



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE HIDRÁULICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
ESTUDIO DEL BALANCE HÍDRICO DEL SITIO GARRAPATA Y SU
USO EN LAS PROGRAMACIONES EFICIENTES DE RIEGO EN CACAO,
PLÁTANO Y PASTOS DE PASTOREO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERA HIDRÁULICA**

**AUTORAS
HILARY DALESSKA MENDOZA NEVÁREZ
NANCY PAMELA SALDARRIAGA ZAMBRANO**

**TUTOR
ING. JESÚS ENRIQUE CHAVARRÍA PÁRRAGA, M.SC.**

PORTOVIEJO, DICIEMBRE 2023

Certificación de la Tesis

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M.Sc.

Tutor del plan de investigación curricular

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M. Sc.

C.I. 130827219-2

Aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí:

(F)_____

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M. Sc.

Presidente del Tribunal

(F)_____

Ing. Fabián Espinales Cedeño, M. Sc.

Primer Lector

(F)_____

Ing. Juan Fernando Quiroz, M. Sc.

Segundo Lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito, no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en la información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Autoras:

F. _____
Hilary Dalesska Mendoza Nevárez
Dirección: Chone, Atahualpa y 24 de julio
E-mail: hmendoza7805@pucesm.edu.ec
Celular: 0979948335

F. _____
Nancy Pamela Saldarriaga Zambrano
Dirección: Chone, By-pass, Tacheve
E-mail: nsaldarriaga3933@pucesm.edu.ec
Celular: 0996355405

Declaración de Derecho del Autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos, con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Autoras:

F. _____
Hilary Dalesska Mendoza Nevárez
C.I: 1315677805

F. _____
Nancy Pamela Saldarriaga Zambrano
C.I: 1314703933

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mis padres, por su respaldo total e incondicional en todos estos años, el cual ha sido fundamental para cumplir mis metas.

Agradecimiento

Agradezco a mis padres, Mario Mendoza y Viviana Nevárez, por su cariño, trabajo y sacrificio, que me han impulsado a lo largo de toda la carrera.

Mis abuelos, Graciela Cornejo y Maurilio Mendoza, por sus consejos y palabras de aliento, así mismo su apoyo incondicional durante todo momento.

A Isa y Elian, cuya amistad tuve la suerte de encontrar y mantener, gracias por siempre estar a mi lado.

A nuestro tutor de tesis M.Sc. Jesús Enrique Chavarría Párraga por su paciencia y orientación, que hicieron posible realizar este trabajo.

A mis compañeros y docentes que conocí a lo largo de la carrera, agradezco su apoyo y todas las enseñanzas impartidas.

Hilary Daleska Mendoza Nevárez

Dedicatoria

A las tres personas que han sido la razón de mi persistencia en este camino académico: mi querido padre el señor Fredy Saldarriaga Zambrano, cuyas enseñanzas y apoyo han forjado la base de mi educación; mi amada madre la señora Nancy Zambrano Holguín, cuyo amor y sacrificio han sido la fuerza en momentos de duda y dificultad, quien ha sido mi faro en las noches oscuras, iluminando mi camino con su inquebrantable fe en mí y su paciencia infinita; y a mi hermano el Ing. Alejandro Saldarriaga Zambrano, mi compañero de vida, su apoyo constante han sido un recordatorio de la importancia de la perseverancia en la búsqueda de nuestros sueños. Este logro es también suyo, cada paso que he dado en este camino ha sido respaldado por su amor. Sin su presencia constante este logro no habría sido posible.

Agradecimiento

Quiero empezar agradeciendo a Dios, por brindarme la fuerza y la sabiduría para completar este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados de mi carrera profesional. A mi madre la que con su apoyo ha sido mi mayor fortaleza, siendo su presencia constante en mi vida el regalo que valoro más allá de las palabras, gracias por creer en mí cuando a veces yo misma dudaba, a mi padre y a mi hermano, gracias por ser fuente de motivación, siendo sus palabras de aliento y ejemplo fundamentales en este camino. También, quiero agradecer a mi tutor de tesis el M.Sc. Jesús Chavarría Párraga por su orientación y constante ayuda a lo largo de este proceso, y a todos los que han formado parte de este viaje, desde aquellos que, con pequeños gestos de amabilidad, hicieron que cada día fuera un poco más especial, hasta aquellos que compartieron sus conocimientos y experiencias conmigo.

Nancy Pamela Saldarriaga Zambrano

Resumen

Esta investigación cuantitativa estableció el balance hídrico del sector Garrapata para generar tres programaciones de riego para cultivos de cacao, plátano y pastos de pastoreo, mediante microaspersión y aspersión, respecto a las necesidades hídricas reales de estos cultivos. Por esto, en este estudio exploratorio-experimental de mayo hasta agosto de 2023, se recopilaron datos climatológicos desde la estación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI MA0162 pertinentes del 2000 al 2022, estimando evapotranspiración de referencia (ET_o) y considerando características hidrofísicas del suelo para generar el balance hídrico. Los resultados señalan temperaturas mínimas de 18,1 °C y máximas de 29,10 °C; humedades relativas entre 72% y 89%; velocidades del viento entre 1,90 m/s y 2,20 m/s; horas de insolación mensuales máximas de 121,8 h y mínimas de 25,2 h; precipitaciones máximas de 296,81 mm en febrero y mínimas de 6,61 mm en agosto. Igualmente, el balance hídrico muestra periodos de sequía de mayo hasta diciembre, siendo agosto el más seco, y periodos de lluvias desde enero hasta abril, con exceso registrado en febrero de 202,59 mm, con exceso y déficit hídrico anual de 514,11 mm y – 529,72 mm. La programación de riego para cacao muestra entre 1,95 mm y 3,63 mm necesidad neta de agua, con microaspersión cada tres días; para pasto entre 1,45 mm y 3,01 mm y para plátano entre 0,42 mm y 3,81 mm, los dos mediante aspersión cada cinco días. Utilizar estas herramientas mejora la gestión del agua y promueve prácticas agrícolas sostenibles en el sector Garrapata.

Palabras clave: evapotranspiración, cultivo, calendario de riego

Abstract

This quantitative research paper estimated the soil water balance at Garrapata hamlet to generate three irrigation schedules for cocoa, grazed grass and plantain crops with micro-sprinkler and sprinkler irrigation, regarding real water requirements. Hence, this exploratory–experimental study was conducted from May to August 2023; climatological data were collected from the National Institute for Meteorology and Hydrology (INAMHI, for its initials in Spanish) MA0162 station, period 2000–2022, while calculating reference evapotranspiration (ETo) and using the hydrophysical properties of soil to estimate the water balance. The findings show minimum and maximum temperatures of 18.1 °C and 29.10 °C; relative humidity ranging from 72% to 89%; wind speed ranging from 1.90 m/s and 2.20 m/s; 121.8 maximum monthly peak sun hours and 25.2 hours minimum monthly peak sun hours; 296.81 mm maximum rainfall in February and 6.61 mm minimum rainfall in August. The soil water balance shows drought periods from May to December, being August the driest one, and rainy periods from January to April, with 202.59 mm of excess rainfall recorded in February and 514.11 mm. and – 529.72 mm of excess and annual water deficit. The irrigation scheduling for cocoa crop shows values of 1.95 mm and 3.63 mm net water requirement using micro-sprinkler irrigation every three days; for grass values of 1.45 mm and 3.01 mm and for plantain values of 0.42 mm and 3.81 mm using sprinkler irrigation every five days in both cases. Using these tools helps to improve water management and promotes local sustainable agriculture practices.

