía irradiada por la tierra incrementan la temperatura del aire, al elevarse la temperatura el calor del aire circundante transfiere energía al cultivo condicionando la tasa de evapotranspiración. En condiciones cálidas y soleadas, la pérdida de agua por evapotranspiración es mayor que en condiciones nubladas y frescas.

Temperatura de rocío

“Temperatura a la que hay que enfriar un volumen de aire a presión y humedad constantes para alcanzar el punto de saturación; cualquier enfriamiento adicional provoca la condensación” (OMM, 2012, p. 87).

2.3.1.4 Humedad del aire

El aporte de energía solar será el factor que cause diferencias de densidades entre vapor de agua en la superficie evaporante y el aire circundante, esto es determinante para la remoción de vapor. El vapor de agua al tener menor densidad que el aire circundante será removido y empujado hacia arriba. En áreas bien regadas en regiones áridas secas y calientes se consume grandes cantidades de agua debido a la gran disponibilidad de energía y al poder de extracción de vapor de la atmósfera, a diferencia de lo que sucede en regiones húmedas tropicales, en donde a pesar de que el ingreso de energía es elevado, la alta humedad del aire reducirá la demanda de evapotranspiración. En ambos casos todo depende del punto de saturación; mientras más alejado se encuentre como en el caso de regiones áridas y secas donde el contenido de agua en el aire es bajo, el aire puede absorber más agua, en forma de vapor, ocurre lo contrario en regiones húmedas, donde el contenido de agua en el aire es alto y está más cerca del punto de saturación, por tanto el aire en esas condiciones tiene menos capacidad de absorber agua.

2.3.1.5 Presión del vapor de saturación

Es la fuerza en la que un determinado volumen de vapor de agua alcanza su valor máximo, es el punto en el que se alcanza la condensación. Puede ser calculada en función de la temperatura del aire, ya que depende de ella.

La (OMM, 2012, p.365) la define como la presión parcial del vapor de agua en el aire. Se obtiene del promedio de la presión de saturación de vapor (e^0) a temperatura máxima y mínima, se toma las dos temperaturas extremas para no subestimar el valor de la ET_o.

2.3.1.6 Velocidad del viento

El proceso de remoción del vapor de agua dependerá, en mayor o menor grado, del viento y la turbulencia del aire, los cuales transfieren grandes cantidades de aire hacia las superficies evaporantes.

Cuando un volumen de agua evaporada se encuentra sobre una superficie evaporante es necesario que ese aire saturado con vapor de agua sea sustituido por un aire más seco, de lo contrario la intensidad de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuyen.

El efecto combinado de los factores meteorológicos que afectan la evapotranspiración condicionará la tasa de evapotranspiración. Podría ilustrarse de la siguiente manera:

- a) En condiciones cálidas y secas a mayor velocidad del aire la tasa de evapotranspiración será relativamente alta.
- b) En condiciones tibias y húmedas a mayor velocidad del aire la tasa de evapotranspiración será relativamente baja.

La velocidad del viento es una variable importante para la estimación de la ET_0 . Por definición la velocidad es una magnitud que varía con el tiempo es imprescindible expresarla como el promedio sobre un intervalo de tiempo determinado. La altura a la que se mide el parámetro de velocidad de viento para el cálculo de la ET_0 es de 2 m.

2.3.2 ECUACIÓN DE PENMAN - MONTEITH

Guevara (2006) indica que para obtener los valores Evapotranspiración Referencial (ET_0) es necesario poseer datos climáticos completos (radiación solar neta, temperatura del aire, velocidad del viento y tensión de vapor del agua) durante un período suficientemente largo de observación, tal como se aplica en climatología, es decir 30 años o más.

El método de Penman – Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia con el fin de obviar la necesidad de definir los parámetros únicos de evaporación para cada cultivo y etapa de crecimiento. Los valores de evapotranspiración de los diferentes cultivos se relacionan con la ET_0 por medio de los coeficientes de cultivo. La ecuación de Penman – Monteith es la siguiente:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)} \quad (16)$$

Donde:	ET_o	evapotranspiración de referencia (mm.día ⁻¹)
	R_n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)
	R_a	radiación extraterrestre (mm.día ⁻¹)
	G	flujo del calor de suelo (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)
	T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
	u_2	velocidad del viento a 2 m de altura (m.s ⁻¹)
	e_s	presión de vapor de saturación (kPa)
	e_a	presión real de vapor (kPa)
	$e_s - e_a$	déficit de presión de vapor (kPa)
	Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa. °C ⁻¹)
	γ	constante psicrométrica (kPa.°C ⁻¹)

2.4 BALANCE HÍDRICO

2.4.1 DEFINICIÓN

De la definición de balance hídrico que ofrece Claro (2006), se puede deducir, que es una evaluación de los valores fluctuantes de agua implícitos en la dinámica hidrológica existente entre la atmósfera y el suelo.

También se lo puede denominar Ecuación de Continuidad, expresarlo matemáticamente es sencillo, pero la cuantificación de sus componentes tiene un mediano grado de complejidad, los principales motivos que complican la cuantificación es la variación espacial de la evapotranspiración, la falta de mediciones directas en campo, las pérdidas profundas y las variaciones del agua almacenada en una cuenca. Como respuesta a estas dificultades, se asume lo siguiente:

- “Supone que las pérdidas profundas son despreciables (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable),
- Admite que las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables para un período suficientemente largo (normalmente un año).” (SENAMHI, 2011, p7).

2.4.2 APLICACIONES

- Correlación con distribución de la vegetación.
- Determinación de épocas lluviosas y secas.
- Difusión de datos hidrológicos.
- Establecimiento calendarios agrícolas.
- Estimación de índices relacionados a la erosión del suelo.
- Evaluación de índices climáticos y agroclimáticos.
- Gestión de cuencas hídricas.
- Planificación de obras de infraestructura.
- Programación de campañas y planes sanitarios.
- Proyección de programas fitosanitarios.

2.4.3 TIPOS

Existen diferentes tipos de balance hídrico, en función de la finalidad, pueden ser: climático, agroclimático, de embalse, hidrológico.

2.4.3.1 Balance hídrico climático

El balance hídrico climático como menciona Ruiz, Arteaga, Vázquez, Ontiveros, & López (2012) es un tipo de balance que emplea los ingresos y salidas de agua por precipitación y evapotranspiración, mediante el empleo de cálculos se obtienen datos cuantitativos del agua disponible en el suelo para poder especificar las épocas de exceso o déficit de agua. El método generalmente usado es el de Thornthwaite.

2.4.3.2 Balance hídrico agroclimático

La determinación del balance agroclimático para Cleves, Toro, & Martínez (2016) estima el requerimiento hídrico de los cultivos y puede ser empleado para definir las fechas óptimas de siembra, para poder aplicar este balance es necesario correlacionar con información fenológica, características del cultivo, características y manejo del suelo.

2.4.4 BALANCE HÍDRICO MÉTODO THORNTHWAITTE

Como indica INUMET (2013) el método parte de los supuestos de que toda la precipitación es efectiva y está disponible en primer término para ser utilizada en el proceso de evapotranspiración, y que los excesos no afectan el período siguiente.

Conociendo los valores de ET_0 y de precipitación mensual se obtiene el balance hídrico anual. De esta manera se puede conocer el agua que se pierde por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas, también la cantidad de agua almacenada en el suelo y aquella que se escurre superficialmente y en profundidad.

Thornthwaite & Mather (1955) Aclaran que el balance hídrico estima información en la que no solamente se determina exceso o déficit hídrico, sino que permite cuantificar esas magnitudes para ser comparadas con otras relacionadas a necesidades hídricas para obtener índices climáticos que pueden ser usados en clasificaciones y estudios de correlación. Además indican que los valores obtenidos mediante la estimación del balance hídrico pueden ser correlacionados con la distribución de la vegetación.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio o más bien el área de representatividad abarca un radio de aproximadamente 10 Km tomando como origen el lugar donde se encuentra emplazada la estación meteorológica INAMHI-Puyo en las coordenadas X: 170783, Y: 9833364, Zona 18, Hemisferio Sur, UTM-84, ubicada en la parroquia rural de Veracruz, perteneciente al cantón Pastaza y a la provincia de Pastaza.

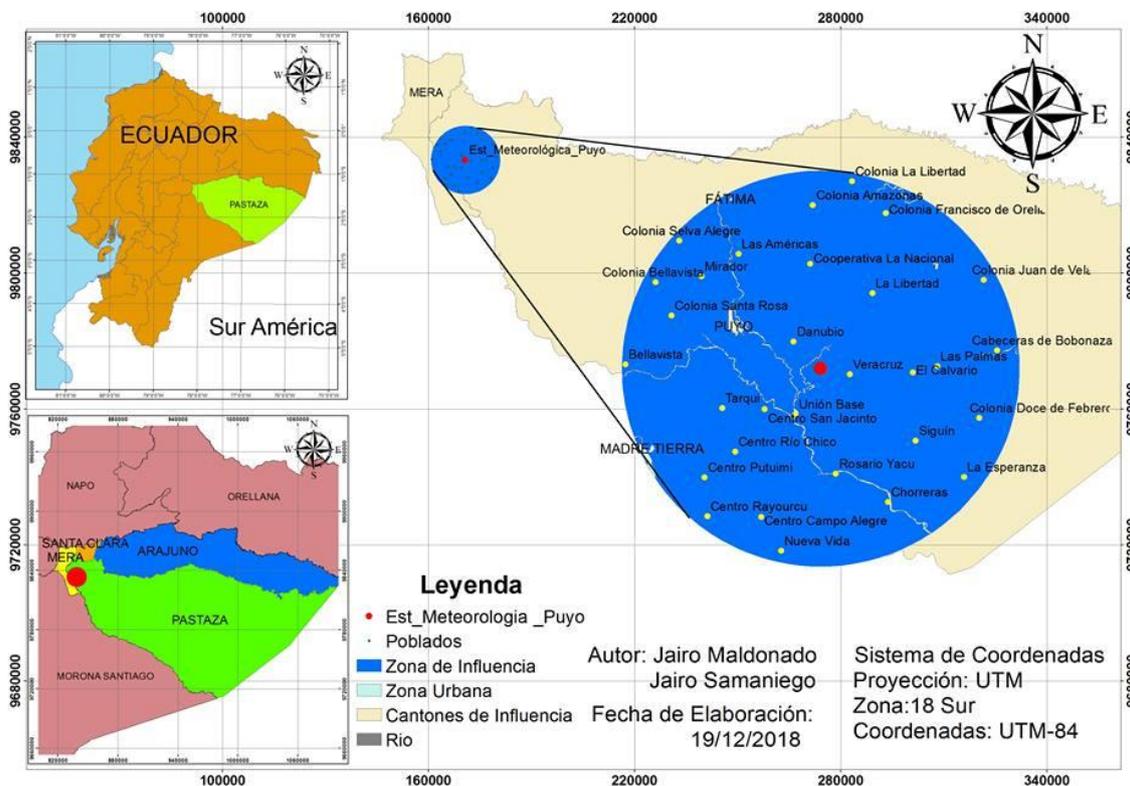


Figura 1: Localización y área de representatividad.

Fuente: Instituto Geográfico Militar IGM

3.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Método Lógico Deductivo

Mediante ella se aplican los principios descubiertos a casos particulares, a partir de un enlace de juicios.

Sinergismo de contenidos que aportan a la consecución de los objetivos del proyecto de investigación. Partiendo desde lo más simple para discernir conocimiento más específico.

El papel de la deducción en esta investigación es doble:

- A partir de lo conocido, elaborar información específica.
- También sirve para descubrir consecuencias desconocidas, de principios conocidos.

3.3 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se puede catalogar en función de diversas características: según el objetivo de la investigación, según el tipo de datos empleados, según el grado de manipulación de las variables y según el período temporal en el que se realiza.

Según el objetivo de la investigación:

Investigación teórica.- Este tipo de investigación tiene como principal objetivo la obtención de conocimientos de diferente índole, sin tener en cuenta la aplicabilidad de los conocimientos obtenidos. Gracias al cuerpo de conocimientos extraídos de ella pueden establecerse otro tipo de investigaciones.

Según el tipo de datos empleados:

Investigación cuantitativa

La investigación cuantitativa se basa en el estudio y análisis de la realidad a través de diferentes procedimientos basados en la medición. Permite un mayor nivel de control e inferencia que otros tipos de investigación, siendo posible realizar experimentos y obtener explicaciones contrastadas a partir de hipótesis. Los resultados de estas investigaciones se basan en la estadística y son generalizables.

Según el grado de manipulación de las variables:

No experimental

Este tipo de investigación se basa fundamentalmente en la observación. En ella las diferentes variables que forman parte de una situación o suceso determinados no son controladas.

El objetivo de esta investigación es obtener un documento que contenga información que aporte al conocimiento del comportamiento de la cuenca media del río Puyo, sin embargo no implica una aplicación directa, más bien facultativa.

3.4 MATERIALES Y EQUIPOS

Se emplearon los siguientes materiales, insumos, equipos y software:

- Laptop.
- Hojas de registro mensual de precipitación.
- Resúmenes estadísticos mensuales de la estación meteorológica Puyo.
- Escáner.
- Microsoft Excel

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente se llevó a cabo una amplia investigación de los aspectos más relevantes para la elaboración del proyecto, búsqueda de modelos estadísticos y metodologías más acertados para la realización de los objetivos propuestos y resolución de la problemática planteada.

Posteriormente se realizó una revisión literaria sobre los conceptos y principios que gobiernan la información sobre las variables necesarias:

- Precipitación
- Temperatura media
- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Radiación solar
- Presión atmosférica
- Humedad atmosférica
- Tensión del vapor
- Evapotranspiración
- Evaporación
- Viento
- Insolación
- Punto de rocío

3.5.2 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la obtención de la información de este proyecto de investigación se deben diferenciar dos etapas:

3.5.2.1 Recopilación de la información diaria

- Se tomó como muestra del presente proyecto de investigación a la información de un período de 30 años, desde 1988 a 2017, de la estación meteorológica Puyo.
- Existen dos tipos de datos: los obtenidos por instrumentos medidores de lectura directa y por instrumentos registradores.
- Las mediciones realizadas por el observador meteorológico se las realizaron en documentos llamados Libretas de Observaciones, que son de periodicidad diaria, en intervalos tri-horarios.
- Los registros en las fajas registradoras muestran los valores cambiantes de las variables meteorológicas permanentemente.
- Mensualmente el observador meteorológico elaboró cuadros estadísticos que provienen de las mediciones y fajas registradoras.
- Los cuadros estadísticos y fajas registradoras en medio físico se almacenaron en el departamento de Archivo del INAMHI en la ciudad de Quito, siendo estos considerados como patrimonio del estado, cuya finalidad es resguardar la información para la realización de estudios académicos y/o científicos.
- La información requerida para determinar los períodos de retorno para precipitaciones que exceden a los valores mayores a los normales y la formación de las curvas IDF, se adquirió de los registros pertenecientes a la estación meteorológica Puyo.

3.5.2.2 Compilación de la información almacenada

- Se escaneó e imprimió de los cuadros de registro horario de precipitación mensuales del período 1987 - 2017, con la particularidad que los registros del año 1997 no están disponibles.
- Se transcribió la información, a hojas de cálculo de Microsoft Excel, de los cuadros de resúmenes mensuales de temperatura ambiente, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, heliofanía, recorrido de viento a 2 metros, precipitación y presión atmosférica del período de 1988 – 2017.

3.5.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Se realizó en función de la disponibilidad y buena conservación de los registros históricos. Como el clima varía naturalmente de un año para otro, los climatólogos utilizan medias

estándar de 30 años de las temperaturas, las precipitaciones y otras variables. Esas medias históricas de 30 años se denominan “normales climatológicas” y pueden calcularse a escala local, nacional o mundial, OMM (2015).

Para el presente proyecto de investigación se consideró el período de 1988 – 2017 como el intervalo de tiempo en el que se obtuvieron los resultados de ET_o y Balance Hídrico y el período 1987 – 2017 como el intervalo de tiempo en el que se obtuvieron los resultados de Períodos de Retorno y Curvas IDF.

3.5.3.1 Determinación de periodos de retorno de precipitaciones extremas y establecimiento de curvas IDF

Se resumió la información pluviométrica de los registros de datos horarios diarios a precipitaciones máximas anuales en rangos horarios de 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24 horas.

Así mismo se tomó cada uno de los valores de cada una de las series y se dividió por su duración, con el objeto de obtener así las intensidades en mm/h.

Parámetros Estadísticos

En esta fase se calculó la media y la desviación estándar parámetros estadísticos necesarios para la modelación de la información según el modelo de distribución de probabilidad seleccionada.

Media

Es el promedio de todos los valores de la muestra, mismo que indica la tendencia central de la distribución. Esta variable es única para cada distribución cuantitativa y viene expresada:

$$X_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (17)$$

Desviación estándar

La desviación estándar, es una medida de dispersión, que nos indica cuanto puede alejarse los valores con respecto a la media, mientras mayor sea el valor de la desviación estándar, mayor es la dispersión de los datos, su fórmula se denota por:

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2} \quad (18)$$

Determinación de la función de distribución de Gumbel

Una vez finalizado el procesamiento de las variables se realizó el cálculo de la función de distribución de Gumbel, datos estadísticos que son usados en la climatología para predecir con cierta probabilidad los valores que puede tomar las precipitaciones en un tiempo futuro.

Para la determinación de los parámetros requeridos por el modelo, se utilizaron las siguientes expresiones.

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (8)$$

Donde:

y variable reducida
e constante de Neper

La variable reducida viene expresada:

$$y = \alpha(X - \mu) \quad (10)$$

$$\mu = X_m - \left(\frac{y_n}{\alpha}\right) \quad \alpha = \frac{S_n}{s_{n-1}} \quad (11 \text{ y } 12)$$

$$y_n = 0.536 \quad S_n = 1.112$$

Donde:

X valor máximo (precipitación) para un período de retorno T.
 μ moda de la distribución.
 α parámetro de dispersión.
 X_m media de la base de datos de precipitaciones máximas.
 s_{n-1} desviación estándar de la serie.
 y_n valor medio esperado de la variable reducida.
 S_n desviación estándar de la variable reducida.

Posteriormente despejando la función de distribución.

$$X = X_m + D_x \quad (14)$$

Donde:

Dx desviación respecto a la media, que se estima mediante el producto.

La variable Dx está dada por:

$$Dx = k * s_{n-1} \quad (7)$$

$$k = \frac{y - y_n}{S_n}$$

Donde:

K factor de frecuencia definido por cada distribución. Es una función de nivel de probabilidad asignado a X .

Construcción curva Intensidad Duración y Frecuencia

La metodología a utilizar para la construcción de las curvas IDF fue la de Chow et al. (1994), el análisis de frecuencias de precipitaciones se las realizo con el modelo estadístico de distribución de probabilidades de Gumbel.

Unas vez obtenidas y definidas las variables necesarias, utilizando el software Microsoft Excel se representó de manera gráfica las curvas de intensidad-duración-frecuencia para la estación meteorológica Puyo.

Contenidos de una curva IDF

En la Figura 2 se observa cómo interpretar una curva IDF:

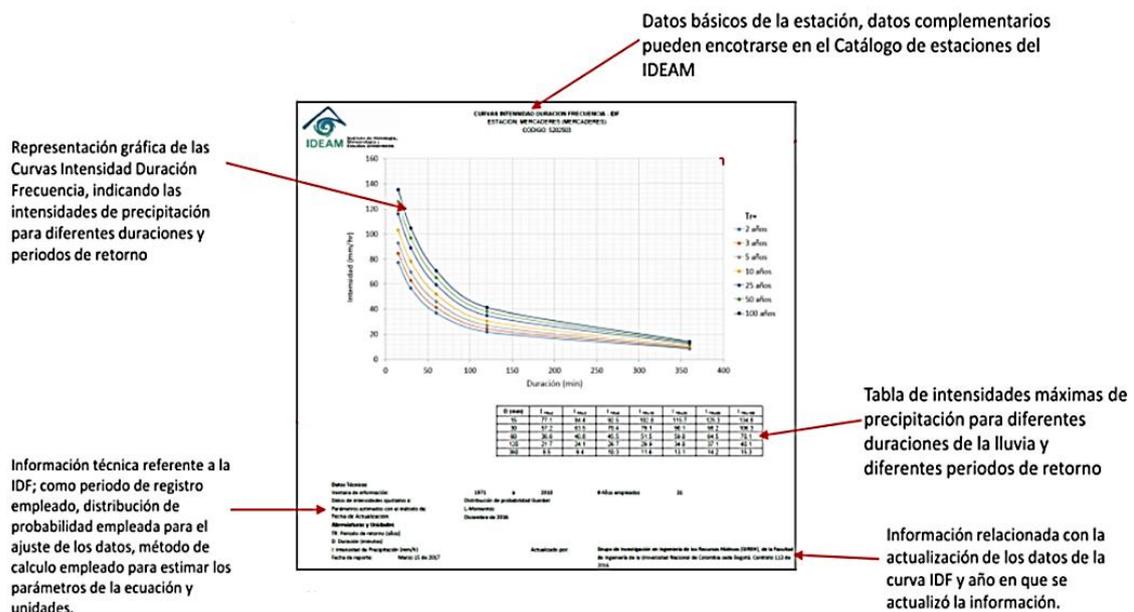


Figura 2: Contenido de una curva IDF

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales ([IDEAM], 2014)

3.5.3.2 Identificación de los meses que presentan valores hidrometeorológicos extremos

1. Para la identificación de los meses que presentan valores hidrometeorológicos extremos, es preciso recurrir a la información extraída de los resúmenes mensuales del período estudiado.
2. Se tomaron todos los datos pluviométricos mensuales y se procedió a obtener la media aritmética, ecuación 17 y la desviación estándar, ecuación 18.
3. Una vez obtenida la media aritmética, como se muestra en el anexo 1, de cada mes, se identificó el mes con menor cantidad de precipitación, para así considerar desde el siguiente mes como el inicio del año hidrológico, como se muestra en el anexo 2.
4. Se procedió a determinar los valores extremos de las medias mensuales.
5. Se tomaron además los valores extremos mensuales de la serie histórica, para identificar históricamente en que año hubieron cantidades acumuladas de precipitación extremas.
6. Finalmente se calculó la desviación estándar entre las medias mensuales obtenidas para determinar el rango de variación de las precipitaciones medias mensuales del área de estudio.

3.5.3.3 Estimación de la Evapotranspiración (ET_o)

Se decidió aplicar la metodología empleada para la estimación de la ET_o propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO); las ecuaciones y cálculos que se emplearon en el presente proyecto de investigación son las que recomienda mencionado organismo internacional para obtener valores de ET_o con alto grado de exactitud reconocida por la comunidad científica. Para poder aplicar la ecuación propuesta por Penman-Monteith se reemplazó las variables que la conforman por valores obtenidos mediante mediciones realizadas en la estación meteorológica INAMHI de Puyo por los instrumentos meteorológicos y en el caso de no contar con los parámetros atmosféricos requeridos para la aplicación de la ecuación como menciona FAO (2006) se procedió a calcularlos mediante el empleo de ecuaciones. Se obtuvo y finalmente se reemplazó las variables requeridas en la ecuación:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)} \quad (16)$$

Donde:	ET_0	evapotranspiración de referencia (mm.día ⁻¹)
	R_n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)
	G	flujo del calor de suelo (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)
	T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
	u_2	velocidad del viento a 2 m de altura (m.s ⁻¹)
	e_s	presión de vapor de saturación (kPa)
	e_a	presión real de vapor (kPa)
	$e_s - e_a$	déficit de presión de vapor (kPa)
	Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa.°C ⁻¹)
	γ	constante psicrométrica (kPa.°C ⁻¹)

Para la obtención del valor de las variables mencionadas en la ecuación anterior en algunos casos se obtuvieron otros parámetros atmosféricos como indica FAO (2006) que no forman parte de la ecuación de Penman-Monteith directamente; es así que se despejó las variables faltantes. Los valores mensuales de ET_0 se muestran en el anexo 3.