Keywords: evapotranspiration, crop, irrigation schedule

Índice

Certificación de la Tesis	2
Aprobación del Tribunal	3
Declaración de Originalidad	4
Declaración de Derecho del Autor.....	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Resumen	8
Abstract	9
Índice de Tabla	12
Índice de Figuras.....	14
Índice de Fórmulas.....	15
Introducción.....	16
Materiales y Métodos.....	19
Tipo de investigación	19
Características del lugar	19
Localización.....	19
Condiciones climatológicas.....	20
Equipos y materiales	21
Materiales de campo.....	21
Materiales de oficina	21
Métodos	22

Base climatológica	22
Propiedades hidrofísicas del suelo	24
Programación de riego mediante aspersión (FAO, 2008):	26
Programación de riego mediante microaspersión (FAO, 2008):	30
Resultados y Discusión	33
Conclusiones.....	42
Bibliografía.....	43
Anexos.....	49

Índice de Tabla

Tabla 1: Condiciones climatológicas mensuales promedio desde el año 1990 al 2012	20
Tabla 2: Espaciamiento de aspersores según la velocidad del viento	29
Tabla 3: Base climatológica para el sitio Garrapata desde el año 2000 al 2022.....	33
Tabla 4: Evapotranspiración de referencia (ET _o).	34
Tabla 5: Propiedades hidrofísicas del suelo	35
Tabla 6: Propiedades hidrofísicas del suelo	36
Tabla 7: Balance hídrico del sitio Garrapata.....	37
Tabla 8: Programación de riego mediante aspersión para cultivo de pasto	38
Tabla 9: Programación de riego mediante aspersión para cultivo de plátano	40
Tabla 10: Programación de riego mediante microaspersión para cultivo de cacao	41
Tabla 11: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2000	49
Tabla 12: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2001	49
Tabla 13: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2002	50
Tabla 14: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2003	50
Tabla 15: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2004	51
Tabla 16: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2005	51
Tabla 17: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2006	52
Tabla 18: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2007	52
Tabla 19: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2008	53
Tabla 20: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2009	53
Tabla 21: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2010	54
Tabla 22: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2011	54

Tabla 23: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2012	55
Tabla 24: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2013	55
Tabla 25: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2014	56
Tabla 26: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2015	56
Tabla 27: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2016	57
Tabla 28: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2017	57
Tabla 29: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2018	58
Tabla 30: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2019	58
Tabla 31: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2020	59
Tabla 32: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2021	59
Tabla 33: Datos de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2022	60
Tabla 34: Datos promedios de la estación m MA0162 desde el año 2000 - 2022.....	60

Índice de Figuras

Figura 1: Localización del sitio Garrapata, Chone.....	19
--	----

Índice de Fórmulas

Fórmula 1: Sumatoria estadística	22
Fórmula 2: Media estadística	22
Fórmula 3: Evapotranspiración de referencia mediante Penman Monteith FAO56	23
Fórmula 4: Balance hídrico	24
Fórmula 5: Reserva de agua disponible	24
Fórmula 6: Evapotranspiración del cultivo ETc	25
Fórmula 7: Precipitación efectiva mensual	26
Fórmula 8: Precipitación efectiva diaria	26
Fórmula 9: Necesidad neta de agua del cultivo	26
Fórmula 10: Lámina neta de riego	27
Fórmula 11: Requerimiento de lavado de baja frecuencia	27
Fórmula 12: Lámina total de riego	27
Fórmula 13: Frecuencia de riego	28
Fórmula 14: Lámina neta ajustada	28
Fórmula 15: Lámina total de riego ajustada	28
Fórmula 16: Intensidad de aplicación	29
Fórmula 17: Tiempo de riego	29
Fórmula 18: Precipitación efectiva mensual	30
Fórmula 19: Precipitación efectiva diaria	30
Fórmula 20: Necesidad neta de agua del cultivo	30
Fórmula 21: Volumen de agua diario	31
Fórmula 22: Requerimiento de lavado de alta frecuencia	31
Fórmula 23: Volumen total	31
Fórmula 24: Tiempo de riego	32

Introducción

El agua es la base sobre la que se sustenta la vida del planeta, la producción de alimentos y la conservación de los ecosistemas, considerándola como el oro azul de este siglo (Delgado *et al.*, 2017), evidenciándose ante ello una afección de este recurso por la explotación de los acuíferos, la reducción de caudales naturales en los ríos, la contaminación en los causes con desperdicios humanos, agrícolas e industriales, las inundaciones, las sequías recurrentes, entre otras (Pérez, 2021); por lo que resulta conveniente buscar medidas de mitigación de estos efectos para alcanzar una gestión adecuada del recurso hídrico.

Siendo un reto el uso racional del agua dulce en América Latina, debido a que posee una presencia en abundancia con una representación del 65% a escala mundial según lo señala las Naciones Unidas (Yáñez y Villacís, 2016); donde a razón del incremento poblacional de hasta cuatro veces más en el último siglo, se ha elevado su demanda con mayor magnitud, principalmente en las actividades agrícolas con una representación en gastos igual al 65%, seguido de las industrias con un gasto del 25%, y finalmente en el uso doméstico con un gasto del 10%, acrecentando los efectos ante el cambio climático (Chai *et al.*, 2016; Galli *et al.*, 2012).

Es por ello que en la búsqueda de garantizar la seguridad alimentaria y el uso sostenible del agua se proyectan estudios de balance hídrico para programaciones eficientes de riego que aporten a la preservación del medio ambiente (Hagbrink, 2020); los cuales permiten valorar de forma cuantitativa el recurso hídrico presente en una cuenca hidrográfica para estimar sus ingresos, pérdidas y ganancias, haciendo posible caracterizarla morfométricamente, generar una planificación hidrológica, proyectar los caudales de diseño, solucionar los problemas hidráulicos, determinar los excesos o déficits, entre otros (Cantos, 2020).

El balance hídrico considera las entradas y salidas de un sistema, proporcionando información clave para tomar decisiones sobre cuándo y cuánto regar, evitando los excesos como la escasez del agua (UNESCO, 2006). Por lo que es factible comprender la distribución del agua en un sitio, considerando la precipitación, evaporación y demanda para establecer una programación de riego basada en el análisis detallado del balance hídrico, con respuestas ante los desafíos actuales (Food and Agriculture Organization [FAO], 2013; Paredes, 2022).

El Ecuador alberga una diversidad de ecosistemas, climas y realidades socioeconómicas con una disponibilidad hídrica variante a lo largo del territorio, volviendo esencial buscar técnicas para su gestión. Se percibe en la provincia de Manabí tiempos de lluvias significativos que recargan los acuíferos, ríos y embalses, pero en las temporadas secas se enfrentan ante una demanda insostenible para el riego, la industria y el uso doméstico (Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research [CISPDR], 2016). Para ello la implementación de técnicas de riego eficiente y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles son esenciales para alcanzar un equilibrio y asegurar la viabilidad a largo plazo de la producción agrícola (Jaramillo *et al.*, 2006).

El cantón Chone perteneciente a la provincia de Manabí posee una extensión territorial de 3570.60 Km², y está conformado por nueve parroquias (dos urbanas y siete rurales), donde sus moradores se dedican principalmente al cultivo de pasto con una representación del 53.52% para la ganadería, de cacao en un 13.26% y de plátano en un 0.33% (Suango *et al.*, 2013). Donde la ejecución de programaciones de riego basadas en un balance hídrico permite incrementar los rendimientos de los cultivos al dotar a la planta de lo que requiere en función a la disponibilidad hídrica, ya que se conoce como se distribuye el agua a lo largo del año, lo que a su vez permite tomar decisiones en otros sectores productivos (SUBSECRETARÍA DE RIEGO Y DRENAJE, 2011).

Con estos antecedentes, la presente investigación tiene como objetivo general establecer el balance hídrico y su uso en las programaciones eficientes de riego en cultivos de cacao, plátano y pastos de pastoreo. Para dar cumplimiento, se pretende generar la base climatológica del sitio Garrapata con un historial de 22 años para la elaboración del balance hídrico. Luego se pretende estimar el balance hídrico, considerando los factores climáticos y las propiedades hidrofísicas del suelo. Y finalmente elaborar la programación de riego eficiente para los cultivos de cacao, plátano y pastos de pastoreo.

Materiales y Métodos

Tipo de investigación

La investigación fue de tipo cuantitativa ya que consideró una base de datos climatológicos de la zona para generar su balance hídrico y promover programaciones de riego eficientes.

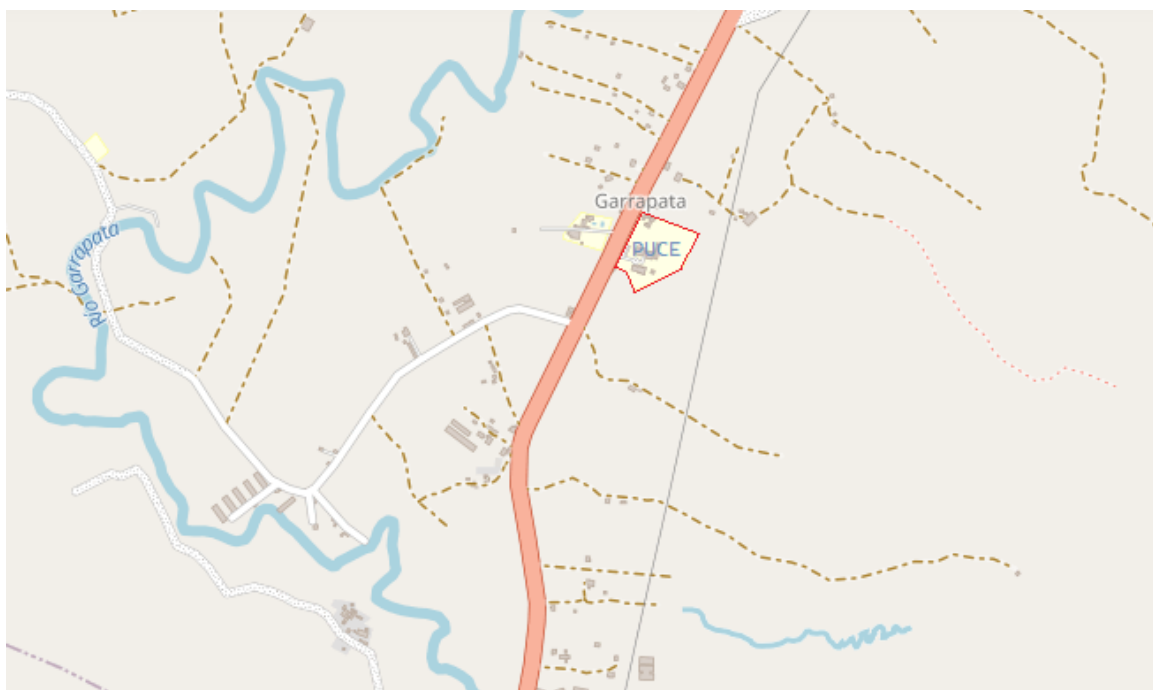
Características del lugar

Localización

La investigación se efectuó en el sitio Garrapata perteneciente a la parroquia rural Ricaurte del cantón Chone, considerando los datos climatológicos de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] M0162 desde el año 2000 al 2022, desarrollándose desde mayo a agosto del 2023.

Figura 1

Localización del sitio Garrapata, Chone.



Fuente: MAPCARTA (2023)

Condiciones climatológicas

El sitio Garrapata perteneciente al cantón Chone presenta temporadas lluviosas desde enero a mayo, temporadas secas desde junio a diciembre, con temperaturas oscilantes entre los 20.80°C y los 31.90°C, con velocidades promedio de viento entre 1,20 m/s a 2,50 m/s, con precipitaciones promedios entre los 9,60 mm y 323 mm (Reyes, 2023).

Tabla 1

Condiciones climatológicas mensuales promedio desde el año 1990 al 2012.

Mes	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	22,6	31,7	86	1,6	2,7	177,9	96,5
Febrero	22,9	31,0	89	1,2	2,5	323,0	84,1
Marzo	23,0	31,8	84	1,4	4,4	245,3	110,7
Abril	22,8	31,9	87	2,5	4,5	183,1	106,4
Mayo	22,6	30,9	87	1,3	3,3	61,1	94,0
Junio	21,6	29,6	88	1,3	2,5	33,3	82,5
Julio	21,1	29,5	87	1,6	2,7	19,1	87,4
Agosto	20,8	29,9	86	2,0	3,0	11,6	106,1
Septiembre	20,9	30,4	86	2,5	3,2	9,6	111,0
Octubre	21,2	30,1	85	2,3	3,1	11,7	105,9
Noviembre	21,4	30,7	84	2,0	2,7	20,1	110,1
Diciembre	22,0	30,9	81	2,0	2,4	73,9	110,6

Fuente: INAMHI (2023)

Equipos y materiales***Materiales de campo***

Cuaderno.

Lápiz.

Calculadora.

Cámara fotográfica.

Muestra de tierra.

Pala.

Cilindro para muestra de suelo.

Martillo de hule.

Navaja.

Materiales de oficina

Laptop.

Microsoft Excel.

Microsoft Word.

Software CropWat.

Impresora.