Constante Psicrométrica (γ)

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} \quad (19)$$

Donde:

γ	constante psicrométrica (kPa.°C ⁻¹)
C_p	calor específico a presión constante, $1,013 \times 10^{-3} \text{MJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$
P	presión atmosférica, obtenida de los resúmenes mensuales (kPa)
ϵ	cociente del peso molecular de vapor de agua / aire seco = 0,622
λ	calor latente de vaporización 2,45 (MJ.kg ⁻¹)

En el presente proyecto de investigación al reemplazar los valores como se muestra en el anexo 4 se obtuvo prácticamente el mismo valor para todos los meses.

Los resúmenes mensuales de presión atmosférica de la estación meteorológica Puyo se presentan en el anexo 5.

Calor latente de vaporización (λ)

Es la cantidad de energía necesaria para cambiar el estado físico de una masa de agua líquida a vapor de agua, con condiciones de temperatura (estándar 20°C) y presión constante. Como λ varía muy poco dentro de los límites de temperaturas normales, se considera un valor constante de 2,45 MJ.kg⁻¹.

Presión media de Vapor de Saturación (e_s)

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear las siguientes ecuaciones:

$$e^o(T_{m\acute{a}x}) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T_{m\acute{a}x}}{T_{m\acute{a}x}+237,3}\right) \quad (20)$$

$$e^o(T_{m\acute{i}n}) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T_{m\acute{i}n}}{T_{m\acute{i}n}+237,3}\right) \quad (21)$$

Luego, usando (20) y (21)
$$e_s = \frac{e^o(T_{m\acute{a}x})+e^o(T_{m\acute{i}n})}{2} \quad (22)$$

Donde:

e_s	presión media de vapor de saturación (kPa)
e^o	presión de saturación de vapor a la temperatura del aire (kPa)
$T_{m\acute{a}x}$	temperatura máxima mensual del aire (°C)
$T_{m\acute{i}n}$	temperatura mínima mensual del aire (°C)

Las temperaturas máximas y mínimas se encuentran en el anexo 6 y 7 respectivamente, los valores obtenidos de la aplicación de la ecuación están en el anexo 8.

Presión real de vapor (e_a) derivada de la temperatura del punto de rocío

La presión real de vapor es la presión de saturación de vapor a la temperatura del punto de rocío. Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$e_a = e^o(T_{roc\acute{i}o}) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T_{roc\acute{i}o}}{T_{roc\acute{i}o}+237,3}\right) \quad (23)$$

Donde:

e_a	presión real de vapor (kPa)
e^o	presión de saturación de vapor a la temperatura del aire (kPa)

$T_{\text{rocío}}$	temperatura del punto de rocío (°C)
$\exp(..)$	2,7183 (base del logaritmo natural elevado a la potencia (..))

Los valores mensuales de punto de rocío se muestran en el anexo 9, los valores obtenidos de la aplicación de la ecuación se muestran en el anexo 10.

Déficit de presión de vapor ($e_s - e_a$)

Es la diferencia existente entre la e_s y la e_a . Como la presión de vapor está directamente relacionada con la temperatura, la presión de vapor real que tiene relación con la temperatura del punto de rocío por definición es menor que la presión media de vapor de saturación. Ver valores en el anexo 11.

Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ)

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (24)$$

Donde:

Δ	pendiente de la curva de presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T (kPa °C ⁻¹)
T	temperatura del aire (°C)
$\exp(..)$	2,7183 (base del logaritmo natural elevado a la potencia (..))

Los valores obtenidos se muestran en el anexo 12.

Radiación neta (R_n)

La magnitud que hace referencia a radiación neta es la diferencia resultante entre la radiación neta de onda corta y la radiación neta de onda larga. En ausencia de mediciones de radiación en la estación meteorológica de Puyo, la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (25)$$

Donde:

R_n	radiación neta (MJ.m ⁻² .m ⁻¹)
R_{ns}	radiación neta de onda corta (MJ.m ⁻² .m ⁻¹)

R_{nl} radiación neta de onda larga ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{m}^{-1}$)

Los valores mensuales resultantes se muestran en el anexo 13.

Radiación extraterrestre (R_a)

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)] \quad (26)$$

Donde:

R_a radiación extraterrestre ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)
 G_{sc} constante solar = $0,082 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$
 d_r distancia relativa inversa Tierra-Sol
 ω_s ángulo de radiación a la puesta del sol (rad)
 φ latitud (rad)
 δ declinación solar (rad)

La cantidad de energía extraterrestre que incide sobre el extremo superior de la atmósfera la ciudad de Puyo se muestra en el anexo 14.

Para despejar las variables de los valores no conocidos, fue preciso obtener los siguientes parámetros:

Distancia relativa inversa Tierra-Sol (d_r)

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$d_r = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (27)$$

Donde:

d_r distancia relativa inversa Tierra-Sol
 J día juliano, ver anexo 15

Los valores varían de acuerdo al mes del año, esto debido al movimiento de traslación de la Tierra sobre su órbita eclíptica. El día juliano de referencia que se tomó para cálculos de valores mensuales es el 15avo de cada mes, tendremos por consiguiente que la distancia relativa inversa Tierra-Sol variará en función del día juliano, ver anexo 16.

Declinación solar (δ)

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$\delta = 0,409 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right) \quad (28)$$

Donde:

δ declinación solar (rad)

J día juliano

Los valores correspondientes a la declinación solar se encuentran en el anexo 17.

Ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol (ω_s)

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$\omega_s = \text{arcos}[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (29)$$

Donde:

ω_s ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol (rad)

φ latitud (rad)

δ declinación solar (rad)

En el anexo 18 se muestran los valores obtenidos de la aplicación de la ecuación.

Duración máxima de la insolación (N)

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (30)$$

Donde:

N duración máxima de la insolación (h)

ω_s ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol (rad)

Los valores obtenidos se muestran en el anexo 19.

Radiación solar (R_s)

El parámetro del que se dispone en la estación meteorológica Puyo relacionado con el parámetro radiación es de la duración de la insolación, más conocido como heliofanía. Se

empleó la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación, la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad (31)$$

Donde:

R_s	radiación solar o de onda corta ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)
n	duración real de la insolación (h)
N	duración máxima posible de la insolación (h)
n/N	duración relativa de la insolación
R_a	radiación extraterrestre ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)
a_s	constante de regresión, que expresa la fracción de radiación extraterrestre que llega a la Tierra en días muy nublados, como no se dispone de mediciones reales el valor de $a_s=0,25$
$a_s + b_s$	fracción de la radiación extraterrestre que llega a la Tierra en días despejados ($n=N$), el valor asignado a $b_s=0,50$

Los valores de heliofanía y los obtenidos de la aplicación de la ecuación se muestran en el anexo 20 y 21 respectivamente.

Radiación solar en un día despejado (R_{so})

Al no existir un registro de la radiación en la estación meteorológica de Puyo, la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$R_{so} = (0,75 + 2 * 10^{-5}z)R_a \quad (32)$$

Donde:

R_{so}	radiación solar en un día despejado ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)
z	elevación de la estación sobre el nivel del mar (m)

Los valores obtenidos se muestran en el anexo 22.

Radiación neta solar o de onda corta (R_{ns})

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (33)$$

Donde:

R_{ns}	radiación neta solar o de onda corta ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)
α	albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0,23 para el cultivo hipotético de referencia (adimensional)
R_s	radiación solar entrante

Los valores obtenidos se muestran en el anexo 23.

Radiación neta de onda larga (R_{nl})

Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (34)$$

Donde:

R_{nl}	radiación neta de onda larga ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)
σ	constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{MJ.K}^{-4}\text{m}^{-2}\text{día}^{-1}$)
$T_{\max,K}$	temperatura máxima absoluta durante un período de 24 horas ($\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,16$)
$T_{\min,K}$	temperatura mínima absoluta durante un período de 24 horas ($\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,16$)
e_a	presión de vapor real (kPa)
R_s/R_{so}	radiación relativa de onda corta ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)
R_s	radiación solar medida o calculada ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)
R_{so}	radiación en un día despejado ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)

Los valores obtenidos se muestran en el anexo 24.

Flujo del calor del suelo

El presente cálculo para períodos largos de tiempo, con base en que la temperatura del suelo tiene similar tendencia de la temperatura de aire. Para obtener esta variable la FAO (2006) recomienda emplear la siguiente ecuación:

$$G = 0,07(T_{\text{mes},i+1} - T_{\text{mes},i-1}) \quad (35)$$

Donde:

G	flujo del calor del suelo (MJ.m ⁻² .día ⁻¹)
T _{mes,i+1}	temperatura media del aire en el mes i+1 (°C)
T _{mes,i-1}	temperatura media del aire en el mes i-1 (°C)

Se asumió que el suelo tiene una capacidad calorífica constante de 2,1 MJ.m⁻³.°C⁻¹ y una profundidad media de suelo, que es de donde se obtuvo en la ecuación el valor de 0,07. Los valores correspondientes a este parámetro se muestran en el anexo 25.

Velocidad del viento (u₂)

Para la obtención de valores de esta variable fue necesario primero obtener la media aritmética de recorrido diario del viento.

Posteriormente se realizó la conversión de longitud de kilómetros a metros y la conversión de tiempo de día a segundo, posteriormente se empleó la siguiente ecuación:

$$u_2 = \frac{l}{24*3,6} \quad (36)$$

Donde:

u ₂	velocidad del viento (m.s ⁻¹)
l	longitud recorrida por el viento, promedio diario (Km)

Los valores de recorrido mensual y velocidad del viento se muestran en el anexo 26

3.5.3.4 Determinación del Balance Hídrico según Thornthwaite.

Para la obtención del balance hídrico según Thornthwaite se emplean dos parámetros meteorológicos: precipitación, obtenida de la estación meteorológica Puyo y ET_o obtenida de la estimación de la presente investigación desde los que se obtuvieron las variables que se emplearon para obtener el balance hídrico mensual y anual de Puyo.

- i. Inicialmente se obtuvo la media aritmética, ecuación 17, de cada mes de precipitación del período 1988-2017. Los valores promedio mensuales que se conocen también como normales climatológicas mensuales de precipitación de Puyo se presentan en el anexo 1.

- ii. Elaboración de la tabla del Balance Hídrico de Thornthwaite a partir de los valores promedios mensuales de precipitación y ET_o , de Puyo del período 1988 – 2017, la tabla se distribuye de la siguiente manera:

Encabezados de columnas: meses del año. Encabezados de fila: las variables que se emplean en el método de Thornthwaite.

Precipitación (P)

Conformada por las precipitaciones promedio mensuales del intervalo de tiempo especificado previamente.

Evapotranspiración potencial (ETP)

El método de Thornthwaite emplea la ET_o y la considera como evapotranspiración potencial. Entonces $ET_o = ETP$.

Diferencia entre inputs outputs (Dif)

El valor de agua disponible para el presente balance se da por la diferencia que existe entre precipitación y evapotranspiración potencial. Si $Dif < 0$ se establecería que se trata de un mes seco, si $Dif > 0$ se trataría de un mes húmedo.

$$Dif = P - ETP \quad (37)$$

Donde:	Dif	diferencia entre entrada y salida de agua (mm)
	P	precipitación (mm)
	ETP	evapotranspiración potencial (mm)

Reserva (R)

Como se obtuvo que $P > ETP$ que la diferencia entre inputs y outputs, pasa a llenar la reserva o capacidad de campo del suelo, Thornthwaite explica que existe una capacidad de campo máxima, como referencia climática el valor máximo de reserva es 100mm. Las igualdades condicionadas que se emplearon fueron las siguientes:

$$R_{i-1} + (P_i - ETP_i) > R_{m\acute{a}x} \rightarrow R_{m\acute{a}x} \quad (38)$$

$$0 > R_{i-1} + (P_i - ETP_i) \rightarrow 0 \quad (39)$$

$$0 < R_{i-1} + (P_i - ETP_i) < R_{m\acute{a}x} \rightarrow R_{i-1} + (P_i - ETP_i) \quad (40)$$

Donde:

$R_{\text{máx}}$	reserva máxima (mm)
R_i	reserva del mes (mm)
P_i	precipitación del mes (mm)
ETP_i	evapotranspiración del mes (mm)

Variación de la reserva (VR)

Es la diferencia encontrada entre la reserva del mes en el que se calcula y el anterior.

Se aplicó la siguiente ecuación:

$$VR_i = R_i - R_{i-1} \quad (41)$$

Donde:

VR_i	variación de la reserva (mm)
R_i	reserva del mes (mm)
R_{i-1}	reserva del mes anterior (mm)

Evapotranspiración real (ETR)

Como en todos los meses la diferencia entre inputs y outputs resultó positiva, por tanto no existe período seco, la precipitación en todos los meses fue superior a la demanda de la ETP, por lo tanto la igualdad empleada fue la siguiente:

$$ETR_i = ET_i \quad (42)$$

Donde:

ETR_i	evapotranspiración real del mes (mm)
ETP_i	evapotranspiración potencial del mes (mm)

Déficit hídrico (D)

Para determinar el valor del déficit hídrico se empleó la siguiente ecuación:

$$D = ETP_i - ETR_i \quad (43)$$

Donde:

D	Déficit hídrico (mm)
-----	----------------------

ETR _i	evapotranspiración real del mes (mm)
ETP _i	evapotranspiración potencial del mes (mm)

Superávit Hídrico (Sp)

Para calcular si existe superávit hídrico, existen dos condiciones, en función de las cuales el superávit hídrico se determinó, se consideraron las siguientes igualdades condicionadas para luego aplicar la ecuación que correspondía, que para el caso de estudio fue la primera:

$$P_i - ETP_i > 0 \rightarrow Sp_i = (P_i - ETP_i - VR_i) \quad (44)$$

$$P_i - ETP_i \leq 0 \rightarrow Sp_i = 0 \quad (45)$$

Donde:

Sp _i	superávit hídrico del mes calculado (mm)
P _i	precipitación del mes calculado (mm)
ETP _i	evapotranspiración potencial del mes calculado (mm)
VR _i	variación de la reserva del mes calculado (mm)

Escorrentía (Es)

Thornthwaite propuso que el 50% del superávit hídrico de un mes se escurre hacia cuerpos de agua como ríos, riachuelos, lagos, etc., durante el mes en cuestión.

Se empleó la siguiente ecuación:

$$Es_i = 0,5 * (Es_{i-1} + Sp_i) \quad (46)$$

Donde:

Es _i	escorrentía del mes calculado (mm)
Es _{i-1}	escorrentía del mes anterior (mm)
Sp _i	superávit hídrico del mes calculado (mm)

Para el valor de Es_{i-1} del primer mes se tomó el valor de Es_i del último mes del año.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1 PERIODOS DE RETORNO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS Y CURVAS IDF

Precipitaciones Máximas

- En la Tabla 1 se presenta las precipitaciones máximas de los últimos 30 años registrados por la estación meteorológica Puyo.

Tabla 1.

Precipitaciones máximas del período 1987-2017 de Puyo (mm)

N° de Datos	Horas Años	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h
1	1987	40,5	65,6	90,7	104,0	121,4	146,8	161,2
2	1988	46,1	65,0	98,1	109,9	122,5	123,8	160,1
3	1989	37,5	66,0	88,9	123,7	126,6	128,7	158,6
4	1990	60,5	91,6	98,2	98,4	101,1	109,7	177,7
5	1991	68,9	82,8	93,5	99,3	101,3	123,5	148,2
6	1992	46,3	69,5	130,3	157,6	162,0	165,1	165,2
7	1993	33,2	56,6	67,7	69,6	69,6	72,0	89,0
8	1994	43,5	56,7	64,2	77,9	83,7	96,8	105,0
9	1995	36,9	50,3	77,1	77,4	79,5	93,2	130,0
10	1996	39,4	58,1	85,7	104,1	113,0	118,1	140,7
11	1998	46,7	80,5	121,7	134,5	141,9	145,3	147,7
12	1999	46,5	59,4	82,3	88,0	91,0	97,4	107,0
13	2000	38,0	56,6	70,8	103,9	120,2	129,5	136,1
14	2001	54,0	81,9	120,9	129,9	131,7	132,6	136,9
15	2002	41,5	59,3	60,5	67,4	67,6	91,3	113,0
16	2003	52,1	81,8	113,4	113,9	121,0	122,0	136,2
17	2004	61,6	76,6	78,2	91,6	101,9	121,3	133,5
18	2005	75,0	94,8	98,5	99,6	99,7	112,9	174,6
19	2006	59,0	72,6	78,5	78,5	82,1	100,6	117,9
20	2007	63,7	89,5	138,7	150,9	151,7	163,7	163,7
21	2008	68,0	89,8	105,6	108,6	116,3	119,4	123,0
22	2009	63,0	95,5	136,5	149,3	150,0	150,4	151,8
23	2010	53,7	81,7	115,1	120,3	121,9	128,3	140,5
24	2011	65,7	94,1	103,3	103,8	125,8	133,8	159,8
25	2012	50,9	64,4	76,0	84,3	86,2	88,7	119,1
26	2013	43,8	73,2	94,2	110,5	116,7	116,8	129,9
27	2014	55,6	77,3	104,9	115,8	122,4	127,4	130,8
28	2015	40,7	48,7	65,1	69,1	70,9	96,6	111,7
29	2016	49,7	82,1	94,1	97,4	120,1	129,8	151,2
30	2017	50,5	65,7	74,9	90,2	131,3	151,4	154,2

Fuente: elaboración propia

Se trabajó con períodos de duración de 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24 horas, los eventos con mayor relevancia se dieron en los años de 1991, 2011 y 2007. Los registros de 1997 no se los utilizaron debido a la ausencia de esta información en la base de datos de la estación meteorológica Puyo. La Tabla 2 da a conocer las intensidades de las precipitaciones

Tabla 2.

Intensidades de precipitación de Puyo en el período 1987-2017 (mm/h)

N° de Datos	Horas	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h
	Años							
1	1987	40,5	32,8	22,7	17,3	15,2	12,2	6,7
2	1988	46,1	32,5	24,5	18,3	15,3	10,3	6,7
3	1989	37,5	33,0	22,2	20,6	15,8	10,7	6,6
4	1990	60,5	45,8	24,6	16,4	12,6	9,1	7,4
5	1991	68,9	41,4	23,4	16,6	12,7	10,3	6,2
6	1992	46,3	34,8	32,6	26,3	20,3	13,8	6,9
7	1993	33,2	28,3	16,9	11,6	8,7	6,0	3,7
8	1994	43,5	28,4	16,1	13,0	10,5	8,1	4,4
9	1995	36,9	25,2	19,3	12,9	9,9	7,8	5,4
10	1996	39,4	29,1	21,4	17,4	14,1	9,8	5,9
11	1998	46,7	40,3	30,4	22,4	17,7	12,1	6,2
12	1999	46,5	29,7	20,6	14,7	11,4	8,1	4,5
13	2000	38,0	28,3	17,7	17,3	15,0	10,8	5,7
14	2001	54,0	41,0	30,2	21,7	16,5	11,1	5,7
15	2002	41,5	29,7	15,1	11,2	8,5	7,6	4,7
16	2003	52,1	40,9	28,4	19,0	15,1	10,2	5,7
17	2004	61,6	38,3	19,6	15,3	12,7	10,1	5,6
18	2005	75,0	47,4	24,6	16,6	12,5	9,4	7,3
19	2006	59,0	36,3	19,6	13,1	10,3	8,4	4,9
20	2007	63,7	44,8	34,7	25,2	19,0	13,6	6,8
21	2008	68,0	44,9	26,4	18,1	14,5	10,0	5,1
22	2009	63,0	47,8	34,1	24,9	18,8	12,5	6,3
23	2010	53,7	40,9	28,8	20,1	15,2	10,7	5,9
24	2011	65,7	47,1	25,8	17,3	15,7	11,2	6,7
25	2012	50,9	32,2	19,0	14,1	10,8	7,4	5,0
26	2013	43,8	36,6	23,6	18,4	14,6	9,7	5,4
27	2014	55,6	38,7	26,2	19,3	15,3	10,6	5,5
28	2015	40,7	24,4	16,3	11,5	8,9	8,1	4,7
29	2016	49,7	41,1	23,5	16,2	15,0	10,8	6,3
30	2017	50,5	32,9	18,7	15,0	16,4	12,6	6,4
Media Aritmética		51,08	36,46	23,56	17,39	13,96	10,10	5,80
Desviación Estándar		11,01	6,97	5,42	3,99	3,12	1,89	0,92

Fuente: elaboración propia

Estadígrafos de posición y dispersión de la muestra, y parámetros de las funciones

A partir de los registros históricos, se calcularon los estadígrafos, con el propósito de resumir la información que contiene la muestra. Para indicar la tendencia central de los valores y darnos una idea de la magnitud de los valores de precipitación se calculó la media que es un estadígrafo de posición, para indicar la dispersión con respecto a la media se calculó el estadígrafo de posición de la desviación estándar, estas dos variables se las cálculo para cada intervalo de duración. A continuación en la Tabla 3 se presentan todos los parámetros de dispersión, posición y demás variables necesarias que se requirieron para la función de distribución de probabilidad de Gumbel.

Tabla 3.

Parámetros de dispersión, posición para la función de distribución de probabilidad de Gumbel.

T	Dx	k	yT	α	μ	yn	Sn
2	-1,68	-0,15	0,37	0,10	45,78	0,54	1,11
3	3,63	0,33	0,90				
4	7,02	0,64	1,25				
5	9,54	0,87	1,50				
6	11,54	1,05	1,70				
7	13,20	1,20	1,87				
8	14,62	1,33	2,01				
9	15,86	1,44	2,14				
10	16,96	1,54	2,25				
11	17,96	1,63	2,35				
12	18,86	1,71	2,44				
13	19,68	1,79	2,53				
14	20,45	1,86	2,60				
15	21,16	1,92	2,67				
16	21,82	1,98	2,74				
17	22,43	2,04	2,80				
18	23,02	2,09	2,86				
19	23,57	2,14	2,92				
20	24,09	2,19	2,97				
21	24,58	2,23	3,02				
22	25,06	2,28	3,07				
23	25,51	2,32	3,11				
24	25,94	2,36	3,16				
25	26,35	2,39	3,20				
26	26,74	2,43	3,24				
27	27,13	2,46	3,28				
28	27,49	2,50	3,31				
29	27,85	2,53	3,35				
30	28,19	2,56	3,38				

Fuente: elaboración propia

Probabilidad de Precipitaciones Máximas para Distintos Periodos de Retorno

En la Tabla 4 se representan los valores probables de precipitaciones, asociadas a periodos de retorno de (2-30 años), para periodos de duración de 1,2,4,6,8,12,24 horas, la cuantificación de estos datos fueron realizados con el objetivo de determinar la variación de las precipitaciones a lo largo del tiempo.

Tabla 4.

Valor máximo de precipitación para períodos de retorno (mm/h)

Período de Retorno T	Valor máximo de precipitaciones para un período de retorno T X (mm/h)							Probabilidad de Excedencia f(x)	Probabilidad de no Excedencia F(x)
	Años	1 Hora	2 Hora	4 Hora	6 Hora	8 Hora	12 Hora		
2	49,4	35,4	22,8	16,8	13,5	9,8	5,7	50,00	50,00
3	54,7	38,7	25,3	18,7	15,0	10,7	6,1	33,33	66,67
4	58,1	40,8	27,0	19,9	15,9	11,3	6,4	25,00	75,00
5	60,6	42,4	28,2	20,8	16,6	11,7	6,6	20,00	80,00
6	62,6	43,6	29,1	21,5	17,2	12,0	6,7	16,67	83,33
7	64,3	44,7	29,9	22,1	17,6	12,3	6,9	14,29	85,71
8	65,7	45,6	30,6	22,6	18,0	12,6	7,0	12,50	87,50
9	66,9	46,3	31,2	23,0	18,4	12,8	7,1	11,11	88,89
10	68,0	47,0	31,8	23,4	18,7	13,0	7,2	10,00	90,00
11	69,0	47,6	32,2	23,8	19,0	13,1	7,3	9,09	90,91
12	69,9	48,2	32,7	24,1	19,2	13,3	7,3	8,33	91,67
13	70,8	48,7	33,1	24,4	19,4	13,4	7,4	7,69	92,31
14	71,5	49,2	33,5	24,7	19,7	13,6	7,5	7,14	92,86
15	72,2	49,6	33,8	24,9	19,9	13,7	7,5	6,67	93,33
16	72,9	50,0	34,1	25,2	20,0	13,8	7,6	6,25	93,75
17	73,5	50,4	34,4	25,4	20,2	13,9	7,6	5,88	94,12
18	74,1	50,8	34,7	25,6	20,4	14,0	7,7	5,56	94,44
19	74,7	51,1	35,0	25,8	20,5	14,1	7,7	5,26	94,74
20	75,2	51,5	35,2	26,0	20,7	14,2	7,8	5,00	95,00
21	75,7	51,8	35,5	26,1	20,8	14,3	7,8	4,76	95,24
22	76,1	52,1	35,7	26,3	20,9	14,3	7,8	4,55	95,45
23	76,6	52,3	35,9	26,5	21,1	14,4	7,9	4,35	95,65
24	77,0	52,6	36,1	26,6	21,2	14,5	7,9	4,17	95,83
25	77,4	52,9	36,3	26,8	21,3	14,5	8,0	4,00	96,00
26	77,8	53,1	36,5	26,9	21,4	14,6	8,0	3,85	96,15
27	78,2	53,3	36,7	27,0	21,5	14,7	8,0	3,70	96,30
28	78,6	53,6	36,9	27,2	21,6	14,7	8,0	3,57	96,43
29	78,9	53,8	37,0	27,3	21,7	14,8	8,1	3,45	96,55
30	79,3	54,0	37,2	27,4	21,8	14,9	8,1	3,33	96,67

Fuente: elaboración propia

Se observó una tendencia progresiva de la intensidad de precipitación para cada período de retorno en los intervalos de duración. Para ilustrar el comportamiento de los valores máximos en los diferentes períodos de retorno se hará referencia al comportamiento de las precipitaciones máximas a 1 hora en los períodos de retorno de 2 y 30 años; se observa para un período de retorno de 2 años el valor máximo a presentarse es de 49.4 mm/h con una probabilidad de excedencia de 50%, por otro lado para un período de retorno de 30 años el valor máximo a presentarse es de 79.3 mm/h con una probabilidad de 3.33% de que se supere el valor estimado. Se deduce además que la diferencia entre el 100 % y la probabilidad de excedencia dará como resultado la probabilidad de no excedencia de los valores máximos previstos para cada período de retorno.

Curvas IDF

Con los valores de intensidad máximos calculados en la Tabla 4 se procede a generar las curvas IDF para cada período de retorno.

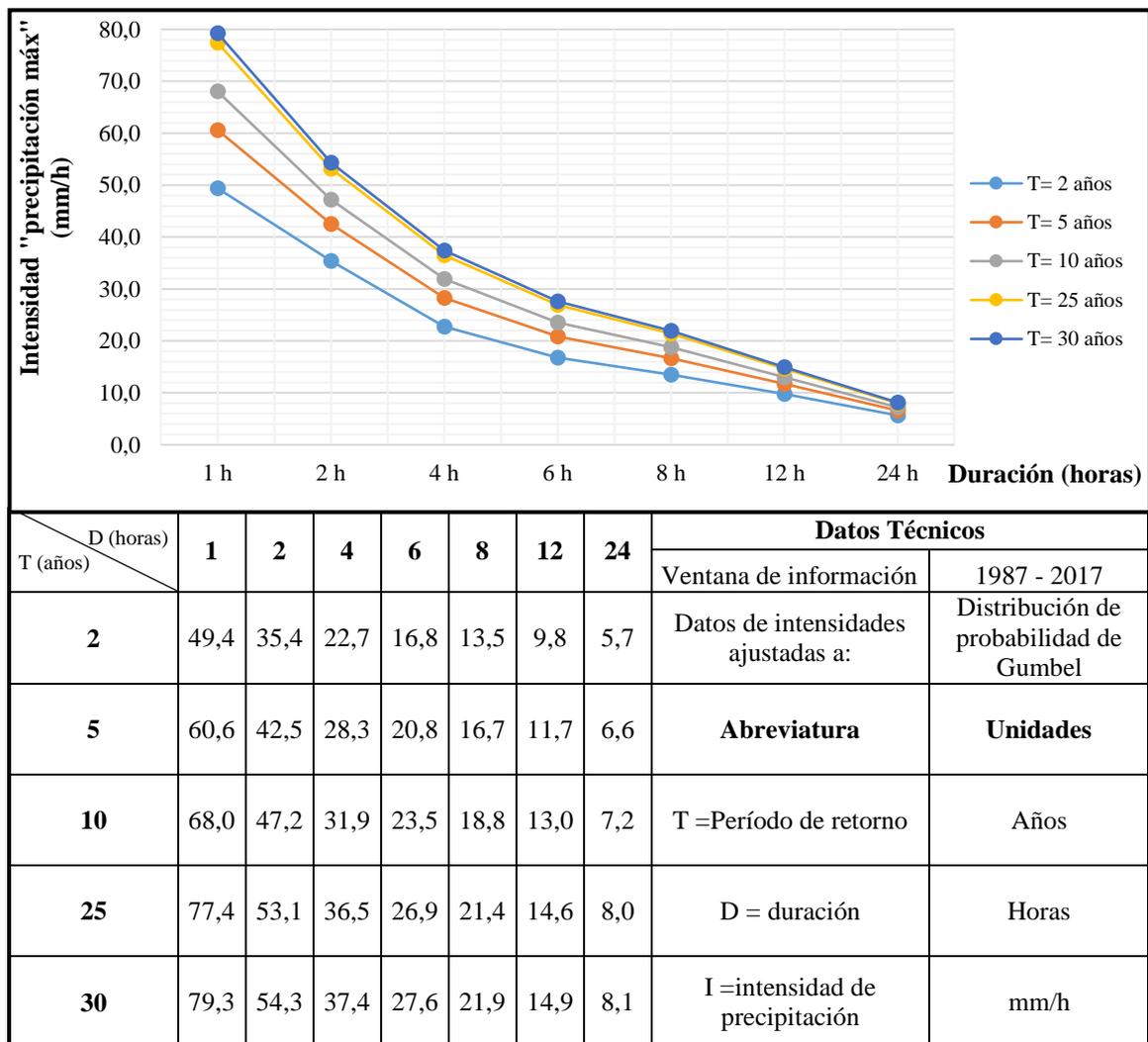


Figura 3. Curvas IDF de la estación meteorológica Puyo (mm/h)

Fuente: elaboración propia

4.1.2 MESES QUE PRESENTAN VALORES HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS

- Las normales mensuales de precipitación de la ciudad de Puyo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Normales Climatológicas de Precipitación de Puyo (mm) del período 1988 – 2017

	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
\bar{X}	313,0	397,1	386,0	361,7	351,2	357,6	404,4	488,5	468,3	459,1	364,3	288,7
σ	94,7	104,8	97,6	102,5	124,4	110,5	102,4	103,0	125,3	143,9	101,9	90,9

Fuente: elaboración propia

- En la Figura 4 se observan las normales mensuales en orden cronológico en función del año hidrológico:

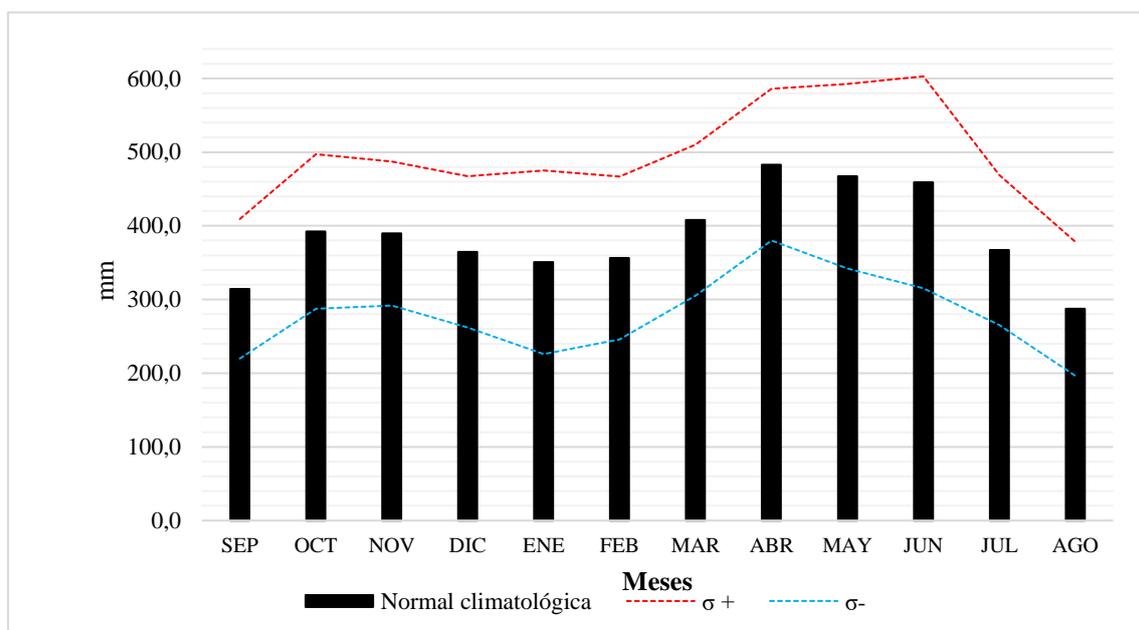


Figura 4. Normales Climatológicas de Precipitación de Puyo (mm) del período 1988 – 2017

Fuente: elaboración propia

- Meses que presentan normales climatológicas que tienen mayor y menor precipitación:

MÁXIMOS

- Abril
- Mayo
- Junio

MÍNIMOS

- Agosto
- Septiembre
- Enero

- El valor medio de la desviación estándar de todos los meses es 108,5 mm, siendo los siguientes los meses con mayor y menor desviación de sus respectivas medias:

MÁXIMOS

1. Junio
2. Mayo
3. Enero

MÍNIMOS

1. Agosto
2. Septiembre
3. Noviembre

- La normal climatológica anual de precipitación es de 4640,0 mm.
- El valor medio de la desviación estándar de precipitación anual es de 358,3 mm.

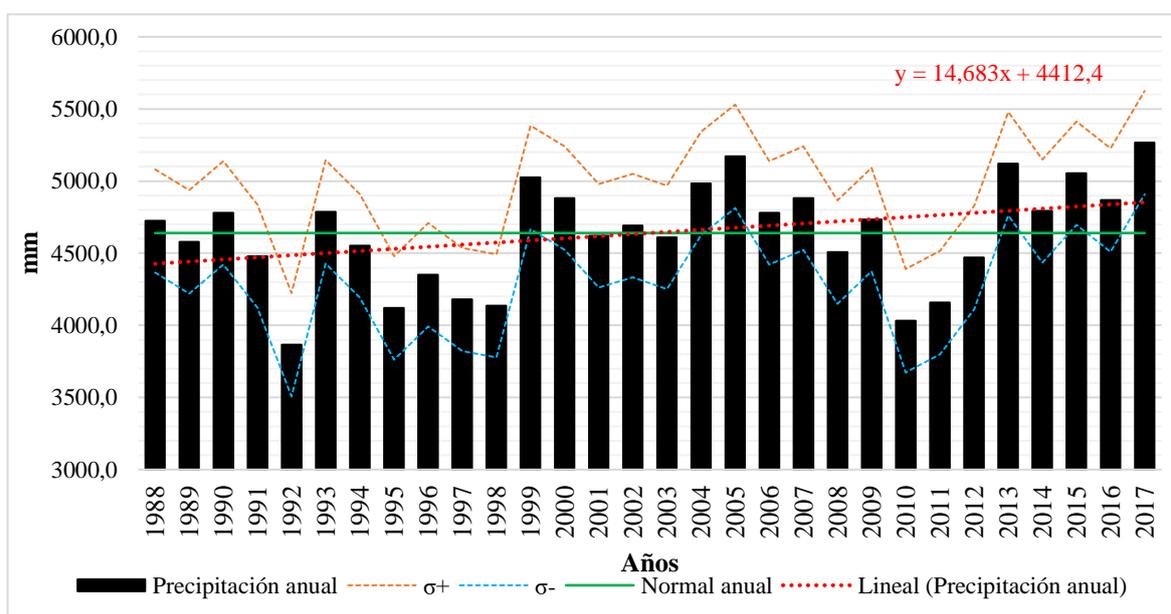


Figura 5. Precipitación anual de Puyo del período 1988-2017 (mm)

Fuente: elaboración propia

- La tendencia que se observa en el comportamiento anual de precipitación es ascendente, como se observa en la Figura 5, al reemplazar el valor de $x = 30$ años, obtiene el valor anual lineal de tendencia ascendente que es 440,5 mm. Es decir, ahora llueve 440,5 mm más que hace 30 años.
- En la serie histórica que se consideró en el presente proyecto de investigación se presentaron valores extremos, a continuación se exponen los mismos:

Tabla 6.

Valores históricos extremos de precipitación de Puyo (mm) del período 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Máx	721,7	570,8	583,7	739,5	782,3	834,7	624,8	464,7	488,7	584,5	642,7	599,7
Año	2017	1988	1993	2015	2000	1991	2002	2013	2006	2001	2004	1999
Mín	181,6	144,7	242,6	254,1	268,7	205,0	210,4	114,7	115,0	192,9	208,8	86,8
Año	1998	2004	2001	1995	2006	2011	1997	1991	1998	1995	2001	1989

Fuente: elaboración propia

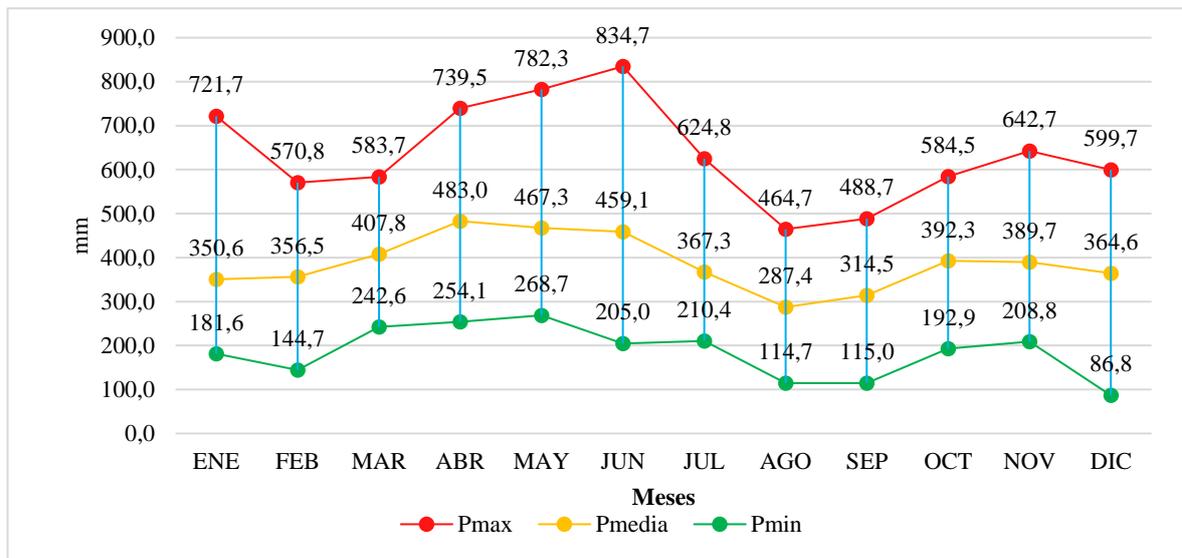


Figura 6. Precipitaciones (mm) mensuales extremas del período 1988-2017

Fuente: elaboración propia

4.1.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN

- Las normales climatológicas mensuales de ET_0 son los siguientes:

Tabla 7.

ET_0 mensuales de la ciudad de Puyo (mm)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Σ ANUAL
\bar{X}	105,2	96,3	106,1	102,5	99,6	91,6	97,9	111,2	117,4	121,8	111,0	105,9	1266,5
σ	6,9	5,1	5,0	4,5	4,4	4,4	4,4	5,1	5,5	4,2	4,1	5,3	26,5

Fuente: elaboración propia

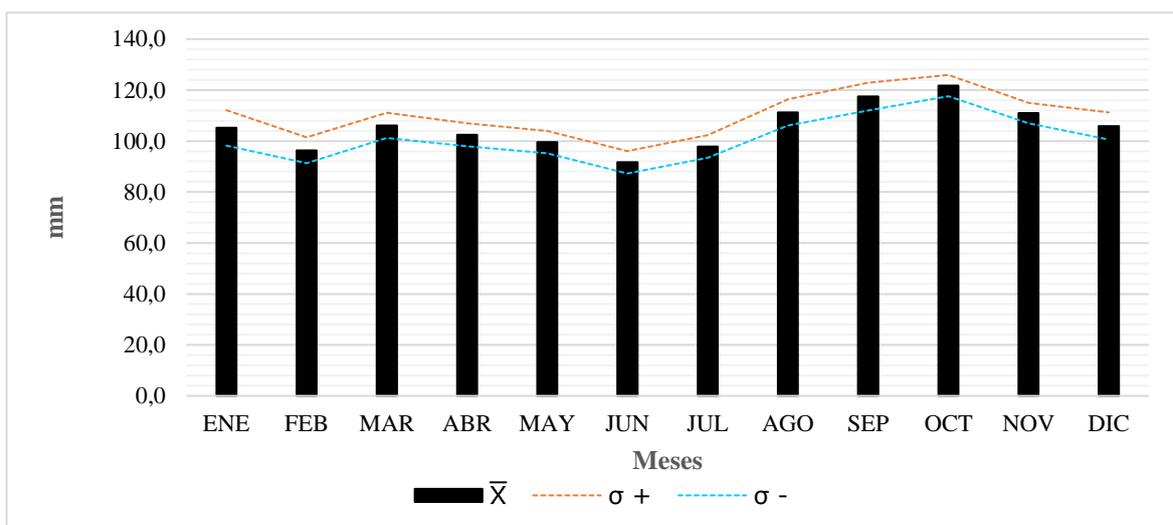


Figura 7. ET₀ mensuales de la ciudad de Puyo (mm) período 1988-2017

Fuente: elaboración propia

- Los meses con más altas ET₀ son: octubre, septiembre y agosto.
- Los meses con más bajas ET₀ son: junio, febrero y julio.
- La media mensual anual es 105,5 mm.
- El valor medio de la desviación estándar es 4,9 mm.
- Al dividir la cantidad mensual de ET₀ para el número de días de cada mes se obtuvieron los valores normales diarios de ET₀:

Tabla 8:

ET₀ diaria de la ciudad de Puyo (mm)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
\bar{X}	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	3,1	3,2	3,6	3,9	3,9	3,7	3,4
σ	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2

Fuente: elaboración propia

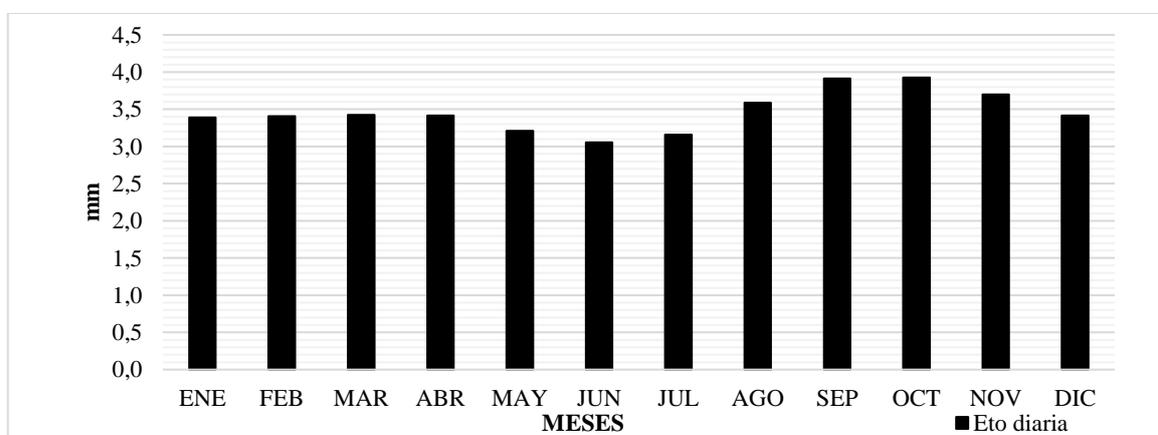


Figura 8. ET₀ diaria de la ciudad de Puyo (mm)

Fuente: elaboración propia

- Los meses cuyos días presentan valores más altos de ET_o son: septiembre, octubre y noviembre.
- Los meses cuyos días presentan valores más bajos de ET_o son: junio, mayo y julio.
- El valor medio de la desviación estándar diario en cada uno de los meses es de 0,2 mm.
- El valor medio anual de ET_o es: 1266,5 mm.
 - La desviación estándar anual es 26,5 mm.

4.1.4 BALANCE HÍDRICO

- El balance hídrico para Puyo es el siguiente:

Tabla 9.

Balance Hídrico de la Ciudad de Puyo (mm) del período 1988 – 2017

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
P	351	357	408	483	467	459	367	287	314	392	390	365	4640
ETP	105	96	106	102	100	92	98	111	117	122	111	106	1266
Dif	245	260	302	381	368	367	269	176	197	271	279	259	3373
R	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1200
VR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETR	105	96	106	102	100	92	98	111	117	122	111	106	1266
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sp	245	260	302	381	368	367	269	176	197	271	279	259	3373
Es	255	258	280	330	349	358	314	245	221	246	262	260	3377
PAD	245%	260%	302%	381%	368%	367%	269%	176%	197%	271%	279%	259%	
IBH	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

P: precipitación; ETP: evapotranspiración potencial; Dif: diferencia entre P y ETP; R: Reserva; VR: variación de la reserva; ETR: evapotranspiración real; D: déficit; Sp: superávit; Es: escorrentía; PAD: porcentaje de agua disponible; IBH: índice de bienestar hídrico.