Métodos

Base climatológica

Para generar la base de datos meteorológica se optó por tomar la información de la estación MA0162 (Chone-U. Católica) perteneciente al INAMHI, desde el año 2000 al 2022; considerando la temperatura máxima, la temperatura mínima, la humedad relativa, la velocidad del viento, las horas sol y la precipitación. Esta información se promedió en Microsoft Excel de forma mensual y anual, mediante el empleo de sumatorias y medias estadísticas (ver fórmula 1 y fórmula 2) (Valdivieso *et al.*, 2021).

$$\sum_{i=1}^n x_i = X_1 + X_2 + \dots + X_N$$

Fórmula 1. Sumatoria estadística.

Donde:

Σ = Sumatoria estadística.

n = Número de observaciones.

X_1, X_2, X_N, X_i = Conjunto de observaciones.

$$\bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}$$

Fórmula 2. Media estadística.

Donde:

\bar{x} = Media estadística.

X_1, X_2, X_N = Conjunto de observaciones.

N = Número de observaciones.

Evapotranspiración de referencia.

Se estableció la evapotranspiración de referencia mediante el método de Penman Monteith FAO56 según la investigación efectuada por García y Puppo (2015):

Penman Monteith FAO56 (FAO, 2008).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Fórmula 3. Evapotranspiración de referencia mediante Penman Monteith FAO56.

Donde:

ET_o= Evapotranspiración de referencia (mm/día).

R_n= Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día).

G= Flujo del calor de suelo (MJ/m²/mdía).

T= Promedio diario de la temperatura del aire medio a 2 m de la altura (°C).

U₂= Velocidad del viento medio a 2 m de la altura (m/s).

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 curva de presión de vapor en función a temperatura del aire (K Pa/°C).

γ= Constante psicométrica (K Paz/°C).

Balance hídrico

Se estimó el balance hídrico de la zona a partir de los datos meteorológicos promedios, considerando la precipitación mensual (P) y la evapotranspiración de referencia (ET_o) como datos de entrada, valorando el balance hídrico a partir de la siguiente ecuación:

$$BH = P - ET_o - \Delta S$$

Fórmula 4. Balance hídrico.

Donde:

BH = Balance hídrico (mm)

P = Precipitación (mm).

ET_o = Evapotranspiración (mm).

ΔS = Variación de almacenamiento (mm).

En la fórmula $BH = P - ET_o - \Delta S$, se tiene en cuenta la variación de almacenamiento (ΔS) únicamente cuando el resultado de la resta entre la precipitación (P) y la evapotranspiración (ET_o) es positivo. Si la diferencia entre P y ET_o es negativa, la variación de almacenamiento no se considera en el cálculo del balance hídrico.

El término de la evapotranspiración ET_o se estimó al compararlo con la precipitación como se muestra a continuación:

$$ET_r = ET_o \text{ cuando } ET_o < P$$

$$ET_r = P \text{ cuando } ET_o > P$$

El “almacenamiento” y “excedente” mensual de humedad en el suelo se estimó en relación al valor $P - ET_o$, donde en los meses que $P - ET_o < 0$ es igual a cero, y si $P - ET_o > 0$ el “almacenamiento” se fijó en capacidad media y el “exceso” se fijó en $P - ET_o$ (Duque *et al.*, 2019).

Propiedades hidrofísicas del suelo

Se emplearon datos de las propiedades hidrofísicas del suelo en la zona de estudio mediante los resultados de la investigación efectuada por Loor (2015), donde se consideraron por

cada perfil de suelo su profundidad, densidad aparente, textura, capacidad de campo y punto de marchitez, pudiéndose determinar la reserva de agua disponible con la fórmula:

$$\mathbf{RAD} = \frac{\mathbf{CC} - \mathbf{PM}}{100} \mathbf{da} * \mathbf{Pr}$$

Fórmula 5. Reserva de agua disponible.

Donde:

RAD= Reserva de agua disponible (mm).

CC= Capacidad de campo (%).

PM= Punto de marchitez (%).

da= Densidad aparente (gr/cm³).

Pr = Profundidad (mm).

Evapotranspiración de cultivo.

La evapotranspiración del cultivo se generó mediante el coeficiente (**Kc**) y la evapotranspiración de referencia (**ET_o**) de la zona (FAO, 2008):

$$\mathbf{ETc} = \mathbf{ETo} * \mathbf{Kc}$$

Fórmula 6: Evapotranspiración del cultivo ETc.

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Kc= Coeficiente de los cultivos (adimensional).

ET_o= Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

Coeficiente del cultivo (Kc)

A partir de la información recopilada se generó una programación de riego para los cultivos del sitio Garrapata, proponiendo un riego por aspersión para el pasto con un coeficiente

Kc igual a 0,87 para su etapa de desarrollo según Gómez (2020), un riego por aspersión para el plátano considerando un coeficiente Kc igual a 0.50 para la etapa I, 1.10 para la etapa II y III; y un riego por microaspersión para el cacao considerando un coeficiente Kc igual a 1.05 para todas las etapas de desarrollo (FAO, 2006).

Programación de riego mediante aspersión (FAO, 2008):

Precipitación Efectiva (Pe)

$$Pe = 0.8P - 25 \quad P > 75 \text{ mm}$$

$$Pe = 0.6P - 10 \quad P < 75 \text{ mm}$$

Fórmula 7. Precipitación efectiva mensual

Donde:

Pe= Precipitación efectiva (mm).

P= Precipitación mensual (mm).

Precipitación Efectiva diaria (Pe_{diaria})

$$Pe_{diaria} = \frac{Pe}{Dm}$$

Fórmula 8. Precipitación efectiva diaria.

Donde:

Pe_{diaria}= Precipitación efectiva diaria (mm).

P= Precipitación mensual (mm).

Dm= Días del mes en análisis (mm).

Necesidad neta de agua del cultivo (Nn)

$$Nn = Pe_{diaria} - ETc$$

Fórmula 9. Necesidad neta de agua del cultivo.

Donde:

Nn = Necesidad neta de agua del cultivo (mm/día).

Pe_{diaria} = Precipitación efectiva diaria (mm).

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm).

Lámina neta de riego.

$$\mathbf{Ln} = \mathbf{RAD} * \mathbf{Fa}$$

Fórmula 10: Lámina neta de riego.

Donde:

Ln = Lámina neta de riego (mm).

RAD = Reserva de agua disponible (mm).

Fa = Fracción de agotamiento (mm).

Requerimiento de lavado de baja frecuencia.

$$\mathbf{RL} = \frac{\mathbf{CEa}}{5 (\mathbf{CEe} - \mathbf{CEa})}$$

Fórmula 11: Requerimiento de lavado de baja frecuencia.

Donde:

RL = Requerimiento de lavado de baja frecuencia (tanto por uno).

CEa = Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

CEe = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (dS/m).

Lámina total de riego.

$$\mathbf{LT} = \frac{\mathbf{Ln}}{\mathbf{Ea} (1 - \mathbf{RL})}$$

Fórmula 12: Lámina total de riego.

Donde:

LT = Lámina total de riego (mm).

Ln= Lámina neta (mm).

Ea= Eficiencia de aplicación del agua (%).

RL = Requerimiento de lavado (tanto por uno).

Frecuencia de riego.

$$\mathbf{Fr} = \frac{\mathbf{Ln}}{\mathbf{Nn}}$$

Fórmula 13: Frecuencia de riego.

Donde:

Fr= Frecuencia de riego (días).

Ln= Lámina neta (mm).

Nn = Necesidad neta de agua del cultivo (mm/día).

Lámina neta ajustada.

$$\mathbf{Lnaj} = \mathbf{Fr} * \mathbf{Nn}$$

Fórmula 14: Lámina neta ajustada.

Donde:

Lnaj = Lámina neta ajustada (mm).

Fr = Frecuencia de riego ajustada (días).

Nn = Necesidad neta de agua del cultivo (mm/día).

Lámina total de riego ajustada.

$$\mathbf{LTaj} = \frac{\mathbf{Lnaj}}{\mathbf{Ea} (1 - \mathbf{RL})}$$

Fórmula 15: Lámina total de riego ajustada.

Donde:

LTaj = Lámina total ajustada de riego (mm).

Ln = Lámina neta ajustada (mm).

Ea = Eficiencia de aplicación del agua (%).

RL = Requerimiento de lavado (tanto por uno).

Intensidad de aplicación.

$$\mathbf{Iap} = \frac{Qa}{Ea * El}$$

Fórmula 16: Intensidad de aplicación.

Donde:

Iap = intensidad de aplicación (mm/h).

Qa = caudal del aspersor expresado (l/h).

Ea = Espaciamiento entre aspersores (m).

El = Espaciamiento entre laterales (m).

Tabla 2

Espaciamiento de aspersores según la velocidad del viento.

Velocidad del viento (m/s)	Distancia Cuadrada
Sin viento	0,65 D
2	0,60 D
3,5	0,50 D
> 3,5	0,30 D

Nota: la letra "D" es igual a diámetro mojado del aspersor

Tiempo de riego.

$$\mathbf{Tr} = \frac{LTaj}{Iap}$$

Fórmula 17: Tiempo de riego.

Donde:

Tr = Tiempo de riego expresado (h).

LTaj = Lámina total del riego ajustada (mm).

Iap = Intensidad de aplicación expresado (mm/h).

Programación de riego mediante microaspersión (FAO, 2008):

Precipitación Efectiva (Pe)

$$Pe = 0.8P - 25 \quad P > 75 \text{ mm}$$

$$Pe = 0.6P - 10 \quad P < 75 \text{ mm}$$

Fórmula 18. Precipitación efectiva mensual

Donde:

Pe = Precipitación efectiva (mm).

P = Precipitación mensual (mm).

Precipitación Efectiva diaria (Pe_{diaria})

$$Pe_{diaria} = \frac{Pe}{Dm}$$

Fórmula 19. Precipitación efectiva diaria.

Donde:

Pe_{diaria} = Precipitación efectiva diaria (mm).

Pe = Precipitación mensual (mm).

Dm = Días del mes en análisis (mm).

Necesidad neta de agua del cultivo (Nn)

$$Nn = Pe_{diaria} - ETc$$

Fórmula 20. Necesidad neta de agua del cultivo.

Donde:

Nn = Necesidad neta de agua del cultivo (mm/día).

$P_{e\text{diaria}}$ = Precipitación efectiva diaria (mm).

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm).

Volumen de agua diario.

$$V_a = N_n * E_{eh} * E_{sh}$$

Fórmula 21: Volumen de agua diario.

Donde:

V_a = Volumen de agua diario requerido por la planta (lt/día).

N_n = Necesidad neta de agua del cultivo (mm/día).

E_{eh} = Espaciamiento de las plantas entre hileras (m).

E_{sh} = Espaciamiento de las plantas sobre la hilera (m).

Requerimiento de lavado de alta frecuencia.

$$RL = \frac{CE_a}{2 (\text{máx } CE_e)}$$

Fórmula 22: Requerimiento de lavado de alta frecuencia.

Donde:

RL = Requerimiento de lavado de alta frecuencia (tanto por uno).

CE_a = Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

CE_e = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (dS/m).

Volumen total.

$$V_t = \frac{V_a}{E_f (1 - RL)}$$

Fórmula 23: Volumen total.

Donde:

V_t = Volumen total diario (l/día).

V_a = Volumen de agua (lt/día).

Ef = Eficiencia de aplicación del agua de riego (%).

Tiempo de riego.

$$\mathbf{TR} = \frac{Vt * Fr}{Q * N}$$

Fórmula 24: Tiempo de riego.

Donde:

TR = Tiempo de riego (h).

Vt = Volumen total diario de agua a aplicar por planta (l/día/planta).

Fr = Frecuencia de riego (días).

Qe = Caudal de cada emisor (l/h).

Ne = Número de emisores (u).

La aplicación de las fórmulas y cálculos empleados en este estudio poseen una aplicabilidad directa en la agricultura del sitio Garrapata. La determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) por medio del método de Penman-Monteith, ofrecen a los agricultores locales una herramienta para la gestión eficiente del riego. La información que se obtiene sobre las necesidades hídricas de cultivos claves como el cacao, el plátano y los pastos de pastoreo se convierte en una guía para programar riegos más eficientes, contribuyendo a maximizar los rendimientos agrícolas y a utilizar de manera sostenible el recurso hídrico.

Los resultados obtenidos mediante estos cálculos no solo ofrecen una comprensión detallada del equilibrio hídrico en la zona específica de Garrapata, sino que también sientan las bases para futuras investigaciones que busquen optimizar aún más las estrategias de riego, siendo estos resultados una base sólida para la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles.

Resultados y Discusión

Para la elaboración de la base climatológica del sitio Garrapata desde el año 2000 al 2022, se captó la información desde la estación meteorológica MA0162 (Chone-U. Católica) del Instituto Nacional de meteorología e hidrología [INAMHI]; pudiéndose mencionar los valores promedios de temperaturas mínimas entre los 18,10 °C y los 24,10 °C, temperaturas máximas entre los 22,50 °C y los 29,12 °C, Humedades relativas desde el 72% hasta el 89%, velocidades del viento entre los 1,86 m/s y los 2,28 m/s, con horas de insolación máximas mensuales de 121,8 h y mínimas de 35,2 h, con precipitaciones promedios máximas durante el mes de febrero igual a 296,81 mm, y mínimas durante el mes de agosto de 6,61 mm (ver tabla 3).

Tabla 3

Base climatológica para el sitio garrapata desde el año 2000 al 2022.