Fuente: elaboración propia.

Precipitación

- Los 3 meses con mayor precipitación son: abril, mayo y junio.
- Los 3 meses con menor precipitación son: agosto, septiembre y enero.

Diferencia entre inputs y outputs

- Los 3 meses con mayor diferencia entre inputs y outputs son: abril, mayo y junio.

- Los 3 meses con menor diferencia entre inputs y outputs son: agosto, septiembre y enero.

Reserva del suelo

- La reserva del suelo durante todo el año permanece a su capacidad máxima: 100 mm.

Condición hídrica

- Durante todos los meses del año existió superávit hídrico, ver figura 9.
- Los 3 meses con mayor superávit son: abril, mayo y junio.
- Los 3 meses con menor superávit son: agosto, septiembre y enero.

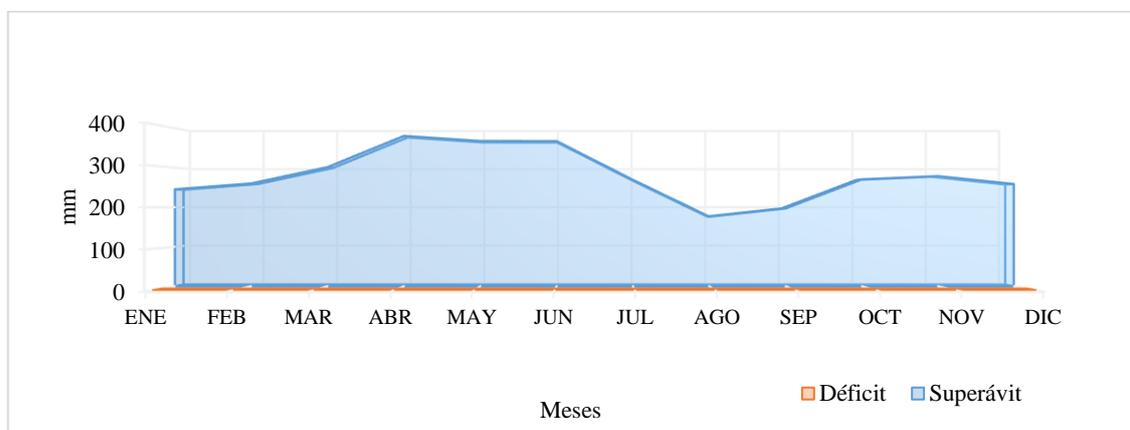


Figura 9: Condición hídrica de Puyo

Fuente: elaboración propia

Escorrentía

- Los 3 meses con mayor presencia de escorrentía son: junio, mayo y abril.
- Los 3 meses con menor presencia de escorrentía son: septiembre, agosto y octubre.

Porcentaje de agua disponible (PAD)

- Los 3 mayores y 3 menores valores de PAD coinciden con los meses de superávit hídrico.

Índice de bienestar hídrico

- El índice de bienestar hídrico para todos los meses del año es del 100%, por la existencia de superávit hídrico.

4.2.DISCUSIÓN

4.2.1 PERIODOS DE RETORNO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS Y CURVAS IDF

Representatividad de los datos

La representatividad de datos es uno de los parámetros a mencionar, el presente estudio para el desarrollo de los objetivos, determinación de períodos de retorno para precipitaciones que excedan valores mayores a los normales y el establecimiento de las curva IDF, posee como base de información el registro de las precipitaciones de 31 años (1987-2017) mismas que fueron procesadas y obtenidas de la estación meteorológica Puyo. Sin embargo se trabajó con una serie de registro de 30 años debido a la ausencia de información del año de 1997. No obstante, se puede considerar que la información con la que se ha trabajado cumple con los requerimientos para representar de manera importante los eventos climatológicos de la zona de estudio.

Linsley, Kohler, & Paulus (1977) expresan que la estimación de datos faltantes de precipitación se la realiza en base a la información de tres estaciones situadas en las cercanías de la estación cuyo registro no existe. La decisión de trabajar con datos reales, es decir sin completar registros estadísticos, se la tomo por la carencia de estaciones cercanas a la estación de estudio.

La alta variabilidad de datos

La variabilidad de los datos hace mención a las características de la información utilizada. La alta variabilidad existente en la información base nos da una idea somera de la variabilidad de los resultados. La variabilidad de las precipitaciones a lo largo de los años estudiados se puede observar en la figura 4:

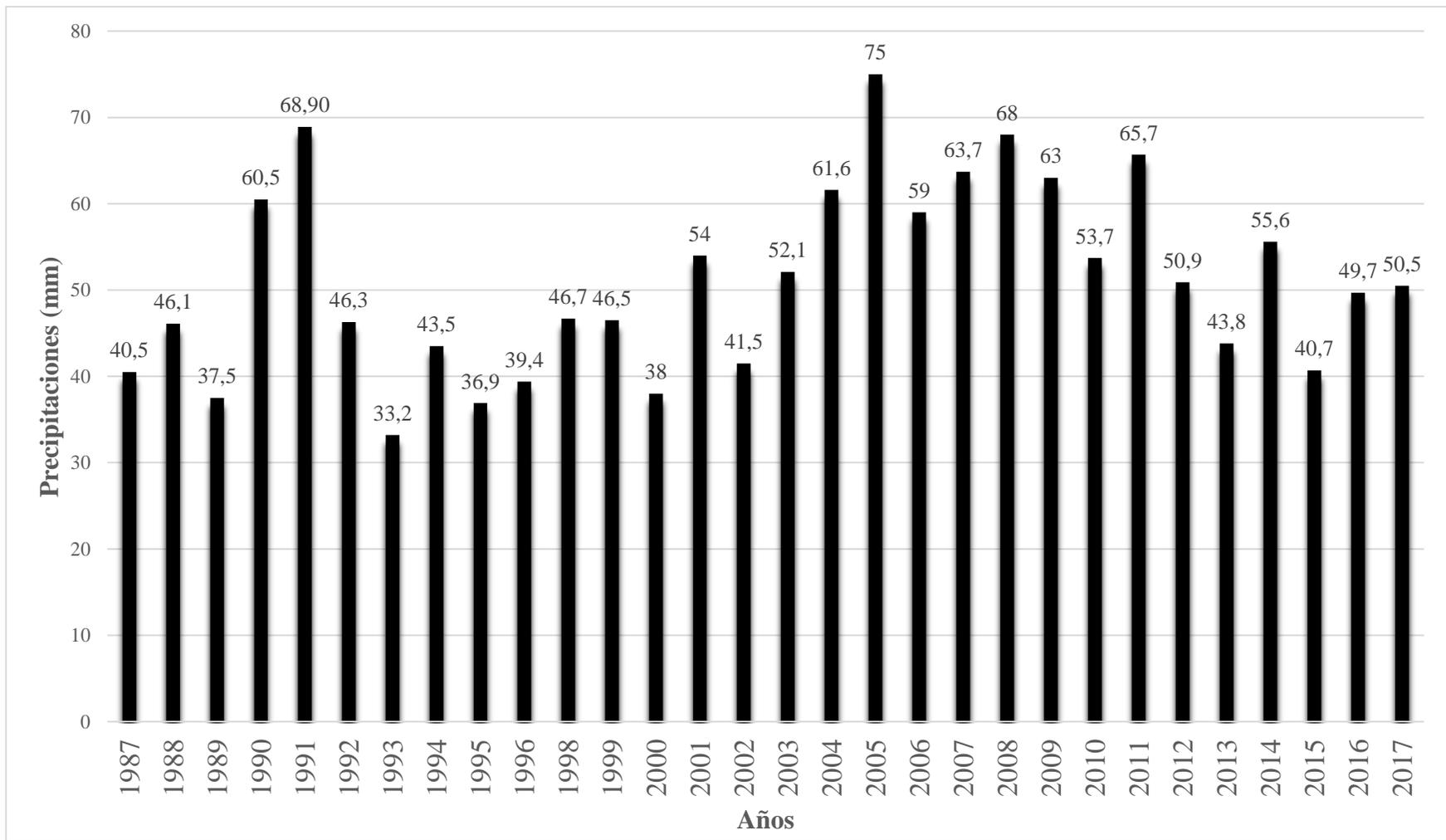


Figura 10. Precipitaciones máximas (mm) de Puyo del período de duración de 1 hora del período 1987-2017

Fuente: elaboración propia

Hay que tener presente que los datos de la figura 4 no muestran el comportamiento anual de las precipitaciones, son eventos únicos que se dieron a lo largo de cada año, siendo así el suceso del 2005 como el valor superlativo de la muestra a estudiar, el evento de precipitación máxima que se dio en el año de 1993 es el de menor valor comparado con los demás eventos de la muestra.

Análisis de los resultados de las probabilidades de precipitación máximas para distintos periodos de retorno y curvas IDF.

Comparando una de las proyecciones de periodos de retorno y curvas IDF de las estaciones hidrológicas, en cualquiera de las estudiadas por Aguilera (2007) con las proyecciones de periodos de retorno y curvas IDF del presente proyecto de investigación tenemos que las condiciones climatológicas son diferentes, las primeras corresponden a un clima templado de tipo mediterráneo cuyo régimen de precipitaciones es un tercio del régimen pluviométrico de Puyo, cuyo clima es tropical húmedo; a pesar de poseer condiciones atmosféricas diferentes, se evidencia que el comportamiento de los periodos de retorno y curvas IDF siguen los mismos patrones.

4.2.2 MESES QUE PRESENTAN VALORES HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS

- El mes de junio es el mes que mayor precipitación registra considerando los valores extremos del período estudiado, así mismo es el mes que en su normal climatológica presenta mayor variación.
- El mes de enero presenta características contradictorias considerando la normal climatológica, es el tercer mes con menos precipitación y el tercer mes con mayor desviación estándar de la serie histórica; la normal de enero es de las más bajas, pero puede presentar variaciones considerables.
- Las precipitaciones extremas mensuales favorecen la lixiviación natural del suelo en superficies que han sufrido pérdida de cobertura vegetal además de favorecer movimientos e inestabilidad edáfica como menciona Pourrut (1986) para el eje de Puyo, Baeza, Lago Agrio y Coca.
- Se halla una similitud en la cantidad de precipitación anual media entre Puyo y la región natural de Amazonia en Colombia, cuya característica en común es que son espacios ubicados al piedemonte oriental de la Cordillera de los Andes presentando valores que oscilan entre 4000 mm y 5000 mm Pabón, Eslava, & Gómez (2001),

considerando que la media anual obtenida en Puyo es de 4640 mm la similitud es evidente.

4.2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN

- La ET_o anual de Puyo (1266,5 mm) es inferior a la obtenida por Marengo (1982), que menciona que el ecosistema Bosque Húmedo Tropical de la Amazonía, en cuya clasificación y estudio incluye a la estación meteorológica Tiputini, presenta valores de ET_o que varían entre 1300 y 1500 mm anuales, en la misma publicación también menciona que la ET_o de ese tipo de ecosistemas es superior a la ET_o de un campo de cultivo, debido a que tiene mayor radiación neta por la menor cantidad de radiación reflejada o de onda larga que posee un Bosque Húmedo Tropical de la Amazonía, principalmente causado por la mayor captación de radiación de onda corta por parte de la cobertura boscosa. Podemos inferir que Puyo al ser un ecosistema alterado y cuyos usos de suelo son variados en función de las actividades antrópicas existe mayor cantidad de radiación de onda larga, es decir mayor cantidad de radiación reflejada hacia la atmósfera, que conduce a una menor cantidad de radiación neta y por tanto menos energía disponible para el proceso de evapotranspiración y en Puyo, al igual que regiones amazónicas que presentan bajas velocidades de viento y alta humedad, posicionan a la radiación neta como la variable que más aporta a la ET_o .

4.2.4 BALANCE HÍDRICO

- Según Lozada & Sentelhas (2003) el balance hídrico climático subestima eventos en los que la precipitación mensual presenta valores de excesos y déficits comparándolo con el balance hídrico secuencial, considerando que la precipitación es la variable que presenta mayor variabilidad interanual en las condiciones tropicales. Esta subestimación se debe a que el balance hídrico climático constituye una media temporal.
- Con la información obtenida del balance hídrico Ruiz, et al. (2012) afirma que es posible determinar el índice de humedad propuesto también por Thornthwaite en 1948, índice que permite la clasificación climática propuesta por el autor en función de la humedad disponible en una localidad.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La función de distribución de Gumbel, es la más adecuada para ajustarse a estudios probabilísticos de precipitaciones máximas dirigidos a la obtención de valores probables de esa variable, en distintos periodos de retorno.
- El presente estudio pretende analizar los patrones de conducta de las precipitaciones, con la finalidad poder contar con una herramienta, que ayude al diseño de obras hidráulicas, proyectos de reforestación, estimación de índices relacionados a la erosión del suelo, programación de programas fitosanitarios, al desempeño de una adecuada gestión de los recursos hídricos por nombrar lo usos más frecuentes. Los patrones de conducta se refiere a la intensidad de las precipitaciones en periodos retorno determinado.
- A mayor longitud de la muestra, mejor será el ajuste estadístico y los resultados se tornaran mucho más confiables.
- Los resultados obtenidos dan a conocer los patrones de conducta meteorológicos que se generan en un radio de 10 km alrededor de la estación meteorológica Puyo.
- Es necesario tener en consideración en qué meses es probable que ocurran precipitaciones mensuales extremas que favorezcan fenómenos edáficos que incidan en el uso de suelos de nuestra localidad, para anticipar acciones mediante planificación oportuna.
- La estimación de la ET_o de Puyo fue posible gracias a la disponibilidad de información meteorológica requerida por el método de Penman – Monteith.
- Contar con tasas de evapotranspiración potencial permite obtener tasas de evapotranspiración de coberturas vegetales y cultivos mediante correlación con sus coeficientes de naturaleza fisiológica y dinámica.
- Al estimar el balance hídrico climático se contribuye con un insumo para determinaciones de índices de erosión del suelo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para la realización de estudios con características similares se recomienda la utilización de la función de distribución de Gumbel por su rapidez y facilidad de cálculo.
- Se sugiere actualizar los estudios en intervalos de 10 años, con el propósito de ampliar la serie de datos para poder determinar de forma más eficiente el comportamiento de las precipitaciones en la ciudad de Puyo.
- Por la carencia de estudios de esta índole en el país, es recomendable realizarlo en todas las regiones del Ecuador, abarcando todas las estaciones meteorológicas públicas y privadas.
- Es necesario actualizar la estimación de ET_o con mediciones reales de radiación solar, para reducir la incertidumbre existente al calcular la radiación neta que en zonas tropicales y húmedas es el principal factor que influye en la ET_o .
- Para una determinación del balance hídrico más precisa como menciona Lozada et al. (2003) se recomienda hacer una comparación con la estimación del balance hídrico secuencial.
- Optimizar el almacenamiento de información histórica llevada a cabo por la institución rectora de meteorología e hidrología, para disminuir posibles sesgos.

CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M. A. (2007). Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule. *Trabajo de grado. Universidad de Talca. Facultad deficiencias forestales. Escuela de ingeniería forestal*, 154 págs. Talca, Maule, Chile. Recuperado el 20 de noviembre de 2018
- Aparicio, J. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Balderas, México: Limusa. Recuperado el 20 de noviembre de 2018
- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2003). *Atmosphere Weather and Climate*. Londres, Inglaterra: Routledge. Recuperado el 11 de diciembre de 2018
- Camiroaga, M. (2008). Analisis comparativo del comportamiento de los caudales punta en las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins y Metropolitana. *Trabajo de grado. Universidad de Talca. Escuela de Agronomía*, 177 págs. Chile. Recuperado el 20 de noviembre de 2018
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, Perú. Recuperado el 12 de diciembre de 2018
- Chow, V. (1994). *Estadística en hidrología aplicada*. Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill Interamericana. Recuperado el 05 de diciembre de 2018
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Manual de Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. Recuperado el 05 de diciembre de 2018
- Claro Rizo, F. (09 de 2006). Índice de Disponibilidad Hídrica (IDH): Metodología de Cálculo y Aplicación en Colombia. *Nota Técnica del IDEAM*, 54. Recuperado el 10 de diciembre de 2018, de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020086/IDH_metodologia.pdf
- Cleves, J., Toro, J., & Martínez, L. (14 de 05 de 2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 151. doi:<http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>

- Darba, J. (2006). La utilización de métodos probabilísticos para la evaluación económica de tecnologías sanitarias. *Gaceta Sanitaria*, 20 vol, págs. 74-77.
- FAO. (1996). Ecología y enseñanza rural. *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. Roma, Roma, Italia: FAO. Recuperado el 05 de diciembre de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s05.htm>
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimiento de agua en los cultivos. *Estudio FAO de Riego y Drenaje*, 298. Roma, Italia: FAO Roma (Italia). Recuperado el 25 de septiembre de 2018, de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- González, J. (29 de 11 de 2013). *Introducción a la Meteorología y a la Climatología*. (INAMHI, Intérprete) Sala de Conferencias del INAMHI, Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 05 de 12 de 2018, de https://issuu.com/maritzaaguirre/docs/introducci__n_met-clima
- González, W. (2014). Comparación de los Modelos Estándar y Wenzel en Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. *Tesis de Pregrado*. Guatemala. Recuperado el 03 de 04 de 2018
- Gorgas, J., Cardiel, N., & Zamorano, J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias*. Madrid, España.
- Guevara, J. (2006). La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo. *Terra Nueva Etapa*, 37-43.
- Heuveland, J., Pardo, J., Quirós, S., & Espinoza, L. (1986). *Agroclimatología Tropical*. Universidad Estatal a Distancia.
- Higuera, A., & Casas, J. (1977). *Compendio de Geografía General*. Madrid, Madrid, España: RIALP Madrid. Recuperado el 04 de 12 de 2018
- IDEAM. (2014). *IDEAM*. Recuperado el 05 de diciembre de 2018, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: www.ideam.gov.co
- INAMHI. (2011). *Manual de Observaciones Meteorológicas*. Quito, Pichincha, Ecuador: INAMHI. Recuperado el 05 de diciembre de 2018, de https://issuu.com/inamhi/docs/instrumentos_met/21

- INUMET. (2013). Metodología de Cálculo del Balance Hídrico. Uruguay. Recuperado el 05 de diciembre de 2018
- Linsley, R., Kohler, M., & Paulus, J. (1977). *Hidrología para ingenieros* (Segunda ed.). Bogota, Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana.
- Lozada, B., & Sentelhas, P. (2003). Relaciones entre deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir de los balances hídricos normal y secuencial. *Bioagro*, 15(3), 209-216. Recuperado el 2018 de diciembre de 29, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000300008&lng=es&tlng=es.
- Marengo, J. (1982). Estimación de la evapotranspiración en el bosque húmedo tropical de la Amazonía. (CEDINFOR, Ed.) *Revista Forestal del Perú*, 11(1-2). Obtenido de [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol11_no1-2_82-83_\(15\)/vol11_art6.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol11_no1-2_82-83_(15)/vol11_art6.pdf)
- Martínez, E. (2005). *Hidrología Práctica* (Segunda ed.). Madrid: Rugarte S. L. Recuperado el 03 de 04 de 2018
- Martínez, Y., & Villalejo, V. (enero-abril de 2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), 58-72. Recuperado el 31 de diciembre de 2018, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100005&lng=es&tlng=es
- OMM. (1981). *Selection of Distribution Types for Extremes of Precipitation*. (J. Maldonado, Trad.) Génova, Suiza. Recuperado el 03 de octubre de 2018
- OMM. (1993). *Manual de observación de nubes y otros meteoros* (Vol. I). Ginebra, Suiza: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. Recuperado el 03 de diciembre de 2018
- OMM. (2008a). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. (J. Maldonado, Trad.) Génova, Suiza: Chairperson, Publications Board. Recuperado el 03 de diciembre de 2018

- OMM. (2008b). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos* (2010 ed.). (AEMET, Ed., & AEMET, Trad.) Génova, Suiza: OMM. Recuperado el 05 de octubre de 2018, de https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8-2014_es.pdf
- OMM. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Génova, Suiza: OMM. Recuperado el 05 de diciembre de 2018
- OMM. (1 de junio de 2015). *Organización Meteorológica Mundial*. Recuperado el 05 de diciembre de 2018, de <https://public.wmo.int/es/media/news/nuevo-enfoque-de-dos-niveles-para-las-%E2%80%9Cnormales-climatol%C3%B3gicas%E2%80%9D>
- Pabón, J., Eslava, J., & Gómez, R. (10 de 2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana*(4), 47-59. Recuperado el 29 de 12 de 2018, de http://www.farmacia.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_23/file/05%20Pabon%20Eslava.pdf
- Palacios, D. (02 de 04 de 2018). Referencias sobre la recolección de pluviosidad. (J. Maldonado, Entrevistador)
- Pizarro, R., & Novoa, P. (1986). *Elementos técnicos de Hidrología I*. Instructivos técnicos, Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal (CONAF), La Serena, Chile.
- Pizarro, R., Flores, J., Sangüesa, C., & Martínez, E. (2003). MÓDULO 1 Leyes de Distribución de Procesos Hidrológicos. *Frecuencia. Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos LTDA*.
- Pizarro, R., Flores, J., Sangüesa, C., & Martínez, E. (2003). Módulo 2 Curvas Intensidad Duración Frecuencia. *Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos LTDA*.
- Pourrut, P. (1986). Papel de las precipitaciones en la degradación de los suelos: Impacto de las lluvias excepcionales del período 1982-1983. *Centro Ecuatoriano de Investigaciones Científicas Geográficas*. Obtenido de http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/23661.pdf

- Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, División de Ciencias del Agua, UNESCO. Perugia, Italia: División de Ciencias del Agua, UNESCO. Recuperado el 31 de diciembre de 2018, de <https://www.onu.org.ar/stuff/Agua-2018.pdf>
- Ruiz, O., Arteaga, R., Vázquez, M., Ontiveros, R., & López, R. (abril de 2012). Balance Hídrico y Clasificación Climática del Estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 1-14. Recuperado el 11 de diciembre de 2018, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v28n1/v28n1a1.pdf>
- Sánchez, J. (Junio de 2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Salamanca, España: CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (15 de 11 de 2007). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. (R. Garduño, Editor) Recuperado el 11 de diciembre de 2018, de ¿Qué es el efecto invernadero?: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/437/rene.html>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (3 de noviembre de 2016). *Gestión de Riesgos*. Recuperado el 10 de diciembre de 2018, de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/coe-provincial-coordina-con-gad-de-puyo-y-pastaza-atencion-para-afectados-por-inundaciones/>
- SENAGUA. (2009). *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador*. Quito: SENAGUA. Recuperado el 03 de diciembre de 2018, de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/delimitacion-codificacion-Ecuador.pdf>
- SENAMHI. (2011). Balance Hídrico Superficial. *Cartilla Técnica*, 44 págs. (Z. I. Goicochea Novoa, Ed.) Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima. Recuperado el 05 de 12 de 2018, de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf

Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). The Water Balance. *Publications in Climatology*, VIII(1), 101. Recuperado el 11 de 12 de 2018, de <https://oregondigital.org/downloads/oregondigital:df70pr001>

Tiempo. (24 de julio de 2017). Una región del Amazonas genera su propia temporada de lluvias. *Revista RAM*. Recuperado el 05 de diciembre de 2018, de <https://www.tiempo.com/ram/352832/una-region-del-amazonas-genera-temporada-lluvias/>

Torregrosa, V. (2014). *Diccionario etimológico de meteorología y ciencias afines*.

CAPÍTULO VII ANEXOS

Anexo 1.

Valores de Yn y Sn de Gumbel

Valores de "yn" y "Sn" para distintos periodos de retorno.								
Nº Datos	yn	Sn	Nº Datos	yn	Sn	Nº Datos	yn	Sn
1	0,367	0,000	35	0,540	1,128	69	0,555	1,184
2	0,404	0,498	36	0,541	1,131	70	0,555	1,185
3	0,429	0,643	37	0,542	1,134	71	0,555	1,186
4	0,446	0,731	38	0,542	1,137	72	0,555	1,187
5	0,459	0,793	39	0,543	1,139	73	0,555	1,188
6	0,469	0,839	40	0,544	1,141	74	0,556	1,189
7	0,477	0,875	41	0,544	1,144	75	0,556	1,190
8	0,484	0,904	42	0,545	1,146	76	0,556	1,191
9	0,490	0,929	43	0,545	1,148	77	0,556	1,191
10	0,495	0,950	44	0,546	1,150	78	0,557	1,192
11	0,500	0,968	45	0,546	1,152	79	0,557	1,193
12	0,504	0,983	46	0,547	1,154	80	0,557	1,194
13	0,507	0,997	47	0,547	1,156	81	0,557	1,195
14	0,510	1,009	48	0,548	1,157	82	0,557	1,195
15	0,513	1,021	49	0,548	1,159	83	0,557	1,196
16	0,515	1,031	50	0,549	1,161	84	0,558	1,197
17	0,518	1,040	51	0,549	1,162	85	0,558	1,197
18	0,520	1,048	52	0,549	1,164	86	0,558	1,198
19	0,522	1,056	53	0,550	1,165	87	0,558	1,199
20	0,524	1,063	54	0,550	1,167	88	0,558	1,199
21	0,525	1,069	55	0,550	1,168	89	0,558	1,200
22	0,527	1,075	56	0,551	1,170	90	0,559	1,201
23	0,528	1,081	57	0,551	1,171	91	0,559	1,201
24	0,530	1,086	58	0,551	1,172	92	0,559	1,202
25	0,531	1,091	59	0,552	1,173	93	0,559	1,203
26	0,532	1,096	60	0,552	1,175	94	0,559	1,203
27	0,533	1,101	61	0,552	1,176	95	0,559	1,204
28	0,534	1,105	62	0,553	1,177	96	0,559	1,204
29	0,535	1,109	63	0,553	1,178	97	0,560	1,205
30	0,536	1,112	64	0,553	1,179	98	0,560	1,205
31	0,537	1,116	65	0,554	1,180	99	0,560	1,206
32	0,538	1,119	66	0,554	1,181	100	0,560	1,206
33	0,539	1,122	67	0,554	1,182	101	0,560	1,207
34	0,540	1,126	68	0,554	1,183			

Fuente: Universidad Politécnica de Madrid, Open Course Ware.

Anexo 2.

Precipitación (mm) mensual de Puyo, período 1988-2017. Medias aritméticas, máximas y mínimas mensuales

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1988	213,3	570,8	319,5	428,5	563,6	439,7	312,6	191,9	336,0	578,3	435,1	334,4	4723,7
1989	359,0	436,1	480,0	393,6	445,4	829,2	354,1	264,6	216,3	374,0	339,2	86,8	4578,3
1990	330,1	493,6	376,4	470,2	296,7	597,2	407,8	262,9	394,2	460,6	343,9	346,1	4779,7
1991	324,6	284,1	336,2	516,6	477,2	834,7	269,3	114,7	358,0	350,4	316,7	297,4	4479,9
1992	303,8	327,9	272,3	393,2	306,4	275,8	294,4	350,9	332,2	295,8	394,1	318,6	3865,4
1993	436,5	272,9	583,7	364,9	561,2	395,5	534,0	428,4	307,7	253,8	326,2	321,1	4785,9
1994	263,8	256,9	476,6	405,8	575,1	338,6	290,7	290,9	337,9	518,8	374,7	423,0	4552,8
1995	222,5	205,2	484,9	254,1	522,7	375,0	578,4	230,3	343,2	192,9	369,2	341,3	4119,7
1996	395,9	277,1	274,0	451,1	382,3	490,4	295,8	182,5	386,9	518,1	387,5	308,6	4350,2
1997	305,0	516,2	393,4	398,6	490,1	307,5	210,4	277,3	380,3	217,7	388,8	293,8	4179,1
1998	181,6	232,8	316,2	727,1	509,8	502,5	334,2	239,3	115,0	456,8	297,0	222,6	4134,9
1999	476,3	334,8	300,3	496,6	464,0	465,1	347,9	328,2	444,1	379,7	388,9	599,7	5025,6
2000	333,1	250,5	324,5	497,4	782,3	634,8	442,4	353,6	277,5	328,7	362,2	294,0	4881,0
2001	257,8	400,5	242,6	489,4	426,2	495,7	449,3	227,0	385,7	584,5	208,8	453,8	4621,3
2002	319,2	367,2	443,5	494,6	351,1	392,2	624,8	335,4	269,7	388,3	330,0	375,8	4691,8
2003	346,9	280,7	371,0	562,1	529,7	454,7	363,4	230,3	335,7	275,3	398,1	461,8	4609,7
2004	246,4	144,7	440,7	408,6	738,7	432,4	347,1	255,3	398,6	522,3	642,7	405,9	4983,4
2005	395,9	557,3	431,2	552,1	384,9	595,1	276,7	202,2	261,5	332,0	635,6	546,8	5171,3
2006	334,3	463,7	391,2	572,0	268,7	349,1	221,1	389,6	488,7	478,0	323,8	500,6	4780,8
2007	360,7	167,0	453,0	555,0	518,3	499,1	280,5	436,8	182,3	387,5	582,6	458,5	4881,3
2008	255,7	381,0	248,4	430,4	574,0	432,2	452,5	368,4	361,1	346,1	362,1	295,1	4507,0
2009	660,7	369,1	275,8	560,2	350,0	462,0	331,3	385,2	283,7	483,5	241,0	331,6	4734,1
2010	252,7	370,0	384,3	461,0	625,9	340,8	358,2	125,4	145,0	244,4	292,8	430,7	4031,2
2011	409,2	423,3	409,2	452,7	307,5	205,0	342,9	148,8	221,2	383,2	491,0	364,8	4158,8
2012	433,9	482,5	567,6	383,8	339,5	389,5	372,7	300,5	125,8	406,5	389,1	278,9	4470,3
2013	255,8	374,3	524,1	474,6	404,8	508,8	498,4	464,7	366,5	493,7	421,6	332,9	5120,2
2014	465,5	348,2	525,7	492,9	397,3	288,2	373,9	321,0	354,0	479,2	373,5	372,8	4792,2
2015	464,1	300,2	471,2	739,5	471,1	338,2	485,1	358,3	215,7	362,7	410,4	438,0	5054,5
2016	190,7	469,0	539,4	646,3	564,1	568,7	259,1	238,5	424,4	300,9	419,0	247,9	4868,0
2017	721,7	338,3	575,9	417,1	389,0	533,9	308,6	320,3	386,0	376,2	445,2	454,2	5266,4
\bar{X}	350,6	356,5	407,8	483,0	467,3	459,1	367,3	287,4	314,5	392,3	389,7	364,6	350,6
MÁX	721,7	570,8	583,7	739,5	782,3	834,7	624,8	464,7	488,7	584,5	642,7	599,7	5266,4
MÍN	181,6	144,7	242,6	254,1	268,7	205,0	210,4	114,7	115,0	192,9	208,8	86,8	3865,4
σ	124,4	110,5	102,4	103,0	125,3	143,9	101,9	90,9	94,7	104,8	97,7	102,5	358,3

Fuente: INAMHI.

Anexo 3.

Precipitación (mm) mensual de Puyo, período 1988-2017, de acuerdo al inicio del año hidrológico. Medias aritméticas, máximas y mínimas mensuales

	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	ANUAL
1988	336,0	578,3	435,1	334,4	213,3	570,8	319,5	428,5	563,6	439,7	312,6	191,9	4723,7
1989	216,3	374,0	339,2	86,8	359,0	436,1	480,0	393,6	445,4	829,2	354,1	264,6	4578,3
1990	394,2	460,6	343,9	346,1	330,1	493,6	376,4	470,2	296,7	597,2	407,8	262,9	4779,7
1991	358,0	350,4	316,7	297,4	324,6	284,1	336,2	516,6	477,2	834,7	269,3	114,7	4479,9
1992	332,2	295,8	394,1	318,6	303,8	327,9	272,3	393,2	306,4	275,8	294,4	350,9	3865,4
1993	307,7	253,8	326,2	321,1	436,5	272,9	583,7	364,9	561,2	395,5	534,0	428,4	4785,9
1994	337,9	518,8	374,7	423,0	263,8	256,9	476,6	405,8	575,1	338,6	290,7	290,9	4552,8
1995	343,2	192,9	369,2	341,3	222,5	205,2	484,9	254,1	522,7	375,0	578,4	230,3	4119,7
1996	386,9	518,1	387,5	308,6	395,9	277,1	274,0	451,1	382,3	490,4	295,8	182,5	4350,2
1997	380,3	217,7	388,8	293,8	305,0	516,2	393,4	398,6	490,1	307,5	210,4	277,3	4179,1
1998	115,0	456,8	297,0	222,6	181,6	232,8	316,2	727,1	509,8	502,5	334,2	239,3	4134,9
1999	444,1	379,7	388,9	599,7	476,3	334,8	300,3	496,6	464,0	465,1	347,9	328,2	5025,6
2000	277,5	328,7	362,2	294,0	333,1	250,5	324,5	497,4	782,3	634,8	442,4	353,6	4881,0
2001	385,7	584,5	208,8	453,8	257,8	400,5	242,6	489,4	426,2	495,7	449,3	227,0	4621,3
2002	269,7	388,3	330,0	375,8	319,2	367,2	443,5	494,6	351,1	392,2	624,8	335,4	4691,8
2003	335,7	275,3	398,1	461,8	346,9	280,7	371,0	562,1	529,7	454,7	363,4	230,3	4609,7
2004	398,6	522,3	642,7	405,9	246,4	144,7	440,7	408,6	738,7	432,4	347,1	255,3	4983,4
2005	261,5	332,0	635,6	546,8	395,9	557,3	431,2	552,1	384,9	595,1	276,7	202,2	5171,3
2006	488,7	478,0	323,8	500,6	334,3	463,7	391,2	572,0	268,7	349,1	221,1	389,6	4780,8
2007	182,3	387,5	582,6	458,5	360,7	167,0	453,0	555,0	518,3	499,1	280,5	436,8	4881,3
2008	361,1	346,1	362,1	295,1	255,7	381,0	248,4	430,4	574,0	432,2	452,5	368,4	4507,0
2009	283,7	483,5	241,0	331,6	660,7	369,1	275,8	560,2	350,0	462,0	331,3	385,2	4734,1
2010	145,0	244,4	292,8	430,7	252,7	370,0	384,3	461,0	625,9	340,8	358,2	125,4	4031,2
2011	221,2	383,2	491,0	364,8	409,2	423,3	409,2	452,7	307,5	205,0	342,9	148,8	4158,8
2012	125,8	406,5	389,1	278,9	433,9	482,5	567,6	383,8	339,5	389,5	372,7	300,5	4470,3
2013	366,5	493,7	421,6	332,9	255,8	374,3	524,1	474,6	404,8	508,8	498,4	464,7	5120,2
2014	354,0	479,2	373,5	372,8	465,5	348,2	525,7	492,9	397,3	288,2	373,9	321,0	4792,2
2015	215,7	362,7	410,4	438,0	464,1	300,2	471,2	739,5	471,1	338,2	485,1	358,3	5054,5
2016	424,4	300,9	419,0	247,9	190,7	469,0	539,4	646,3	564,1	568,7	259,1	238,5	4868,0
2017	386,0	376,2	445,2	454,2	721,7	338,3	575,9	417,1	389,0	533,9	308,6	320,3	5266,4
\bar{X}	314,5	392,3	389,7	364,6	350,6	356,5	407,8	483,0	467,3	459,1	367,3	287,4	4640,0
MÁX	488,7	584,5	642,7	599,7	721,7	570,8	583,7	739,5	782,3	834,7	624,8	464,7	5266,4
MÍN	115,0	192,9	208,8	86,8	181,6	144,7	242,6	254,1	268,7	205,0	210,4	114,7	3865,4
σ	94,7	104,8	97,6	102,5	124,4	110,5	102,4	103,0	125,3	143,9	101,9	90,9	358,3

Fuente: INAMHI.

Anexo 4.

ET_o (mm) mensual de Puyo período, 1988-2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1988	95,4	95,5	97,9	101,5	92,9	85,7	92,8	105,2	112,7	121,2	102,5	102,4	1205,8
1989	93,5	91,5	106,0	96,0	96,2	87,4	93,0	110,1	118,3	122,3	115,2	118,8	1248,4
1990	111,0	96,0	107,8	103,5	98,8	86,1	98,3	108,9	119,3	123,7	106,5	105,0	1264,9
1991	107,8	100,8	106,7	102,1	101,6	97,8	92,8	104,2	114,4	123,3	110,8	104,5	1266,8
1992	118,7	101,0	105,9	103,7	105,3	94,1	104,6	110,4	116,9	119,1	113,4	103,1	1296,1
1993	106,7	98,5	108,1	104,9	106,8	94,0	104,8	118,0	112,9	114,0	108,8	104,8	1282,3
1994	106,7	91,1	101,0	97,4	94,4	93,1	102,9	109,7	110,3	121,0	109,3	105,4	1242,2
1995	104,5	106,8	110,0	95,7	99,3	91,0	104,4	115,8	121,6	121,0	111,4	109,4	1290,8
1996	97,3	100,1	103,2	106,7	98,9	91,2	101,7	111,0	123,6	120,2	121,1	111,5	1286,6
1997	110,1	94,2	104,7	101,5	92,1	97,0	98,6	111,6	114,7	126,6	102,9	100,4	1254,4
1998	105,2	98,7	105,1	101,3	96,3	88,1	92,5	112,4	123,1	122,2	110,6	114,0	1269,6
1999	103,3	97,4	119,3	100,6	99,5	93,6	97,2	109,6	111,4	109,9	109,2	99,4	1250,5
2000	98,0	88,9	106,0	109,7	102,3	92,1	100,2	107,8	116,7	122,3	111,3	105,4	1260,7
2001	106,6	93,1	111,5	102,3	105,3	94,2	95,6	101,6	117,9	121,3	109,8	108,8	1268,1
2002	112,0	93,3	100,3	99,4	94,1	89,6	88,1	106,1	118,1	114,8	105,3	90,6	1211,7
2003	94,3	90,8	104,8	104,1	90,6	86,1	93,6	103,0	110,2	121,4	113,9	100,9	1213,7
2004	113,7	101,7	103,0	105,4	104,3	88,0	93,5	113,2	109,6	123,6	113,7	108,8	1278,5
2005	116,4	96,2	102,6	94,6	100,5	91,4	103,2	114,4	120,5	117,2	110,0	108,6	1275,4
2006	104,8	93,0	109,0	103,8	100,0	90,8	99,7	112,9	124,7	125,7	111,6	103,7	1279,8
2007	97,6	108,2	108,3	103,1	104,5	82,6	104,0	111,0	113,7	118,2	112,8	104,4	1268,6
2008	100,7	99,0	107,1	101,9	93,7	89,2	92,3	109,2	117,1	122,1	109,6	105,2	1247,1
2009	96,9	89,4	104,0	96,7	106,2	91,6	99,3	111,2	125,8	126,9	112,4	104,6	1265,0
2010	114,1	102,5	116,4	106,7	101,8	87,5	99,8	105,9	126,6	125,4	109,7	105,6	1301,9
2011	112,3	93,7	111,0	110,2	97,1	92,7	93,7	117,0	116,7	124,6	117,1	105,8	1292,0
2012	103,0	94,0	107,2	108,3	99,6	102,6	99,3	120,4	119,1	124,1	111,2	107,7	1296,5
2013	99,9	88,7	98,1	98,3	99,9	95,8	99,4	106,5	110,9	126,3	114,8	109,7	1248,0
2014	104,0	90,5	96,6	101,2	103,1	92,8	98,5	112,6	118,2	119,2	109,1	104,3	1250,0
2015	98,4	95,3	105,9	97,9	97,4	90,0	96,1	116,4	129,3	130,8	116,2	106,7	1280,4
2016	111,8	100,3	106,2	113,8	102,4	92,9	95,5	118,4	108,1	122,1	105,2	101,1	1277,6
2017	110,0	99,5	110,8	102,1	101,9	100,1	100,7	122,5	120,8	122,1	113,7	116,1	1320,3
X̄	105,2	96,3	106,1	102,5	99,6	91,6	97,9	111,2	117,4	121,8	111,0	105,9	1266,5
MÁX	118,7	108,2	119,3	113,8	106,8	102,6	104,8	122,5	129,3	130,8	121,1	118,8	1320,3
MÍN	93,5	88,7	96,6	94,6	90,6	82,6	88,1	101,6	108,1	109,9	102,5	90,6	1205,8
σ	6,9	5,1	5,0	4,5	4,4	4,4	4,4	5,1	5,5	4,2	4,1	5,3	26,5

Fuente: elaboración propia.

Anexo 5.

Constante psicométrica mensual de la estación Puyo, período 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	0,0603	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0605	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
1989	0,0602	0,0602	0,0602	0,0602	0,0604	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0603	0,0601	0,0602
1990	0,0602	0,0602	0,0603	0,0602	0,0603	0,0604	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
1991	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0605	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602
1992	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0602	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602
1993	0,0602	0,0602	0,0603	0,0602	0,0603	0,0604	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602
1994	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
1995	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0604	0,0603	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
1996	0,0602	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0604	0,0605	0,0604	0,0603	0,0602	0,0601	0,0602
1997	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
1998	0,0602	0,0603	0,0602	0,0603	0,0604	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602
1999	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602
2000	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0601	0,0602
2001	0,0603	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0605	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
2002	0,0603	0,0602	0,0603	0,0602	0,0603	0,0604	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0603	0,0603
2003	0,0603	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
2004	0,0602	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0604	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
2005	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0601	0,0602
2006	0,0602	0,0602	0,0602	0,0602	0,0604	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
2007	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
2008	0,0602	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602
2009	0,0603	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0602	0,0601	0,0602
2010	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0604	0,0602	0,0602	0,0601	0,0601
2011	0,0601	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0603	0,0603	0,0602	0,0601	0,0602
2012	0,0602	0,0602	0,0603	0,0602	0,0603	0,0604	0,0604	0,0604	0,0604	0,0602	0,0602	0,0602
2013	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0601	0,0602
2014	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0604	0,0605	0,0604	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602
2015	0,0603	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0603	0,0603	0,0602	0,0603
2016	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0604	0,0603	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0601	0,0602
2017	0,0603	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0604	0,0605	0,0603	0,0603	0,0602	0,0601	0,0602
\bar{X}	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0604	0,0603	0,0602	0,0602	0,0602
MÁX	0,0603	0,0603	0,0603	0,0603	0,0604	0,0604	0,0605	0,0605	0,0604	0,0603	0,0603	0,0603
MÍN	0,0601	0,0602	0,0602	0,0602	0,0602	0,0603	0,0603	0,0603	0,0602	0,0602	0,0601	0,0601
σ	0,00004	0,00003	0,00003	0,00003	0,00004	0,00004	0,00004	0,00005	0,00003	0,00003	0,00004	0,00003

Fuente: elaboración propia.

Anexo 6.

Presión atmosférica (kPa) mensual de Puyo, período 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	90,66	90,58	90,65	90,70	90,73	90,88	90,95	90,75	90,69	90,49	90,57	90,54
1989	90,56	90,62	90,54	90,59	90,87	90,81	90,92	90,78	90,62	90,65	90,48	90,56
1990	90,52	90,62	90,64	90,59	90,71	90,83	90,88	90,88	90,73	90,58	90,55	90,54
1991	90,59	90,62	90,56	90,65	90,68	90,80	90,89	90,97	90,75	90,66	90,51	90,51
1992	90,57	90,58	90,58	90,65	90,59	90,75	90,93	90,87	90,64	90,65	90,50	90,51
1993	90,62	90,60	90,68	90,62	90,64	90,84	90,84	90,86	90,74	90,66	90,53	90,54
1994	90,55	90,59	90,63	90,66	90,72	90,84	90,88	90,86	90,76	90,58	90,58	90,56
1995	90,65	90,62	90,57	90,56	90,75	90,80	90,73	90,73	90,78	90,57	90,56	90,60
1996	90,51	90,57	90,58	90,61	90,76	90,85	90,96	90,83	90,70	90,57	90,44	90,56
1997	90,55	90,59	90,57	90,69	90,77	90,69	90,89	90,89	90,69	90,58	90,60	90,62
1998	90,57	90,65	90,59	90,65	90,82	90,92	90,89	90,77	90,74	90,64	90,51	90,53
1999	90,53	90,60	90,61	90,71	90,77	90,74	90,91	90,88	90,65	90,70	90,61	90,62
2000	90,52	90,66	90,66	90,68	90,74	90,76	90,79	90,80	90,67	90,67	90,45	90,62
2001	90,66	90,58	90,65	90,70	90,73	90,88	90,84	90,94	90,72	90,62	90,54	90,49
2002	90,64	90,60	90,64	90,61	90,72	90,88	90,90	90,83	90,75	90,60	90,65	90,67
2003	90,65	90,60	90,60	90,70	90,77	90,78	90,90	90,89	90,75	90,58	90,52	90,57
2004	90,55	90,62	90,59	90,63	90,74	90,93	90,84	90,92	90,74	90,59	90,54	90,54
2005	90,52	90,54	90,65	90,68	90,66	90,77	90,93	90,81	90,74	90,62	90,46	90,49
2006	90,54	90,56	90,62	90,59	90,83	90,81	90,88	90,77	90,75	90,56	90,51	90,62
2007	90,61	90,58	90,59	90,69	90,72	90,84	90,83	90,77	90,77	90,58	90,49	90,51
2008	90,59	90,63	90,59	90,54	90,72	90,79	90,84	90,66	90,74	90,66	90,51	90,53
2009	90,64	90,55	90,52	90,69	90,69	90,80	90,80	90,72	90,72	90,54	90,44	90,56
2010	90,55	90,51	90,60	90,65	90,70	90,86	90,80	90,80	90,63	90,60	90,45	90,44
2011	90,46	90,53	90,52	90,61	90,68	90,75	90,76	90,78	90,78	90,50	90,48	90,53
2012	90,58	90,53	90,64	90,62	90,74	90,82	90,83	90,85	90,84	90,58	90,51	90,49
2013	90,61	90,56	90,62	90,69	90,73	90,77	90,89	90,79	90,73	90,60	90,45	90,56
2014	90,58	90,51	90,59	90,75	90,68	90,79	90,94	90,86	90,72	90,67	90,54	90,56
2015	90,69	90,62	90,64	90,68	90,75	90,91	90,85	90,76	90,69	90,66	90,52	90,66
2016	90,57	90,59	90,71	90,65	90,81	90,65	90,87	90,82	90,65	90,58	90,46	90,56
2017	90,65	90,59	90,61	90,69	90,70	90,84	90,97	90,77	90,75	90,63	90,48	90,53
\bar{X}	90,58	90,59	90,61	90,65	90,73	90,81	90,87	90,82	90,72	90,61	90,51	90,55
MÁX	90,69	90,66	90,71	90,75	90,87	90,93	90,97	90,97	90,84	90,70	90,65	90,67
MÍN	90,46	90,51	90,52	90,54	90,59	90,65	90,73	90,66	90,62	90,49	90,44	90,44
σ	0,06	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05

Fuente: INAMHI.