Mes	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)
Enero	28,4	23,6	88%	2,1	35,2	200,1
Febrero	28,5	24,1	89%	2,2	76,3	296,8
Marzo	29,1	24,4	88%	2,3	95,9	259,4
Abril	29,1	24,4	88%	2,1	101	155,4
Mayo	28,5	23,6	85%	2,1	59,4	66,8
Junio	27,4	22,7	85%	1,9	56,6	24,7
Julio	27,2	22,4	84%	2,0	74,5	16,0
Agosto	27,2	22,2	87%	2,2	102,2	6,6
Septiembre	27,6	22,0	82%	2,2	121,8	9,3
Octubre	26,2	21,4	77%	2,1	82,9	11,4
Noviembre	25,0	19,0	72%	1,9	80,6	7,9
Diciembre	22,5	18,1	72%	1,9	94	61,4

Los resultados obtenidos poseen igual orden de magnitud con la investigación efectuada por Ayala *et al.*, (2018) y Reyes (2023), quienes consiguieron valores de temperaturas medias anuales máximas de 33,6 °C y mínimas de 20,1 °C, humedades relativas entre el 81% y el 89%, velocidades del viento promedio entre 1,20 m/s y 2,50 m/s, horas de insolación diaria entre 2,4 horas y 4,50 horas, precipitaciones promedio entre los 9,60 mm y 323 mm; a la par la metodología implementada guarda relación con lo mencionado por Losada y Izaguirre (2016), quienes señalan que una base de datos climatológicos son de gran ayuda para evaluar variables climáticas, plantear medidas de adaptación y realizar un análisis económico.

Con la información climatológica base se estimó la evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante el método de Penman Monteih FAO56, consiguiendo valores entre los 2,44 mm/día hasta los 3,46 mm/día cómo se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Evapotranspiración de referencia (ET_o).

Mes	Evapotranspiración de Referencia (mm/mes)	Evapotranspiración de Referencia (mm/día)
Enero	75,64	2,44
Febrero	82,60	2,95
Marzo	97,96	3,16
Abril	94,80	3,16
Mayo	86,18	2,78
Junio	77,70	2,59
Julio	84,63	2,73
Agosto	91,14	2,94

Evapotranspiración de referencia (ET_o).

Mes	Evapotranspiración	Evapotranspiración
	de Referencia (mm/mes)	de Referencia (mm/día)
Septiembre	103,80	3,46
Octubre	101,99	3,29
Noviembre	96,90	3,23
Diciembre	91,45	2,95

En la tabla 5 y 6 se muestran las propiedades hidrofísicas del suelo del sitio Garrapata, siendo una variable influyente en el balance hídrico para conocer su almacenamiento, donde se puede destacar que se generó una calicata a 150 cm de profundidad, donde se lograron determinar 8 perfiles diferentes de suelo con texturas de tipo franco arcillosas y arcillosas, con una capacidad de campo oscilante entre el 9% al 29%, y con un punto de marchitamiento variante entre el 4% al 10%; y en otra se identificaron 4 perfiles diferentes de suelo con texturas de tipo franco arenosa y franco limosa, con una capacidad de campo oscilante entre el 29,16% al 30,56%, y con un punto de marchitamiento variante entre el 16,04% al 16,78%

Tabla 5

Propiedades hidrofísicas del suelo, calicata 1.

Número de Perfil	Medida del perfil (cm)	Densidad Aparente (g/cc)	Textura	Capacidad		RAD (mm)
				de Campo (%)	Punto de Marchitez (%)	
1	11,0	1,248	Franco arcillosa	29	10	26,08
2	9,0	1,294	Arcillosa	39	2	8,15
3	11,0	1,325	Franco arcillosa	14	4	14,58
4	15,5	1,295	Arcillosa	39	2	14,05

Propiedades hidrofísicas del suelo, calicata 1.

Número de Perfil	Medida del perfil (cm)	Densidad Aparente (g/cc)	Textura	Capacidad		RAD (mm)
				de Campo (%)	Punto de Marchitez (%)	
5	20,5	1,286	Franco arcillosa	14	4	26,36
6	12,5	1,246	Franco arcillosa	14	4	15,58
7	10,0	1,212	Franco arcillosa	14	4	12,12
8	60,5	1,354	Franco arcillosa	14	4	81,92
Total						198,84

Fuente: *Loor, 2015.*

Tabla 6

Propiedades hidrofísicas del suelo, calicata 2.

Número de Perfil	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura	Capacidad		
					Densidad Aparente (g/cm ³)	de Campo (%)	Punto de Marchitez (%)
1	3,2	55,2	41,6	Franco limosa	1,53	29,16	16,04
2	0,8	49,6	49,6	Franco arenosa	1,50	30,20	16,61
3	3,2	55,2	41,6	Franco limosa	1,47	29,62	16,29
4	0,8	60,8	38,4	Franco limosa	1,45	30,52	16,78

Fuente: *Ramírez y Zambrano, 2023.*

En la tabla 7 se muestra el balance hídrico generado para el sitio Garrapata, el cual cubre los periodos de sequía de mayo hasta diciembre, con precipitaciones mensuales entre los 6,61 mm a los 66,75 mm, siendo agosto el mes más seco. La temporada de lluvias (PP > ETo) comprende desde enero a abril con precipitaciones entre los 155,35 mm y los 296,81 mm, con un exceso hídrico anual de 514,11 mm y un déficit hídrico anual de - 529,72 mm. En el mes más húmedo las

precipitaciones superan los 11,62 mm, observándose excedentes de agua principalmente en el mes de febrero con un aporte registrado en exceso de 202,59 mm.

Tabla 7

Balance hídrico del sitio Garrapata.

Meses	Precipitación P (mm)	ETo (mm)	P – ETo (mm)	Almacena- miento (mm)	Exceso (mm)	Déficit (mm)
Enero	200,08	75,64	124,44	11,62	112,82	-
Febrero	296,81	82,60	214,21	11,62	202,59	-
Marzo	259,36	97,96	161,40	11,62	149,78	-
Abril	155,35	94,80	60,55	11,62	48,93	-
Mayo	66,75	86,18	-19,43	11,62	-	-19,43
Junio	24,67	77,70	-53,03	-	-	-53,03
Julio	16,04	84,63	-68,59	-	-	-68,59
Agosto	6,61	91,14	-84,53	-	-	-84,53
Septiembre	9,28	103,80	-94,52	-	-	-94,52
Octubre	11,37	101,99	-90,62	-	-	-90,62
Noviembre	7,91	96,90	-88,99	-	-	-88,99
Diciembre	61,44	91,45	-30,01	-	-	-30,01

En relación del balance hídrico para el sitio Garrapata, los resultados no concuerdan con las investigaciones generadas por el Gobierno Autónomo Municipal del cantón Chone (2014); y Burgos y Carpio (2016), quienes señalan que la temporada húmeda se extiende desde diciembre hasta mayo, y los periodos de sequias comprenden de junio hasta noviembre. En relación al exceso y déficit hídrico anual estimados por Burgos y Carpio (2016), concuerdan en orden de

magnitud con la investigación efectuada, donde estimaron un exceso hídrico anual de 388,29, y un déficit hídrico anual de -401,556 mm.

A partir del balance hídrico generado se observa un excedente de agua por la precipitación efectiva durante los meses de enero hasta abril, pero a pesar que en los meses de mayo, junio y diciembre llueve, esta no satisface las necesidades del cultivo, debiéndose comenzar la programación de riego para el pasto de pastoreo, el plátano y el cacao del sitio Garrapata desde mayo hasta diciembre como se muestra a continuación.

Para el cultivo de pasto de pastoreo se propone una programación de riego mediante aspersión (ver tabla 8), con una eficiencia de aplicación del 75%, donde se repondrá el agua cada 5 días, a través de un emisor ubicado a un distanciamiento de 11,00 m entre hileras y de 11,00 m sobre hileras con un caudal de 385 l/h. La necesidad hídrica varía entre los 1,45 y 3,01 mm/día, donde con una conductividad eléctrica del agua de 0,475 dS/m, y del espécimen de 2,80 dS/m, se requiere reponer adicionalmente un 0,0408 de agua para el lavado de sales. Debiendo dotar a la planta una lámina de riego ajustada entre los 10,07 mm y los 20,92 mm, con un tiempo de aplicación entre las 3,17 horas y 6,58 horas.

Tabla 8

Programación de riego mediante microaspersión para cultivo de pasto.

Etapa	Fecha			ET _o (mm/día)	K _c	ET _c (mm/día)	P _e ^{diaria} (mm/día)	N _n (mm/día)	Fr (mm/día)	Lamina total de riego ajustada (mm)	Tiempo de riego (hr)
	Inicio	Fin	Días								
I	1-may	21-may	21	2,78	0,87	2,42	0,97	1,45	5	10,07	3,17
I	22-may	31-may	10	2,78	0,87	2,42	0,97	1,45	5	10,07	3,17
I	1-jun	11-jun	11	2,59	0,87	2,25	0,16	2,09	5	14,55	4,57
I	12-jun	30-jun	19	2,59	0,87	2,25	0,16	2,09	5	14,55	4,57
I	1-jul	2-jul	2	2,73	0,87	2,38	-0,01	2,38	5	16,51	5,19
I	3-jul	23-jul	21	2,73	0,87	2,38	-0,01	2,38	5	16,51	5,19
I	24-jul	31-jul	8	2,73	0,87	2,38	-0,01	2,38	5	16,51	5,19
I	1-agos	13-agos	13	2,94	0,87	2,56	-0,19	2,56	5	17,78	5,59

Programación de riego mediante microaspersión para cultivo de pasto.

Etapa	Fecha			ET _o (mm/día)	K _c	ET _c (mm/día)	P _e ^{diaria} (mm/día)	N _n (mm/día)	Fr (mm/día)	Lamina total de riego ajustada (mm)	Tiempo de riego (hr)
	Inicio	Fin	Días								
I	14-agos	31-agos	18	2,94	0,87	2,56	-0,19	2,56	5	17,78	5,59
I	1-sept	3-sept	3	3,46	0,87	3,01	-0,15	3,01	5	20,92	6,58
I	4-sept	24-sept	21	3,46	0,87	3,01	-0,15	3,01	5	20,92	6,58
I	25-sept	30-sept	6	3,46	0,87	3,01	-0,15	3,01	5	20,92	6,58
I	1-oct	15-oct	15	3,29	0,87	2,86	-0,10	2,86	5	19,89	6,25
I	16-oct	31-oct	16	3,29	0,87	2,86	-0,10	2,86	5	19,89	6,25
I	1-nov	5-nov	5	3,23	0,87	2,81	-0,18	2,81	5	19,53	6,14
I	6-nov	26-nov	21	3,23	0,87	2,81	-0,18	2,81	5	19,53	6,14
I	27-nov	30-nov	4	3,23	0,87	2,81	-0,18	2,81	5	19,53	6,14
I	1-dic	17-dic	17	2,95	0,87	2,57	0,87	1,70	5	11,82	3,71
I	18-dic	31-dic	14	2,95	0,87	2,57	0,87	1,70	5	11,82	3,71

Para el cultivo de plátano se propone una programación de riego mediante aspersión (ver tabla 9), con una eficiencia de aplicación del 75%, donde se repondrá el agua cada cinco días, a través de un emisor localizado a un distanciamiento de 11,00 m entre hileras y de 11,00 m sobre hileras con un caudal de 385 l/h. La necesidad hídrica varía entre los 0,42 y 3,81 mm/día, donde con una conductividad eléctrica del agua de 0,82 dS/m, y del espécimen de 2,20 dS/m, se requiere reponer adicionalmente un 0,1188 de agua para el lavado de sales.

La necesidad hídrica en la primera etapa comprendida durante los primeros 120 días varía entre los 0,42 mm/día y los 1,47 mm/día, debiéndose reponer una lámina de riego ajustada entre los 3,18 mm y los 11,12 mm, con un tiempo de aplicación entre las 1,00 hora y 3,50 horas. Durante la segunda etapa comprendida durante los siguientes 60 días la necesidad hídrica varía entre los 3,23 mm/día y los 3,81 mm/día, debiéndose reponer una lámina de riego ajustada entre los 24,47 mm y los 28,80 mm, con un tiempo de aplicación entre las 7,69 horas y 9,05 horas. La tercera etapa está comprendida durante los últimos 65 días con una necesidad hídrica variante

entre los 2,38 mm/día y los 3,62 mm/día, debiéndose reponer una lámina de riego ajustada entre los 17,99 mm y los 27,38 mm, con un tiempo de aplicación entre las 5,66 horas y 8,61 horas.

Tabla 9

Programación de riego mediante aspersión para cultivo de plátano.

Etapa	Fecha			ET _o (mm/día)	K _c	ET _c (mm/día)	P _e ^{diaria} (mm/día)	N _n (mm/día)	Fr (mm/día)	Lamina total de riego ajustada (mm)	Tiempo de riego (hr)
	Inicio	Fin	Días								
I	1-may	31-may	31	2,78	0,50	1,39	0,97	0,42	5	3,18	1,00
	1-jun	30-jun	30	2,59	0,50	1,30	0,16	1,13	5	8,59	2,70
	1-Jul	31-jul	31	2,73	0,50	1,37	-0,01	1,37	5	10,33	3,25
	1-agost	28-agost	28	2,94	0,50	1,47	-0,19	1,47	5	11,12	3,50
II	29-agost	31-agost	3	2,94	1,10	3,23	-0,19	3,23	5	24,47	7,69
	1-sept	30-sept	30	3,46	1,10	3,81	-0,15	3,81	5	28,80	9,05
	1-oct	27-oct	27	3,29	1,10	3,62	-0,10	3,62	5	27,38	8,61
III	28-oct	31-oct	4	3,29	1,10	3,62	-0,10	3,62	5	27,38	8,61
	1-nov	31-nov	30	3,23	1,10	3,55	-0,18	3,55	5	26,88	8,45
	1-dic	31-dic	31	2,95	1,10	3,25	0,87	2,38	5	17,99	5,66

Para el cultivo de cacao se propone una programación de riego mediante microaspersión (ver tabla 10), con una eficiencia de aplicación del 85%, donde se repondrá el agua cada tres días, a través de dos emisores por planta con un caudal de 40 l/h cada uno. La necesidad hídrica varía entre los 1,95 y 3,63 mm/día, donde con una conductividad eléctrica del agua de 0,475 dS/m, y del espécimen de 2,20 dS/m, se requiere adicionalmente aplicar un 0,11 para lavar sales.