Anexo 7.

Temperatura máxima (°C) mensual de Puyo, período 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	29,4	30,5	31,0	30,7	28,8	28,4	28,5	29,8	30,2	30,9	30,4	28,6
1989	27,9	27,8	29,0	29,0	29,4	28,6	28,0	29,2	29,6	30,8	32,1	30,8
1990	29,1	29,7	29,0	29,8	28,8	28,0	28,2	29,3	29,4	30,0	29,7	29,8
1991	29,2	30,0	29,6	29,9	29,2	29,8	27,7	28,8	29,5	30,6	30,0	29,3
1992	30,2	30,5	30,8	30,1	29,6	29,0	28,5	30,0	30,0	31,0	30,2	29,2
1993	29,8	29,5	28,8	28,8	30,2	28,8	28,2	30,0	30,1	30,2	30,2	30,0
1994	29,5	29,9	29,2	29,5	28,7	29,3	29,0	29,1	30,8	30,2	30,7	30,2
1995	29,7	30,6	30,0	30,5	29,2	29,2	29,8	30,5	31,0	31,0	29,8	30,2
1996	29,0	29,8	29,8	29,8	29,4	29,5	29,5	30,1	30,5	30,8	30,6	29,6
1997	29,2	29,0	29,8	29,8	28,6	29,6	29,8	30,1	31,0	30,5	29,5	29,6
1998	31,3	31,7	29,4	29,8	29,7	29,5	29,0	29,7	31,2	30,8	30,2	31,1
1999	29,5	29,2	29,6	28,5	29,2	29,1	29,2	30,0	30,5	30,2	31,0	29,8
2000	29,1	29,4	29,4	29,0	28,0	28,2	29,0	29,5	29,8	29,7	30,3	29,3
2001	29,6	30,2	30,7	30,1	29,8	28,7	28,8	29,8	30,1	31,0	32,1	30,1
2002	30,0	30,2	29,8	29,6	29,6	29,8	28,6	30,6	31,4	30,6	30,6	29,3
2003	30,2	30,3	30,7	29,8	29,2	29,0	29,4	30,2	30,8	31,3	31,2	29,5
2004	29,6	30,0	29,7	30,2	29,7	28,8	28,0	29,5	30,8	30,5	29,5	29,6
2005	32,0	29,5	29,6	29,2	30,0	29,0	29,0	29,5	30,5	31,0	29,5	30,0
2006	29,5	29,5	30,0	30,0	29,2	28,7	29,5	30,6	31,0	30,5	29,5	29,4
2007	29,6	31,2	30,2	29,2	30,3	28,0	29,5	30,2	30,8	31,2	30,4	29,2
2008	29,4	29,5	30,2	29,5	29,0	28,0	27,7	27,1	30,8	31,0	30,5	29,9
2009	28,3	29,0	29,5	29,6	29,8	25,8	29,5	30,1	30,9	31,4	31,0	29,6
2010	30,7	31,6	31,2	30,2	30,0	28,2	29,0	31,1	31,5	31,2	27,4	30,5
2011	29,6	28,8	28,6	29,2	28,5	28,8	28,2	29,7	29,6	30,0	30,4	29,4
2012	29,4	28,4	30,1	29,5	28,9	28,9	29,2	30,2	30,8	31,6	30,3	29,6
2013	30,0	29,0	29,6	29,8	29,5	28,4	28,2	29,3	31,1	30,0	29,5	29,6
2014	29,4	29,0	29,3	28,8	29,1	28,1	27,9	29,8	30,4	30,2	30,0	29,5
2015	29,0	29,4	29,4	28,4	29,7	28,6	28,5	30,1	31,3	30,4	30,8	30,6
2016	30,8	29,7	30,7	31,5	29,1	28,3	28,8	30,7	30,7	31,1	30,8	29,8
2017	30,2	29,0	30,2	29,8	29,1	29,4	29,9	30,2	30,3	30,7	29,8	30,2
X̄	29,7	29,7	29,8	29,7	29,3	28,7	28,8	29,8	30,5	30,7	30,3	29,8
MÁX	32,0	31,7	31,2	31,5	30,3	29,8	29,9	31,1	31,5	31,6	32,1	31,1
MÍN	27,9	27,8	28,6	28,4	28,0	25,8	27,7	27,1	29,4	29,7	27,4	28,6
σ	0,8	0,9	0,7	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,9	0,5

Fuente: INAMHI.

Anexo 8.

Temperatura mínima (°C) mensual de Puyo, período 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	16,2	15,7	14,2	14,6	14,1	14,8	10,9	13,0	12,5	13,7	13,1	13,3
1989	15,0	13,0	14,0	14,0	16,0	12,8	11,7	12,8	12,0	14,6	15,0	14,7
1990	15,0	14,2	15,0	13,8	14,2	14,6	9,5	10,3	13,5	14,6	13,5	14,0
1991	15,0	14,5	14,6	14,0	15,0	15,7	14,2	12,0	10,5	12,2	13,7	14,2
1992	15,5	14,5	16,0	14,5	14,5	12,7	14,5	12,4	13,0	11,6	14,5	13,0
1993	13,6	14,5	15,7	15,8	13,6	14,4	11,5	12,3	12,8	13,9	15,1	14,7
1994	14,8	14,2	14,3	12,8	12,3	13,8	13,1	11,5	12,0	12,4	14,2	13,7
1995	14,5	13,5	13,4	15,5	13,8	15,0	10,7	10,5	12,4	13,0	15,0	13,0
1996	13,0	13,0	15,0	14,5	12,5	14,0	11,0	13,0	13,0	13,5	14,0	13,0
1997	14,0	14,0	14,0	15,0	15,3	12,7	13,0	12,2	13,7	14,0	14,6	15,0
1998	14,8	16,2	16,0	16,0	16,3	15,2	14,6	14,2	11,6	14,0	15,2	13,0
1999	15,0	13,5	14,0	13,5	14,9	14,5	12,2	12,0	14,2	14,0	14,6	13,8
2000	14,1	15,0	14,0	15,8	16,5	13,5	14,2	12,4	13,2	14,0	12,0	15,2
2001	14,2	15,0	14,5	14,0	13,9	13,2	12,9	12,0	12,5	14,0	14,2	15,6
2002	14,9	16,6	15,4	14,0	15,8	13,4	13,5	12,4	11,4	14,8	14,6	16,0
2003	14,4	16,4	15,2	16,0	15,6	15,0	13,3	14,0	14,0	14,4	14,8	15,2
2004	15,6	15,8	16,4	16,0	16,0	15,5	14,0	12,5	12,5	14,8	16,0	13,5
2005	14,5	15,5	14,5	15,6	15,6	15,5	12,0	13,0	15,0	15,4	16,0	14,0
2006	14,5	16,4	15,5	15,0	14,0	13,0	12,4	12,6	13,0	15,8	15,9	15,5
2007	14,0	15,0	15,0	16,6	16,0	14,5	12,0	13,5	12,4	14,0	13,5	15,0
2008	14,6	16,0	15,0	14,6	14,6	16,0	13,8	13,4	13,5	13,5	14,5	14,4
2009	16,0	15,2	15,0	16,0	14,6	16,2	12,5	14,5	12,5	15,4	15,2	15,8
2010	14,5	15,5	15,5	15,2	15,4	17,0	14,2	13,0	14,0	14,0	15,8	15,6
2011	13,4	16,0	15,0	16,0	14,5	14,2	12,5	10,0	10,5	15,2	14,4	14,5
2012	14,0	14,0	15,6	15,4	15,0	14,7	13,6	12,6	12,9	14,0	15,6	15,0
2013	15,5	16,6	15,8	13,3	16,9	14,6	14,1	12,9	14,3	15,0	14,9	15,6
2014	15,5	16,2	16,4	15,1	16,8	15,3	14,4	14,2	14,0	14,4	15,3	15,0
2015	16,0	17,6	16,1	14,6	14,5	14,9	13,5	14,4	14,4	15,8	17,2	12,0
2016	16,0	16,5	16,6	16,9	16,4	16,7	14,2	13,7	13,5	12,0	15,1	14,0
2017	14,9	15,5	14,8	14,6	14,0	13,4	11,9	13,3	12,2	13,3	14,1	13,9
\bar{X}	14,8	15,2	15,1	15,0	15,0	14,6	12,9	12,7	12,9	14,0	14,7	14,4
MÁX	16,2	17,6	16,6	16,9	16,9	17,0	14,6	14,5	15,0	15,8	17,2	16,0
MÍN	13,0	13,0	13,4	12,8	12,3	12,7	9,5	10,0	10,5	11,6	12,0	12,0
σ	0,8	1,2	0,8	1,0	1,2	1,2	1,3	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0

Fuente: INAMHI.

Anexo 9.

Presión media de vapor de saturación (kPa) mensual de Puyo, período 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	2,97	3,08	3,06	3,04	2,78	2,78	2,60	2,85	2,87	3,02	2,92	2,72
1989	2,73	2,62	2,80	2,80	2,96	2,70	2,58	2,77	2,77	3,05	3,24	3,06
1990	2,87	2,90	2,86	2,89	2,79	2,72	2,51	2,66	2,82	2,95	2,86	2,90
1991	2,88	2,95	2,90	2,91	2,88	2,99	2,67	2,68	2,70	2,91	2,91	2,85
1992	3,03	3,01	3,13	2,96	2,90	2,74	2,77	2,84	2,87	2,93	2,97	2,77
1993	2,88	2,89	2,87	2,88	2,92	2,80	2,59	2,84	2,87	2,94	3,00	2,96
1994	2,90	2,92	2,84	2,80	2,68	2,83	2,76	2,69	2,92	2,87	3,02	2,93
1995	2,91	2,97	2,89	3,06	2,82	2,88	2,74	2,82	2,97	3,00	2,95	2,89
1996	2,75	2,85	2,95	2,92	2,77	2,86	2,72	2,88	2,93	2,99	2,99	2,82
1997	2,83	2,80	2,90	2,95	2,83	2,81	2,85	2,84	3,03	2,98	2,89	2,93
1998	3,13	3,26	2,96	3,01	3,01	2,93	2,83	2,90	2,95	3,02	3,01	3,01
1999	2,91	2,80	2,87	2,72	2,87	2,84	2,74	2,82	2,99	2,95	3,08	2,89
2000	2,82	2,90	2,85	2,90	2,83	2,69	2,81	2,78	2,86	2,88	2,86	2,90
2001	2,88	3,00	3,03	2,93	2,89	2,73	2,72	2,80	2,86	3,05	3,20	3,02
2002	2,97	3,09	2,97	2,87	2,97	2,87	2,73	2,92	2,97	3,04	3,03	2,95
2003	2,97	3,09	3,07	3,01	2,91	2,86	2,81	2,95	3,02	3,11	3,11	2,93
2004	2,96	3,02	3,02	3,06	2,99	2,86	2,69	2,79	2,95	3,02	2,97	2,85
2005	3,20	2,94	2,90	2,91	3,01	2,88	2,70	2,81	3,04	3,12	2,97	2,92
2006	2,89	2,99	3,00	2,97	2,83	2,72	2,78	2,93	3,00	3,08	2,96	2,93
2007	2,87	3,12	3,00	2,97	3,07	2,72	2,76	2,92	2,94	3,07	2,94	2,88
2008	2,88	2,97	3,00	2,89	2,83	2,80	2,65	2,56	2,99	3,02	3,01	2,93
2009	2,83	2,87	2,91	2,98	2,93	2,58	2,79	2,96	2,96	3,17	3,11	2,97
2010	3,03	3,20	3,15	3,01	3,00	2,88	2,81	3,01	3,11	3,07	2,72	3,07
2011	2,84	2,89	2,81	2,94	2,77	2,79	2,64	2,70	2,71	2,99	2,99	2,88
2012	2,85	2,73	3,02	2,94	2,84	2,83	2,80	2,88	2,96	3,12	3,04	2,93
2013	3,00	2,95	2,97	2,86	3,02	2,77	2,72	2,78	3,07	2,97	2,91	2,96
2014	2,93	2,92	2,97	2,84	2,97	2,77	2,70	2,91	2,97	2,97	2,99	2,91
2015	2,91	3,06	2,96	2,77	2,91	2,80	2,72	2,95	3,11	3,07	3,20	2,90
2016	3,13	3,02	3,15	3,27	2,95	2,87	2,79	2,99	2,98	2,96	3,08	2,90
2017	2,99	2,88	2,99	2,93	2,81	2,82	2,81	2,91	2,87	2,97	2,90	2,94
\bar{X}	2,92	2,96	2,96	2,93	2,89	2,80	2,73	2,84	2,94	3,01	3,00	2,92
MÁX	3,20	3,26	3,15	3,27	3,07	2,99	2,85	3,01	3,11	3,17	3,24	3,07
MÍN	2,73	2,62	2,80	2,72	2,68	2,58	2,51	2,56	2,70	2,87	2,72	2,72
σ	0,11	0,13	0,09	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10	0,10	0,07	0,11	0,07

Fuente: elaboración propia.

Anexo 10.

Temperatura del punto de rocío (°C) mensual de Puyo, período 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	19,8	20,0	19,6	19,5	19,5	18,7	18,1	18,5	18,8	19,3	19,7	19,2
1989	18,7	18,9	18,8	19,2	19,0	18,6	18,0	18,3	18,6	19,2	19,9	19,6
1990	19,3	19,6	19,7	19,9	19,6	19,0	17,7	17,8	18,0	19,3	19,4	19,5
1991	19,3	19,0	19,9	19,2	19,8	19,2	18,1	17,0	18,0	18,3	19,1	19,3
1992	19,7	19,6	19,7	19,7	19,8	19,0	18,0	18,0	18,6	18,7	19,3	19,4
1993	19,0	18,8	19,0	19,4	19,6	18,3	18,0	18,1	18,4	18,8	19,4	19,3
1994	19,1	19,1	19,2	19,3	19,3	18,5	17,9	17,6	18,6	19,1	19,3	19,5
1995	19,1	19,2	19,5	19,9	19,2	19,2	18,5	18,2	18,6	19,2	19,6	19,3
1996	19,0	18,8	19,2	19,4	19,2	18,6	17,8	17,9	18,4	19,0	19,1	19,0
1997	19,2	18,9	19,3	19,1	19,1	18,9	17,8	18,1	18,9	19,4	19,6	19,7
1998	19,9	20,5	20,4	20,5	20,1	18,9	18,5	18,3	18,5	19,0	19,5	19,3
1999	19,3	19,0	19,2	19,0	18,8	18,9	17,8	17,4	18,6	18,5	19,5	19,5
2000	19,0	18,7	18,7	19,0	19,2	18,8	18,1	18,2	18,5	18,8	19,6	19,1
2001	18,7	18,8	19,0	19,2	19,3	18,3	18,4	17,9	18,5	19,7	19,8	19,9
2002	19,2	19,7	19,4	19,5	19,6	18,5	18,6	18,2	18,6	19,1	19,1	19,7
2003	19,6	19,7	19,5	19,5	19,2	18,9	18,0	18,6	19,0	19,5	19,6	19,5
2004	19,8	19,2	19,7	19,5	19,5	18,7	18,7	17,9	18,5	19,4	19,9	19,6
2005	19,7	19,9	19,5	19,8	19,8	19,3	18,1	17,9	18,4	19,1	19,8	19,4
2006	19,2	19,6	19,3	19,3	18,9	18,6	18,2	18,3	18,5	19,7	19,5	19,8
2007	20,0	19,4	19,5	19,9	19,3	18,6	18,5	18,2	18,1	18,9	19,3	19,3
2008	19,1	19,0	18,8	19,2	19,0	18,9	18,4	18,3	18,3	19,0	19,5	19,3
2009	19,2	19,1	19,4	19,5	19,4	19,0	18,7	18,7	18,7	19,8	20,0	19,8
2010	19,4	20,0	19,9	19,9	19,7	19,2	18,6	18,5	18,6	19,3	19,8	19,6
2011	19,0	19,3	19,1	19,2	19,1	19,0	18,4	18,2	18,4	19,5	19,6	19,3
2012	19,1	18,7	19,1	19,5	19,1	18,7	18,3	18,1	18,3	19,4	19,7	19,5
2013	19,6	19,3	19,8	19,3	19,7	19,0	18,2	18,2	18,6	19,1	19,7	19,4
2014	19,4	19,6	19,6	19,5	19,7	19,0	18,6	18,1	18,6	19,1	19,7	19,5
2015	19,1	19,7	19,5	19,5	19,3	18,9	18,8	18,6	19,0	19,4	19,7	19,4
2016	20,2	20,0	20,2	19,9	19,8	18,8	18,3	18,5	18,7	19,5	20,0	19,7
2017	18,9	19,3	19,3	19,6	19,6	19,4	18,1	18,6	18,9	19,2	19,5	19,5
\bar{X}	19,3	19,3	19,4	19,5	19,4	18,8	18,2	18,1	18,5	19,2	19,6	19,5
MÁX	20,2	20,5	20,4	20,5	20,1	19,4	18,8	18,7	19,0	19,8	20,0	19,9
MÍN	18,7	18,7	18,7	19,0	18,8	18,3	17,7	17,0	18,0	18,3	19,1	19,0
σ	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2

Fuente: INAMHI.

Anexo 11.

Presión real de vapor (kPa) mensual de Puyo, periodo 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	2,31	2,34	2,28	2,27	2,27	2,16	2,08	2,13	2,17	2,24	2,30	2,22
1989	2,16	2,18	2,17	2,22	2,20	2,14	2,06	2,10	2,14	2,22	2,32	2,28
1990	2,24	2,28	2,30	2,32	2,28	2,20	2,03	2,04	2,06	2,24	2,25	2,27
1991	2,24	2,20	2,32	2,22	2,31	2,22	2,08	1,94	2,06	2,10	2,21	2,24
1992	2,30	2,28	2,30	2,30	2,31	2,20	2,06	2,06	2,14	2,16	2,24	2,25
1993	2,20	2,17	2,20	2,25	2,28	2,10	2,06	2,08	2,12	2,17	2,25	2,24
1994	2,21	2,21	2,22	2,24	2,24	2,13	2,05	2,01	2,14	2,21	2,24	2,27
1995	2,21	2,22	2,27	2,32	2,22	2,22	2,13	2,09	2,14	2,22	2,28	2,24
1996	2,20	2,17	2,22	2,25	2,22	2,14	2,04	2,05	2,12	2,20	2,21	2,20
1997	2,22	2,18	2,24	2,21	2,21	2,18	2,04	2,08	2,18	2,25	2,28	2,30
1998	2,32	2,41	2,40	2,41	2,35	2,18	2,13	2,10	2,13	2,20	2,27	2,24
1999	2,24	2,20	2,22	2,20	2,17	2,18	2,04	1,99	2,14	2,13	2,27	2,27
2000	2,20	2,16	2,16	2,20	2,22	2,17	2,08	2,09	2,13	2,17	2,28	2,21
2001	2,16	2,17	2,20	2,22	2,24	2,10	2,12	2,05	2,13	2,30	2,31	2,32
2002	2,22	2,30	2,25	2,27	2,28	2,13	2,14	2,09	2,14	2,21	2,21	2,30
2003	2,28	2,30	2,27	2,27	2,22	2,18	2,06	2,14	2,20	2,27	2,28	2,27
2004	2,31	2,22	2,30	2,27	2,27	2,16	2,16	2,05	2,13	2,25	2,32	2,28
2005	2,30	2,32	2,27	2,31	2,31	2,24	2,08	2,05	2,12	2,21	2,31	2,25
2006	2,22	2,28	2,24	2,24	2,18	2,14	2,09	2,10	2,13	2,30	2,27	2,31
2007	2,34	2,25	2,27	2,32	2,24	2,14	2,13	2,09	2,08	2,18	2,24	2,24
2008	2,21	2,20	2,17	2,22	2,20	2,18	2,12	2,10	2,10	2,20	2,27	2,24
2009	2,22	2,21	2,25	2,27	2,25	2,20	2,16	2,16	2,16	2,31	2,34	2,31
2010	2,25	2,34	2,32	2,32	2,30	2,22	2,14	2,13	2,14	2,24	2,31	2,28
2011	2,20	2,24	2,21	2,22	2,21	2,20	2,12	2,09	2,12	2,27	2,28	2,24
2012	2,21	2,16	2,21	2,27	2,21	2,16	2,10	2,08	2,10	2,25	2,30	2,27
2013	2,28	2,24	2,31	2,24	2,30	2,20	2,09	2,09	2,14	2,21	2,30	2,25
2014	2,25	2,28	2,28	2,27	2,30	2,20	2,14	2,08	2,14	2,21	2,30	2,27
2015	2,21	2,30	2,27	2,27	2,24	2,18	2,17	2,14	2,20	2,25	2,30	2,25
2016	2,37	2,34	2,37	2,32	2,31	2,17	2,10	2,13	2,16	2,27	2,34	2,30
2017	2,18	2,24	2,24	2,28	2,28	2,25	2,08	2,14	2,18	2,22	2,27	2,27
\bar{X}	2,24	2,25	2,26	2,27	2,25	2,18	2,10	2,08	2,14	2,22	2,28	2,26
MÁX	2,37	2,41	2,40	2,41	2,35	2,25	2,17	2,16	2,20	2,31	2,34	2,32
MÍN	2,16	2,16	2,16	2,20	2,17	2,10	2,03	1,94	2,06	2,10	2,21	2,20
σ	0,05	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03

Fuente: elaboración propia.

Anexo 12.

Déficit de presión de vapor (kPa) mensual de Puyo, periodo 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	0,66	0,74	0,78	0,77	0,52	0,62	0,52	0,72	0,70	0,78	0,63	0,50
1989	0,58	0,43	0,63	0,58	0,76	0,55	0,51	0,66	0,63	0,83	0,92	0,78
1990	0,63	0,61	0,56	0,56	0,51	0,52	0,48	0,63	0,76	0,71	0,61	0,63
1991	0,64	0,75	0,58	0,68	0,57	0,76	0,59	0,74	0,63	0,80	0,69	0,61
1992	0,73	0,73	0,83	0,66	0,59	0,54	0,71	0,78	0,73	0,77	0,73	0,52
1993	0,68	0,72	0,67	0,62	0,64	0,70	0,53	0,76	0,76	0,77	0,75	0,72
1994	0,69	0,71	0,62	0,56	0,44	0,70	0,71	0,68	0,78	0,65	0,78	0,66
1995	0,70	0,74	0,62	0,74	0,59	0,65	0,61	0,73	0,82	0,77	0,67	0,66
1996	0,55	0,68	0,73	0,67	0,55	0,72	0,68	0,83	0,82	0,80	0,78	0,62
1997	0,60	0,62	0,66	0,74	0,62	0,62	0,81	0,77	0,85	0,73	0,61	0,63
1998	0,80	0,85	0,56	0,59	0,66	0,74	0,70	0,79	0,83	0,82	0,74	0,77
1999	0,68	0,60	0,65	0,52	0,70	0,66	0,70	0,84	0,85	0,82	0,81	0,62
2000	0,62	0,75	0,69	0,70	0,60	0,52	0,74	0,69	0,73	0,71	0,58	0,69
2001	0,73	0,83	0,84	0,71	0,65	0,62	0,61	0,75	0,73	0,75	0,89	0,70
2002	0,74	0,80	0,72	0,61	0,69	0,74	0,59	0,83	0,83	0,83	0,82	0,65
2003	0,69	0,80	0,81	0,74	0,69	0,67	0,75	0,80	0,82	0,84	0,83	0,66
2004	0,65	0,79	0,72	0,79	0,73	0,70	0,53	0,74	0,82	0,77	0,65	0,57
2005	0,91	0,62	0,63	0,60	0,70	0,64	0,63	0,76	0,92	0,91	0,66	0,67
2006	0,66	0,71	0,76	0,74	0,64	0,57	0,69	0,82	0,87	0,79	0,70	0,62
2007	0,53	0,87	0,73	0,65	0,83	0,57	0,63	0,83	0,86	0,89	0,71	0,64
2008	0,67	0,77	0,83	0,67	0,64	0,62	0,53	0,46	0,89	0,82	0,74	0,69
2009	0,61	0,66	0,66	0,72	0,68	0,38	0,63	0,80	0,80	0,86	0,77	0,66
2010	0,78	0,87	0,83	0,69	0,70	0,66	0,67	0,88	0,97	0,83	0,41	0,79
2011	0,64	0,65	0,60	0,71	0,56	0,59	0,52	0,61	0,59	0,72	0,71	0,64
2012	0,64	0,58	0,81	0,67	0,63	0,67	0,70	0,80	0,86	0,87	0,75	0,66
2013	0,72	0,71	0,66	0,62	0,73	0,57	0,63	0,69	0,93	0,76	0,61	0,71
2014	0,68	0,64	0,69	0,57	0,68	0,57	0,56	0,83	0,83	0,76	0,70	0,65
2015	0,70	0,76	0,70	0,50	0,67	0,62	0,55	0,81	0,91	0,82	0,91	0,64
2016	0,76	0,69	0,79	0,95	0,64	0,70	0,69	0,86	0,83	0,69	0,74	0,60
2017	0,81	0,64	0,75	0,65	0,53	0,57	0,73	0,77	0,69	0,75	0,63	0,67
\bar{X}	0,68	0,71	0,70	0,67	0,64	0,63	0,63	0,75	0,80	0,79	0,72	0,65
MÁX	0,91	0,87	0,84	0,95	0,83	0,76	0,81	0,88	0,97	0,91	0,92	0,79
MÍN	0,53	0,43	0,56	0,50	0,44	0,38	0,48	0,46	0,59	0,65	0,41	0,50
σ	0,08	0,10	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,06	0,11	0,06

Fuente: elaboración propia.

Anexo 13.

Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (kPa) mensual de Puyo, periodo
1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	0,155	0,160	0,158	0,156	0,152	0,149	0,143	0,151	0,154	0,159	0,156	0,151
1989	0,144	0,145	0,150	0,151	0,149	0,145	0,143	0,148	0,152	0,155	0,161	0,162
1990	0,153	0,154	0,154	0,157	0,153	0,150	0,142	0,150	0,152	0,159	0,156	0,154
1991	0,159	0,156	0,157	0,152	0,154	0,154	0,146	0,145	0,152	0,154	0,157	0,155
1992	0,159	0,157	0,159	0,158	0,159	0,151	0,146	0,150	0,152	0,154	0,157	0,154
1993	0,151	0,152	0,150	0,154	0,157	0,150	0,146	0,148	0,151	0,152	0,159	0,156
1994	0,155	0,153	0,154	0,154	0,151	0,149	0,146	0,149	0,154	0,158	0,158	0,155
1995	0,157	0,161	0,157	0,159	0,153	0,154	0,153	0,156	0,158	0,159	0,159	0,157
1996	0,148	0,151	0,152	0,157	0,154	0,149	0,145	0,149	0,156	0,155	0,160	0,154
1997	0,156	0,148	0,154	0,154	0,150	0,154	0,147	0,152	0,158	0,164	0,157	0,157
1998	0,162	0,165	0,161	0,163	0,159	0,151	0,150	0,154	0,156	0,159	0,161	0,158
1999	0,152	0,151	0,156	0,149	0,149	0,149	0,143	0,148	0,154	0,151	0,158	0,156
2000	0,152	0,153	0,151	0,150	0,151	0,148	0,143	0,146	0,152	0,157	0,160	0,153
2001	0,150	0,151	0,152	0,151	0,154	0,143	0,146	0,148	0,151	0,159	0,160	0,159
2002	0,154	0,154	0,152	0,155	0,154	0,149	0,147	0,152	0,155	0,156	0,155	0,154
2003	0,155	0,159	0,154	0,157	0,151	0,151	0,147	0,150	0,154	0,164	0,159	0,155
2004	0,164	0,159	0,158	0,159	0,158	0,149	0,150	0,149	0,152	0,159	0,161	0,158
2005	0,161	0,159	0,158	0,158	0,160	0,155	0,148	0,151	0,155	0,157	0,160	0,157
2006	0,153	0,156	0,154	0,157	0,151	0,150	0,150	0,154	0,154	0,164	0,158	0,157
2007	0,157	0,163	0,157	0,158	0,157	0,147	0,151	0,154	0,150	0,157	0,155	0,156
2008	0,153	0,150	0,153	0,154	0,150	0,150	0,149	0,154	0,155	0,159	0,161	0,157
2009	0,150	0,150	0,156	0,156	0,157	0,151	0,153	0,154	0,159	0,165	0,165	0,160
2010	0,163	0,166	0,165	0,162	0,159	0,154	0,153	0,158	0,159	0,162	0,161	0,156
2011	0,156	0,154	0,153	0,159	0,154	0,153	0,149	0,156	0,154	0,161	0,159	0,155
2012	0,153	0,150	0,151	0,158	0,153	0,153	0,150	0,154	0,154	0,161	0,163	0,158
2013	0,158	0,154	0,160	0,159	0,157	0,151	0,148	0,150	0,156	0,160	0,164	0,159
2014	0,157	0,157	0,156	0,156	0,159	0,153	0,150	0,153	0,156	0,159	0,159	0,159
2015	0,151	0,157	0,154	0,155	0,154	0,153	0,151	0,158	0,164	0,166	0,163	0,157
2016	0,166	0,159	0,162	0,162	0,159	0,151	0,150	0,155	0,156	0,165	0,165	0,159
2017	0,152	0,155	0,154	0,159	0,158	0,156	0,150	0,156	0,159	0,157	0,159	0,159
\bar{X}	0,155	0,155	0,155	0,156	0,155	0,151	0,148	0,152	0,155	0,159	0,160	0,157
MÁX	0,166	0,166	0,165	0,163	0,160	0,156	0,153	0,158	0,164	0,166	0,165	0,162
MÍN	0,144	0,145	0,150	0,149	0,149	0,143	0,142	0,145	0,150	0,151	0,155	0,151
σ	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,002

Fuente: elaboración propia.

Anexo 14.

Radiación neta (MJ.m⁻².m⁻¹) mensual de Puyo, período 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	7,14	7,66	7,29	7,72	6,87	6,40	6,94	7,88	8,71	8,90	7,80	7,48
1989	6,88	7,59	7,92	7,27	7,07	6,63	6,93	8,21	9,10	8,70	8,61	8,43
1990	8,01	7,79	7,92	7,80	7,18	6,39	7,13	7,99	8,90	9,00	8,04	7,69
1991	7,96	8,15	7,82	7,66	7,45	7,11	6,64	7,51	8,66	8,90	8,27	7,64
1992	7,95	7,84	7,58	7,75	7,64	7,00	7,47	7,98	8,74	8,58	8,41	7,53
1993	7,72	7,94	7,93	7,80	7,81	6,95	7,69	8,50	8,49	8,31	8,23	7,60
1994	7,83	7,39	7,34	7,35	7,04	7,02	7,43	8,30	8,50	8,87	8,22	7,43
1995	7,86	8,92	8,19	7,14	7,28	7,04	7,96	8,87	9,30	8,88	8,44	7,91
1996	7,18	7,88	7,65	8,12	7,37	6,83	7,49	8,20	9,40	8,79	9,13	8,20
1997	8,17	7,71	7,76	7,63	6,78	7,31	7,11	8,29	8,62	9,14	7,78	7,39
1998	7,67	7,94	7,80	7,75	7,01	6,52	6,80	8,22	9,32	8,95	8,20	8,20
1999	7,42	7,90	8,74	7,66	7,19	6,95	7,04	7,98	8,27	7,93	8,12	7,08
2000	6,87	6,82	7,47	7,92	7,31	6,88	7,09	7,83	8,74	8,99	8,45	7,64
2001	7,77	7,53	8,12	7,74	7,63	7,07	7,08	7,45	9,07	9,09	8,32	7,95
2002	8,24	7,54	7,46	7,57	6,87	6,75	6,57	7,86	9,06	8,46	7,97	6,76
2003	7,04	7,41	7,79	7,92	6,62	6,59	6,80	7,43	8,33	8,76	8,30	7,32
2004	8,32	7,87	7,44	7,78	7,34	6,51	6,87	8,24	8,36	8,99	8,53	8,00
2005	8,26	7,78	7,53	7,22	7,27	6,76	7,46	8,39	8,97	8,39	8,32	7,88
2006	7,66	7,58	7,91	7,76	7,19	6,83	7,23	8,14	9,32	9,12	8,24	7,53
2007	7,22	8,64	7,81	7,82	7,24	6,23	7,64	8,08	8,40	8,39	8,37	7,60
2008	7,35	7,77	7,92	7,74	6,83	6,70	6,85	8,24	8,81	8,94	8,25	7,64
2009	7,13	7,36	7,73	7,30	7,78	6,96	7,14	7,92	9,39	9,16	8,37	7,58
2010	8,30	8,11	8,33	8,02	7,35	6,60	7,29	7,70	9,43	9,05	8,41	7,63
2011	8,18	7,45	8,05	8,17	6,95	6,83	6,86	8,49	8,78	9,01	8,66	7,56
2012	7,44	7,34	7,69	8,08	7,20	7,57	7,15	8,68	8,81	8,93	8,26	7,68
2013	7,26	7,17	7,13	7,38	7,12	7,12	7,12	7,63	8,02	9,06	8,54	7,76
2014	7,46	7,27	6,98	7,64	7,39	6,81	7,08	7,96	8,67	8,54	8,08	7,42
2015	7,03	7,58	7,64	7,40	6,97	6,56	6,88	8,26	9,49	9,27	8,34	7,73
2016	8,11	7,72	7,58	8,17	7,27	6,73	6,83	8,34	7,92	8,93	7,71	7,19
2017	7,73	7,81	8,01	7,72	7,43	7,25	7,27	8,88	9,04	8,69	8,50	8,34
\bar{X}	7,64	7,72	7,75	7,70	7,22	6,83	7,13	8,12	8,82	8,83	8,30	7,66
MÁX	8,32	8,92	8,74	8,17	7,81	7,57	7,96	8,88	9,49	9,27	9,13	8,43
MÍN	6,87	6,82	6,98	7,14	6,62	6,23	6,57	7,43	7,92	7,93	7,71	6,76
σ	0,46	0,41	0,36	0,28	0,29	0,30	0,32	0,37	0,42	0,30	0,28	0,36

Fuente: elaboración propia.

Anexo 15.

Radiación extraterrestre ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{m}^{-1}$) mensual de Puyo, período 1988 – 2017

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	36,76	37,82	37,95	36,45	34,20	32,81	33,35	35,35	37,20	37,59	36,80	36,23
1989	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
1990	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
1991	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
1992	36,76	37,82	37,95	36,45	34,20	32,81	33,35	35,35	37,20	37,59	36,80	36,23
1993	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
1994	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
1995	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
1996	36,76	37,82	37,95	36,45	34,20	32,81	33,35	35,35	37,20	37,59	36,80	36,23
1997	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
1998	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
1999	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2000	36,76	37,82	37,95	36,45	34,20	32,81	33,35	35,35	37,20	37,59	36,80	36,23
2001	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2002	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2003	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2004	36,76	37,82	37,95	36,45	34,20	32,81	33,35	35,35	37,20	37,59	36,80	36,23
2005	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2006	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2007	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2008	36,76	37,82	37,95	36,45	34,20	32,81	33,35	35,35	37,20	37,59	36,80	36,23
2009	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2010	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2011	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2012	36,76	37,82	37,95	36,45	34,20	32,81	33,35	35,35	37,20	37,59	36,80	36,23
2013	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2014	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2015	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
2016	36,76	37,82	37,95	36,45	34,20	32,81	33,35	35,35	37,20	37,59	36,80	36,23
2017	36,72	37,79	37,97	36,52	34,27	32,82	33,30	35,28	37,16	37,60	36,83	36,23
\bar{X}	36,73	37,80	37,96	36,50	34,25	32,82	33,31	35,30	37,17	37,59	36,82	36,23
MÁX	36,76	37,82	37,97	36,52	34,27	32,82	33,35	35,35	37,20	37,60	36,83	36,23
MÍN	36,72	37,79	37,95	36,45	34,20	32,81	33,30	35,28	37,16	37,59	36,80	36,23
σ	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00

Fuente: elaboración propia.

Anexo 16.

Días Julianos

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
1989	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
1990	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
1991	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
1992	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
1993	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
1994	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
1995	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
1996	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
1997	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
1998	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
1999	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2000	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
2001	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2002	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2003	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2004	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
2005	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2006	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2007	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2008	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
2009	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2010	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2011	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2012	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
2013	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2014	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2015	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
2016	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
2017	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349

Fuente: elaboración propia.

Anexo 17.

Distancia relativa inversa Tierra – Sol

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	1,032	1,023	1,009	0,992	0,977	0,968	0,968	0,977	0,992	1,009	1,024	1,032
1989	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
1990	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
1991	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
1992	1,032	1,023	1,009	0,992	0,977	0,968	0,968	0,977	0,992	1,009	1,024	1,032
1993	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
1994	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
1995	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
1996	1,032	1,023	1,009	0,992	0,977	0,968	0,968	0,977	0,992	1,009	1,024	1,032
1997	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
1998	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
1999	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2000	1,032	1,023	1,009	0,992	0,977	0,968	0,968	0,977	0,992	1,009	1,024	1,032
2001	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2002	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2003	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2004	1,032	1,023	1,009	0,992	0,977	0,968	0,968	0,977	0,992	1,009	1,024	1,032
2005	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2006	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2007	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2008	1,032	1,023	1,009	0,992	0,977	0,968	0,968	0,977	0,992	1,009	1,024	1,032
2009	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2010	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2011	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2012	1,032	1,023	1,009	0,992	0,977	0,968	0,968	0,977	0,992	1,009	1,024	1,032
2013	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2014	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2015	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032
2016	1,032	1,023	1,009	0,992	0,977	0,968	0,968	0,977	0,992	1,009	1,024	1,032
2017	1,032	1,023	1,010	0,992	0,977	0,968	0,968	0,976	0,991	1,008	1,023	1,032

Fuente: elaboración propia.

Anexo 18.

Declinación solar (rad)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	-0,367	-0,224	-0,040	0,172	0,333	0,407	0,372	0,233	0,030	-0,175	-0,339	-0,408
1989	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
1990	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
1991	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
1992	-0,367	-0,224	-0,040	0,172	0,333	0,407	0,372	0,233	0,030	-0,175	-0,339	-0,408
1993	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
1994	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
1995	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
1996	-0,367	-0,224	-0,040	0,172	0,333	0,407	0,372	0,233	0,030	-0,175	-0,339	-0,408
1997	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
1998	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
1999	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2000	-0,367	-0,224	-0,040	0,172	0,333	0,407	0,372	0,233	0,030	-0,175	-0,339	-0,408
2001	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2002	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2003	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2004	-0,367	-0,224	-0,040	0,172	0,333	0,407	0,372	0,233	0,030	-0,175	-0,339	-0,408
2005	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2006	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2007	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2008	-0,367	-0,224	-0,040	0,172	0,333	0,407	0,372	0,233	0,030	-0,175	-0,339	-0,408
2009	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2010	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2011	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2012	-0,367	-0,224	-0,040	0,172	0,333	0,407	0,372	0,233	0,030	-0,175	-0,339	-0,408
2013	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2014	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2015	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407
2016	-0,367	-0,224	-0,040	0,172	0,333	0,407	0,372	0,233	0,030	-0,175	-0,339	-0,408
2017	-0,370	-0,230	-0,047	0,166	0,329	0,407	0,375	0,239	0,037	-0,169	-0,335	-0,407

Fuente: elaboración propia.

Anexo 19.

Ángulo (rad) de radiación a la hora de la puesta del sol en Puyo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1989	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1990	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1991	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1992	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1993	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1994	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1995	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1996	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1997	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1998	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
1999	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2000	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2001	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2002	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2003	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2004	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2005	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2006	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2007	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2008	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2009	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2010	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2011	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2012	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2013	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2014	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2015	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2016	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58
2017	1,58	1,58	1,57	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,58	1,58	1,58

Fuente: elaboración propia.

Anexo 20.

Duración máxima de la insolación (h)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,04	12,07	12,09
1989	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
1990	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
1991	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
1992	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,04	12,07	12,09
1993	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
1994	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
1995	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
1996	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,04	12,07	12,09
1997	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
1998	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
1999	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2000	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,04	12,07	12,09
2001	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2002	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2003	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2004	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,04	12,07	12,09
2005	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2006	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2007	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2008	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,04	12,07	12,09
2009	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2010	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2011	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2012	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,04	12,07	12,09
2013	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2014	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2015	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09
2016	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,04	12,07	12,09
2017	12,08	12,05	12,01	11,97	11,93	11,91	11,92	11,95	11,99	12,03	12,07	12,09

Fuente: elaboración propia.

Anexo 21.

Heliofanía (h)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	43,6	54,3	36,3	75,3	62,8	50,7	75,9	100,0	112,2	122,0	76,0	67,5
1989	27,3	46,4	65,3	50,1	72,6	64,9	75,6	118,5	131,1	111,5	119,2	122,1
1990	89,7	57,5	68,3	80,4	81,6	51,3	86,8	104,1	118,5	127,1	87,1	80,5
1991	87,0	72,2	63,5	70,4	99,1	98,7	57,7	74,4	106,9	117,1	97,4	76,7
1992	87,1	61,5	51,3	78,0	112,6	90,8	108,3	103,1	112,5	103,4	106,0	71,1
1993	72,7	62,1	66,5	78,5	120,6	84,0	123,0	133,5	100,0	90,1	96,7	74,6
1994	79,3	38,0	37,6	54,6	71,6	89,3	106,4	120,0	101,6	119,3	96,1	66,2
1995	80,6	107,9	81,1	44,9	85,7	94,3	143,4	154,5	140,8	120,3	108,5	91,8
1996	43,6	61,0	53,3	96,3	92,9	77,6	108,9	114,8	144,3	115,2	142,1	106,5
1997	97,8	52,2	59,0	68,6	54,9	110,0	85,7	121,6	108,8	134,6	74,4	64,3
1998	73,1	67,1	64,2	79,8	73,2	59,2	69,8	119,0	141,5	122,9	95,5	107,8
1999	58,0	60,8	107,2	69,7	78,9	86,6	81,7	101,8	90,2	69,9	91,7	46,2
2000	27,3	11,5	43,2	83,9	89,2	82,0	85,3	95,6	112,1	124,5	109,6	76,1
2001	74,4	43,5	75,6	74,2	108,2	91,3	86,9	74,3	129,2	133,8	103,1	96,6
2002	101,4	46,4	43,9	66,8	62,3	72,4	55,5	98,4	129,0	98,6	82,4	29,1
2003	38,3	40,3	61,1	84,9	45,9	63,3	67,8	75,9	94,8	115,8	101,3	60,0
2004	108,0	62,0	44,1	78,6	92,6	57,6	74,3	116,7	93,6	127,4	115,5	97,9
2005	104,6	58,0	47,8	48,9	88,0	76,2	109,4	126,5	123,8	95,3	103,5	90,7
2006	70,1	48,0	66,4	75,7	79,1	77,8	95,5	114,7	141,5	135,5	97,7	72,4
2007	48,8	95,9	61,8	81,3	83,8	39,7	123,1	110,5	94,4	94,4	103,6	74,8
2008	53,2	56,5	65,7	75,3	59,0	71,1	71,8	118,9	114,9	122,9	98,8	77,1
2009	41,8	36,6	57,4	52,5	117,8	88,1	92,3	104,4	146,1	138,1	106,9	75,3
2010	105,3	73,4	89,8	91,8	92,8	65,1	101,0	90,9	147,5	129,6	108,0	77,2
2011	97,4	41,2	72,7	97,0	65,4	79,7	72,7	133,7	114,2	128,3	120,1	72,6
2012	57,6	36,0	55,0	94,3	81,8	125,7	89,8	142,4	114,7	124,3	100,2	80,1
2013	50,1	28,4	28,5	55,9	78,4	98,4	88,2	85,5	77,8	129,1	114,1	83,8
2014	60,4	33,5	20,1	70,2	95,0	78,1	88,0	103,7	110,0	102,7	90,1	65,1
2015	36,6	48,0	53,5	57,9	67,7	61,5	76,1	122,6	152,8	141,6	104,0	82,3
2016	98,4	57,0	52,5	100,9	89,7	72,4	70,1	125,5	72,4	124,4	72,4	53,1
2017	73,2	57,7	71,4	74,7	97,4	108,8	97,2	157,9	129,8	110,8	111,0	116,4
\bar{X}	69,6	53,8	58,8	73,7	83,4	78,9	88,9	112,1	116,9	117,7	101,1	78,5
MÁX	108,0	107,9	107,2	100,9	120,6	125,7	143,4	157,9	152,8	141,6	142,1	122,1
MÍN	27,3	11,5	20,1	44,9	45,9	39,7	55,5	74,3	72,4	69,9	72,4	29,1
σ	24,8	18,8	17,8	15,0	18,2	19,2	20,1	21,1	21,1	16,2	14,5	19,8

Fuente: INAMHI.

Anexo 22.

Radiación solar de Puyo (MJ.m⁻².día⁻¹)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	11,33	12,39	11,34	12,93	11,45	10,53	11,76	13,61	15,10	15,54	13,06	12,32
1989	10,52	12,05	12,82	11,68	11,93	11,19	11,73	14,46	16,06	15,02	15,27	14,96
1990	13,58	12,67	12,97	13,22	12,35	10,56	12,24	13,78	15,41	15,80	13,64	12,95
1991	13,45	13,49	12,73	12,71	13,16	12,74	10,92	12,36	14,81	15,30	14,16	12,77
1992	13,46	12,78	12,10	13,07	13,76	12,37	13,22	13,76	15,12	14,60	14,59	12,49
1993	12,75	12,93	12,88	13,12	14,15	12,06	13,87	15,18	14,45	13,94	14,12	12,66
1994	13,07	11,58	11,41	11,91	11,88	12,31	13,12	14,53	14,54	15,41	14,09	12,26
1995	13,13	15,49	13,63	11,41	12,54	12,54	14,79	16,18	16,56	15,46	14,73	13,50
1996	11,33	12,76	12,20	14,00	12,85	11,76	13,25	14,31	16,76	15,20	16,42	14,21
1997	13,98	12,37	12,50	12,62	11,11	13,26	12,19	14,61	14,91	16,18	12,99	12,17
1998	12,77	13,21	12,77	13,19	11,96	10,92	11,47	14,49	16,60	15,59	14,06	14,27
1999	12,03	12,85	14,96	12,67	12,22	12,18	12,01	13,67	13,95	12,92	13,87	11,29
2000	10,53	10,08	11,69	13,37	12,67	11,97	12,18	13,40	15,09	15,67	14,77	12,74
2001	12,83	11,88	13,35	12,90	13,58	12,40	12,24	12,36	15,96	16,14	14,45	13,73
2002	14,15	12,05	11,73	12,53	11,45	11,53	10,83	13,51	15,95	14,37	13,40	10,46
2003	11,06	11,71	12,61	13,45	10,69	11,11	11,38	12,43	14,19	15,23	14,36	11,96
2004	14,49	12,81	11,73	13,10	12,83	10,85	11,69	14,41	14,14	15,81	15,07	13,79
2005	14,31	12,70	11,93	11,62	12,64	11,70	13,25	14,84	15,68	14,20	14,47	13,44
2006	12,62	12,14	12,88	12,98	12,23	11,78	12,63	14,28	16,60	16,23	14,18	12,56
2007	11,57	14,82	12,64	13,26	12,45	10,03	13,87	14,08	14,16	14,16	14,48	12,67
2008	11,80	12,51	12,84	12,93	11,28	11,47	11,58	14,51	15,24	15,59	14,22	12,78
2009	11,23	11,50	12,42	11,80	14,03	12,25	12,48	13,79	16,83	16,36	14,64	12,70
2010	14,35	13,56	14,07	13,80	12,87	11,20	12,88	13,15	16,91	15,93	14,70	12,79
2011	13,96	11,76	13,20	14,06	11,60	11,87	11,60	15,19	15,19	15,86	15,31	12,57
2012	12,02	11,40	12,29	13,90	12,33	13,97	12,39	15,63	15,23	15,66	14,29	12,93
2013	11,64	11,04	10,95	11,97	12,20	12,72	12,30	12,89	13,31	15,90	15,01	13,11
2014	12,14	11,32	10,52	12,70	12,97	11,79	12,29	13,76	14,97	14,57	13,79	12,21
2015	10,98	12,14	12,22	12,07	11,70	11,03	11,75	14,66	17,18	16,53	14,50	13,04
2016	14,02	12,54	12,16	14,23	12,70	11,52	11,50	14,83	13,04	15,66	12,88	11,62
2017	12,77	12,68	13,13	12,93	13,08	13,20	12,70	16,34	15,99	14,98	14,85	14,69
\bar{X}	12,6	12,4	12,5	12,9	12,4	11,8	12,3	14,2	15,3	15,3	14,3	12,9
MÁX	14,5	15,5	15,0	14,2	14,2	14,0	14,8	16,3	17,2	16,5	16,4	15,0
MÍN	10,5	10,1	10,5	11,4	10,7	10,0	10,8	12,4	13,0	12,9	12,9	10,5
σ	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	0,8	0,7	1,0

Fuente: elaboración propia.

Anexo 23.

Radiación solar en un día despejado (MJ.m⁻².día⁻¹) en Puyo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	28,27	29,09	29,19	28,04	26,31	25,24	25,65	27,19	28,61	28,91	28,31	27,87
1989	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
1990	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
1991	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
1992	28,27	29,09	29,19	28,04	26,31	25,24	25,65	27,19	28,61	28,91	28,31	27,87
1993	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
1994	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
1995	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
1996	28,27	29,09	29,19	28,04	26,31	25,24	25,65	27,19	28,61	28,91	28,31	27,87
1997	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
1998	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
1999	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2000	28,27	29,09	29,19	28,04	26,31	25,24	25,65	27,19	28,61	28,91	28,31	27,87
2001	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2002	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2003	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2004	28,27	29,09	29,19	28,04	26,31	25,24	25,65	27,19	28,61	28,91	28,31	27,87
2005	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2006	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2007	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2008	28,27	29,09	29,19	28,04	26,31	25,24	25,65	27,19	28,61	28,91	28,31	27,87
2009	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2010	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2011	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2012	28,27	29,09	29,19	28,04	26,31	25,24	25,65	27,19	28,61	28,91	28,31	27,87
2013	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2014	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2015	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
2016	28,27	29,09	29,19	28,04	26,31	25,24	25,65	27,19	28,61	28,91	28,31	27,87
2017	28,25	29,07	29,20	28,09	26,36	25,25	25,61	27,14	28,58	28,92	28,33	27,87
̄	28,25	29,07	29,20	28,08	26,35	25,24	25,62	27,15	28,59	28,92	28,32	27,87
MÁX	28,27	29,09	29,20	28,09	26,36	25,25	25,65	27,19	28,61	28,92	28,33	27,87
MÍN	28,25	29,07	29,19	28,04	26,31	25,24	25,61	27,14	28,58	28,91	28,31	27,87

Fuente: elaboración propia.

Anexo 24.

Radiación neta solar o de onda corta

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	8,72	9,54	8,73	9,96	8,82	8,11	9,06	10,48	11,63	11,97	10,06	9,49
1989	8,10	9,28	9,87	8,99	9,19	8,61	9,03	11,14	12,37	11,56	11,76	11,52
1990	10,46	9,75	9,99	10,18	9,51	8,13	9,42	10,61	11,87	12,17	10,50	9,97
1991	10,35	10,39	9,80	9,79	10,13	9,81	8,41	9,52	11,40	11,78	10,90	9,83
1992	10,37	9,84	9,32	10,07	10,59	9,52	10,18	10,59	11,64	11,25	11,23	9,62
1993	9,81	9,95	9,92	10,10	10,90	9,29	10,68	11,69	11,13	10,73	10,88	9,75
1994	10,06	8,91	8,78	9,17	9,15	9,48	10,10	11,19	11,19	11,87	10,85	9,44
1995	10,11	11,93	10,49	8,79	9,65	9,65	11,38	12,46	12,75	11,91	11,34	10,39
1996	8,72	9,82	9,40	10,78	9,89	9,06	10,20	11,02	12,90	11,70	12,64	10,94
1997	10,76	9,53	9,63	9,72	8,56	10,21	9,38	11,25	11,48	12,46	10,00	9,37
1998	9,83	10,17	9,83	10,15	9,21	8,41	8,83	11,15	12,78	12,01	10,83	10,99
1999	9,26	9,90	11,52	9,76	9,41	9,38	9,24	10,52	10,74	9,95	10,68	8,69
2000	8,11	7,76	9,00	10,30	9,76	9,21	9,38	10,32	11,62	12,06	11,37	9,81
2001	9,88	9,15	10,28	9,94	10,46	9,55	9,42	9,52	12,29	12,43	11,13	10,57
2002	10,90	9,28	9,03	9,65	8,82	8,88	8,34	10,40	12,28	11,06	10,32	8,06
2003	8,52	9,01	9,71	10,35	8,23	8,56	8,76	9,57	10,92	11,73	11,06	9,21
2004	11,16	9,86	9,04	10,09	9,88	8,35	9,00	11,09	10,89	12,18	11,60	10,62
2005	11,02	9,78	9,19	8,94	9,74	9,01	10,21	11,43	12,08	10,94	11,14	10,35
2006	9,72	9,35	9,92	9,99	9,42	9,07	9,72	11,00	12,78	12,49	10,92	9,67
2007	8,91	11,41	9,74	10,21	9,59	7,72	10,68	10,84	10,91	10,90	11,15	9,76
2008	9,09	9,63	9,88	9,96	8,68	8,83	8,91	11,17	11,73	12,00	10,95	9,84
2009	8,65	8,85	9,56	9,09	10,80	9,43	9,61	10,62	12,96	12,60	11,28	9,78
2010	11,05	10,44	10,83	10,62	9,91	8,62	9,91	10,12	13,02	12,27	11,32	9,85
2011	10,75	9,05	10,16	10,83	8,93	9,14	8,93	11,69	11,69	12,22	11,79	9,68
2012	9,25	8,78	9,46	10,70	9,50	10,76	9,54	12,04	11,73	12,06	11,00	9,96
2013	8,96	8,50	8,43	9,22	9,39	9,80	9,47	9,93	10,25	12,25	11,56	10,09
2014	9,35	8,72	8,10	9,78	9,99	9,08	9,46	10,59	11,53	11,22	10,62	9,40
2015	8,45	9,35	9,41	9,30	9,01	8,49	9,05	11,29	13,23	12,73	11,16	10,04
2016	10,80	9,66	9,37	10,96	9,78	8,87	8,85	11,42	10,04	12,06	9,92	8,95
2017	9,83	9,76	10,11	9,96	10,07	10,17	9,78	12,58	12,31	11,54	11,44	11,31
\bar{X}	9,70	9,58	9,62	9,91	9,57	9,11	9,50	10,91	11,80	11,80	11,05	9,90
MÁX	11,16	11,93	11,52	10,96	10,90	10,76	11,38	12,58	13,23	12,73	12,64	11,52
MÍN	8,10	7,76	8,10	8,79	8,23	7,72	8,34	9,52	10,04	9,95	9,92	8,06
σ	0,94	0,81	0,70	0,58	0,65	0,68	0,70	0,77	0,84	0,63	0,57	0,74

Fuente: elaboración propia.

Anexo 25.

Radiación neta de onda larga ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$) en Puyo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	1,58	1,88	1,44	2,24	1,95	1,71	2,12	2,59	2,91	3,07	2,26	2,01
1989	1,22	1,69	1,95	1,72	2,11	1,98	2,10	2,93	3,27	2,86	3,14	3,09
1990	2,44	1,97	2,07	2,37	2,33	1,74	2,29	2,61	2,96	3,17	2,46	2,28
1991	2,39	2,24	1,98	2,12	2,69	2,70	1,78	2,01	2,74	2,88	2,64	2,19
1992	2,42	2,01	1,73	2,31	2,95	2,52	2,71	2,61	2,90	2,66	2,82	2,09
1993	2,10	2,01	1,99	2,30	3,09	2,34	2,99	3,19	2,64	2,42	2,65	2,15
1994	2,23	1,52	1,44	1,82	2,11	2,45	2,67	2,89	2,69	3,00	2,63	2,00
1995	2,25	3,01	2,30	1,65	2,38	2,61	3,42	3,59	3,45	3,03	2,90	2,48
1996	1,55	1,95	1,75	2,66	2,52	2,23	2,71	2,82	3,50	2,91	3,52	2,74
1997	2,59	1,81	1,86	2,08	1,78	2,90	2,28	2,96	2,86	3,32	2,22	1,98
1998	2,16	2,23	2,03	2,41	2,20	1,89	2,03	2,93	3,46	3,06	2,63	2,79
1999	1,84	2,00	2,78	2,10	2,22	2,43	2,20	2,54	2,47	2,02	2,56	1,62
2000	1,24	0,94	1,53	2,38	2,45	2,33	2,29	2,49	2,89	3,07	2,92	2,17
2001	2,11	1,62	2,16	2,20	2,82	2,48	2,34	2,07	3,22	3,34	2,81	2,62
2002	2,66	1,73	1,58	2,07	1,95	2,12	1,76	2,54	3,22	2,60	2,34	1,30
2003	1,47	1,60	1,91	2,44	1,61	1,97	1,96	2,15	2,59	2,97	2,76	1,88
2004	2,84	1,99	1,59	2,31	2,54	1,85	2,13	2,86	2,53	3,18	3,07	2,62
2005	2,76	1,99	1,66	1,73	2,47	2,25	2,74	3,04	3,10	2,54	2,82	2,47
2006	2,06	1,76	2,00	2,24	2,23	2,24	2,49	2,85	3,46	3,37	2,68	2,14
2007	1,70	2,77	1,93	2,39	2,35	1,49	3,04	2,77	2,51	2,51	2,78	2,16
2008	1,73	1,87	1,96	2,22	1,85	2,12	2,06	2,93	2,92	3,06	2,70	2,20
2009	1,52	1,49	1,84	1,78	3,02	2,47	2,47	2,69	3,57	3,43	2,90	2,20
2010	2,75	2,34	2,50	2,61	2,56	2,02	2,63	2,42	3,58	3,22	2,91	2,22
2011	2,57	1,60	2,11	2,65	1,98	2,30	2,08	3,20	2,92	3,21	3,13	2,11
2012	1,82	1,44	1,77	2,62	2,30	3,19	2,39	3,35	2,92	3,12	2,74	2,27
2013	1,70	1,33	1,29	1,84	2,27	2,67	2,35	2,30	2,23	3,19	3,02	2,34
2014	1,89	1,45	1,12	2,14	2,60	2,27	2,38	2,63	2,85	2,68	2,54	1,98
2015	1,42	1,77	1,77	1,89	2,04	1,93	2,17	3,03	3,73	3,46	2,82	2,31
2016	2,68	1,94	1,79	2,79	2,50	2,14	2,02	3,08	2,13	3,13	2,21	1,76
2017	2,10	1,95	2,10	2,24	2,64	2,92	2,51	3,70	3,27	2,85	2,94	2,97
\bar{X}	2,06	1,86	1,86	2,21	2,35	2,28	2,37	2,79	2,98	2,98	2,75	2,24
MÁX	2,84	3,01	2,78	2,79	3,09	3,19	3,42	3,70	3,73	3,46	3,52	3,09
MÍN	1,22	0,94	1,12	1,65	1,61	1,49	1,76	2,01	2,13	2,02	2,21	1,30
σ	0,48	0,41	0,34	0,30	0,36	0,38	0,38	0,40	0,41	0,33	0,29	0,38

Fuente: elaboración propia.

Anexo 26.

Flujo del calor del suelo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$) en Puyo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	-0,05	0,02	-0,04	-0,05	-0,06	-0,08	0,02	0,09	0,06	0,02	-0,06	-0,11
1989	-0,06	0,05	0,06	-0,01	-0,06	-0,05	0,03	0,08	0,06	0,08	0,06	-0,07
1990	-0,08	0,01	0,02	-0,01	-0,06	-0,10	0,00	0,09	0,08	0,04	-0,04	0,02
1991	0,04	-0,01	-0,04	-0,02	0,02	-0,07	-0,08	0,05	0,08	0,04	0,01	0,02
1992	0,04	-0,01	0,01	0,00	-0,06	-0,11	-0,01	0,05	0,04	0,04	-0,01	-0,05
1993	-0,02	-0,01	0,02	0,06	-0,04	-0,10	-0,01	0,05	0,04	0,06	0,04	-0,03
1994	-0,01	-0,01	0,01	-0,03	-0,04	-0,05	0,00	0,08	0,08	0,03	-0,02	-0,01
1995	0,01	0,00	-0,01	-0,04	-0,04	0,00	0,01	0,04	0,03	0,01	-0,02	-0,09
1996	-0,08	0,04	0,05	0,02	-0,07	-0,08	0,00	0,10	0,06	0,04	-0,01	-0,04
1997	0,01	-0,01	0,05	-0,04	0,00	-0,02	-0,01	0,09	0,10	-0,01	-0,06	0,04
1998	0,04	-0,01	-0,02	-0,01	-0,10	-0,08	0,03	0,06	0,04	0,04	-0,01	-0,08
1999	-0,05	0,04	-0,02	-0,06	0,00	-0,05	-0,01	0,10	0,03	0,03	0,04	-0,05
2000	-0,04	-0,01	-0,02	0,00	-0,02	-0,07	-0,01	0,08	0,09	0,07	-0,04	-0,08
2001	-0,02	0,01	0,00	0,01	-0,07	-0,06	0,04	0,04	0,10	0,08	-0,01	-0,05
2002	-0,04	-0,02	0,01	0,02	-0,06	-0,06	0,03	0,07	0,04	0,00	-0,02	0,00
2003	0,01	-0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,04	-0,01	0,06	0,12	0,04	-0,07	0,04
2004	0,07	-0,05	-0,01	0,00	-0,08	-0,07	0,00	0,02	0,08	0,08	-0,01	0,00
2005	0,03	-0,03	-0,01	0,02	-0,02	-0,11	-0,04	0,06	0,05	0,04	0,00	-0,06
2006	-0,04	0,01	0,01	-0,02	-0,06	-0,01	0,04	0,04	0,08	0,03	-0,06	-0,01
2007	0,00	0,00	-0,04	0,00	-0,09	-0,05	0,06	-0,01	0,02	0,04	-0,01	-0,02
2008	-0,03	0,00	0,04	-0,02	-0,04	-0,01	0,04	0,06	0,04	0,05	-0,02	-0,09
2009	-0,06	0,05	0,06	0,01	-0,04	-0,04	0,03	0,06	0,08	0,05	-0,04	-0,02
2010	0,02	0,01	-0,04	-0,05	-0,06	-0,05	0,03	0,05	0,04	0,02	-0,05	-0,04
2011	0,00	-0,03	0,04	0,01	-0,05	-0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	-0,05	-0,06
2012	-0,02	-0,01	0,06	0,01	-0,04	-0,02	0,01	0,03	0,06	0,08	-0,03	-0,04
2013	0,00	0,02	0,04	-0,03	-0,06	-0,08	-0,01	0,07	0,08	0,06	-0,01	-0,06
2014	-0,02	-0,01	-0,01	0,03	-0,03	-0,08	0,00	0,05	0,05	0,03	0,00	-0,07
2015	-0,06	0,03	-0,01	0,00	-0,02	-0,03	0,04	0,11	0,07	-0,01	-0,08	0,03
2016	0,08	-0,04	0,02	-0,03	-0,09	-0,08	0,04	0,06	0,08	0,08	-0,04	-0,11
2017	-0,06	0,02	0,04	0,03	-0,03	-0,06	0,00	0,08	0,01	0,00	0,02	-0,04
\bar{X}	-0,01	0,00	0,01	-0,01	-0,05	-0,06	0,01	0,06	0,06	0,04	-0,02	-0,04
MÁX	0,08	0,05	0,06	0,06	0,02	0,00	0,06	0,11	0,12	0,08	0,06	0,04
MÍN	-0,08	-0,05	-0,04	-0,06	-0,10	-0,11	-0,08	-0,01	0,01	-0,01	-0,08	-0,11
σ	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04

Fuente: elaboración propia.

Anexo 27.

Velocidad de viento a 2 m de altura en Puyo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	0,11	0,13	0,12	0,17	0,17	0,20	0,16	0,17	0,19	0,25	0,20	0,24
1989	0,17	0,23	0,19	0,23	0,14	0,18	0,18	0,20	0,25	0,36	0,27	0,34
1990	0,28	0,26	0,28	0,29	0,27	0,24	0,31	0,28	0,33	0,32	0,26	0,26
1991	0,24	0,23	0,26	0,24	0,27	0,29	0,25	0,26	0,32	0,31	0,32	0,28
1992	0,63	0,25	0,27	0,29	0,28	0,26	0,29	0,27	0,32	0,31	0,33	0,27
1993	0,26	0,24	0,23	0,36	0,23	0,22	0,26	0,31	0,27	0,26	0,25	0,24
1994	0,22	0,20	0,27	0,25	0,17	0,18	0,25	0,14	0,19	0,30	0,23	0,38
1995	0,13	0,13	0,19	0,23	0,21	0,12	0,08	0,09	0,21	0,25	0,25	0,26
1996	0,17	0,23	0,19	0,23	0,14	0,18	0,18	0,20	0,25	0,25	0,27	0,23
1997	0,22	0,19	0,21	0,21	0,18	0,24	0,21	0,20	0,28	0,35	0,23	0,24
1998	0,24	0,23	0,21	0,21	0,19	0,20	0,18	0,24	0,25	0,25	0,32	0,26
1999	0,27	0,28	0,28	0,21	0,24	0,25	0,22	0,24	0,28	0,26	0,29	0,32
2000	0,37	0,24	0,35	0,42	0,32	0,26	0,28	0,28	0,33	0,28	0,27	0,22
2001	0,22	0,19	0,22	0,23	0,24	0,21	0,19	0,20	0,23	0,20	0,20	0,23
2002	0,20	0,19	0,16	0,23	0,18	0,15	0,15	0,18	0,19	0,19	0,19	0,13
2003	0,14	0,17	0,14	0,19	0,16	0,13	0,19	0,25	0,26	0,31	0,33	0,28
2004	0,32	0,23	0,26	0,30	0,31	0,21	0,22	0,25	0,22	0,31	0,32	0,27
2005	0,32	0,26	0,23	0,22	0,25	0,24	0,26	0,24	0,28	0,29	0,27	0,25
2006	0,22	0,20	0,25	0,26	0,26	0,24	0,25	0,27	0,31	0,31	0,33	0,28
2007	0,22	0,28	0,26	0,24	0,32	0,17	0,25	0,22	0,29	0,33	0,33	0,25
2008	0,21	0,19	0,17	0,21	0,20	0,22	0,20	0,21	0,25	0,26	0,25	0,21
2009	0,18	0,18	0,20	0,22	0,21	0,28	0,31	0,32	0,35	0,32	0,29	0,27
2010	0,27	0,31	0,30	0,25	0,24	0,18	0,24	0,22	0,28	0,31	0,29	0,23
2011	0,29	0,29	0,34	0,34	0,31	0,30	0,26	0,36	0,36	0,37	0,35	0,31
2012	0,28	0,25	0,28	0,32	0,25	0,32	0,26	0,30	0,32	0,32	0,30	0,33
2013	0,23	0,22	0,27	0,26	0,27	0,27	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,35
2014	0,30	0,26	0,25	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33	0,36	0,35	0,34	0,33
2015	0,25	0,29	0,27	0,30	0,28	0,33	0,36	0,38	0,39	0,41	0,36	0,31
2016	0,31	0,29	0,31	0,35	0,31	0,30	0,28	0,36	0,35	0,34	0,34	0,31
2017	0,31	0,40	0,28	0,27	0,28	0,43	0,24	0,32	0,34	0,37	0,36	0,34
\bar{X}	0,25	0,23	0,24	0,26	0,24	0,24	0,24	0,26	0,29	0,30	0,29	0,27
MÁX	0,63	0,40	0,35	0,42	0,32	0,43	0,36	0,38	0,39	0,41	0,40	0,38
MÍN	0,11	0,13	0,12	0,17	0,14	0,12	0,08	0,09	0,19	0,19	0,19	0,13
σ	0,09	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05

Fuente: INAMHI.