La necesidad hídrica en la primera etapa comprendida durante los primeros 60 días varía entre los 1,95 mm/día y los 2,56 mm/día, debiéndose reponer un volumen de agua entre los 64,28 l/día y los 84,38 l/día, con un tiempo de aplicación entre las 4,82 horas y 6,33 horas. Durante la segunda etapa comprendida durante los siguientes 85 días la necesidad hídrica varía entre los 2,56 mm/día y los 3,63 mm/día, debiéndose reponer un volumen de agua entre los 84,38 l/día y los 119,78 l/día, con un tiempo de aplicación entre las 6,33 horas y 8,98 horas. La tercera etapa

comprendida durante los últimos 100 días tuvo una necesidad hídrica variante entre los 2,23 mm/día y los 3,63 mm/día, debiéndose reponer un volumen de agua entre los 73,55 l/día y los 119,78 l/día, con un tiempo de aplicación entre las 5,52 horas y 8,98 horas.

Tabla 10

Programación de riego mediante microaspersión para cultivo de cacao.

Etapa	Fecha		Días	ET _o (mm/día)	K _c	ET _c (mm/día)	P _{ediaría} (mm/día)	N _n (mm/día)	Fr (mm/día)	Volumen total (lt/día)	Tiempo de riego (hr)
	Inicio	Fin									
I	1-may	31-may	31	2,78	1,05	2,92	0,97	1,95	3	64,28	4,82
	1-jun	29-jun	29	2,59	1,05	2,72	0,16	2,56	3	84,38	6,33
II	30-jun	30-jun	1	2,59	1,05	2,72	0,16	2,56	3	84,38	6,33
	1-jul	31-jul	31	2,73	1,05	2,87	-0,01	2,87	3	94,51	7,09
	1-ago	31-ago	31	2,94	1,05	3,09	-0,19	3,09	3	101,78	7,63
	1-sep	22-sep	22	3,46	1,05	3,63	-0,15	3,63	3	119,78	8,98
III	23-sep	30-sep	8	3,46	1,05	3,63	-0,15	3,63	3	119,78	8,98
	1-oct	31-oct	31	3,29	1,05	3,45	-0,10	3,45	3	113,89	8,54
	1-nov	30-nov	30	3,23	1,05	3,39	-0,18	3,39	3	111,82	8,39
	1-dic	31-dic	31	2,95	1,05	3,10	0,87	2,23	3	73,55	5,52

La programación de riego efectuada concuerda con lo señalado por Ore y Núñez (2021), quienes manifiestan que deben responder a los requerimientos hídricos en la zona, en relación con la climatología y las necesidades fenológicas del cultivo. Según manifiesta Vargas (2022), para el riego de cacao se recomienda uno de tipo sub foliar con una eficiencia de aplicación superior al 80%, donde el riego propuesto concuerda con este criterio al poseer una eficiencia del 85% mediante microaspersión. En la investigación generada por Veintimilla y Lalangui (2021), señalan que la reposición en lámina de agua para pastizales se debe hacer mediante un riego por aspersión para mantener su aporte nutricional, concordando con el riego seleccionado. Según manifiesta Caicedo *et al.*, (2015), el riego por aspersión para el cultivo de banano presenta un alto

coeficiente de uniformidad y adaptabilidad a las condiciones del espécimen, guardando concordancia con lo propuesto para suplir las necesidades hídricas del plátano.

Conclusiones

La base de datos climatológica del sitio Garrapata presentó temperaturas mínimas de 18,1 °C y temperaturas máximas de 29,10 °C, humedades relativas entre 72% y 89%, velocidades del viento entre 1,90 m/s y 2,20 m/s, horas de insolación mensuales máximas de 121,8 h y mínimas de 25,2 h, precipitaciones máximas de 296,81 mm en febrero, y mínimas de 6,61 mm en agosto.

El balance hídrico del sitio Garrapata, señaló periodos de sequía de mayo hasta diciembre, siendo agosto el mes más seco, y periodos de lluvias desde enero hasta abril, con un exceso registrado en febrero de 202,59 mm, con un exceso hídrico anual de 514,11 mm y un déficit hídrico anual de – 529,72 mm.

Se propone una programación de riego para suplir las necesidades hídricas del cacao de entre 1,95 mm y 3,63 mm mediante microaspersión, con una frecuencia de riego cada tres días; para suplir las necesidades hídricas del pasto de entre 1,45 mm y 3,01 mm mediante aspersión, con una frecuencia de riego cada cinco días; y para suplir las necesidades hídricas del plátano de entre 0,42 mm y 3,81 mm mediante aspersión, con una frecuencia de riego cada cinco días.

Bibliografía

- Ayala, M., Carrera, D., y Tierra, A. (2018). *Relación espacio temporal entre estaciones utilizadas para el relleno de datos de precipitación en Chone, Ecuador*. Obtenido de Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Ecuador:
<https://www.redalyc.org/journal/3477/347760473005/html/#:~:text=La%20ciudad%20de%20Chone%20dispone,de%2020%2C1%20%C2%B0C>.
- Burgos, J., y Carpio, M. (Noviembre de 2016). *Caracterización fisiográfica y morfométrica de la cuenca hidrográfica del río chone como aporte a la gestión integral de los recursos hídricos*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/501>
- Caicedo, O., Balmaseda, C., y Proaño, J. (2015). *Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (Musa paradisiaca) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador*. Obtenido de Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Scielo:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542015000100005&script=sci_arttext
- Cantos, C. (2020). *Evaluación del balance hídrico superficial de la cuenca del río Jipijapa*. Obtenido de Universidad Estatal del Sur, Ecuador:
<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2052/1/UNESUM-ECU-FORESTAL-2020-01.pdf>
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H., Waskom, R., Niu, Y. y Siddique, K. (2016). *Riego deficitario regulado para la producción de cultivos bajo estrés por sequía*. Obtenido de una revisión agronomía para el desarrollo sostenible: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6>

Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research [CISPDR]. (2016). *Plan hidráulico regional de demarcación hidrográfica Manabí*. Obtenido de:

<http://suia.ambiente.gob.ec/files/MEMORIA%20DH%20MANAB%C3%8D.pdf>

Delgado, S., Trujillo, J., y Torres, M. (2017). *Gestión del agua en comunidades rurales, caso de estudio cuenca del río Guatariba*. Obtenido de Revista Luna Azul:

<https://doi.org/10.17151/luaz.2017.45.5>

Duque, P., Cajamarca, R., Wemple, B., y Delgado, M. (2019). *Estimación del balance hídrico de una cuenca Andina Tropical*. Obtenido de Revista de Ciencias de la Vida, Scielo:

<https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.05>

Food and Agricultura Organization [FAO]. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Obtenido de Estudio FAO riego y drenaje 56: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

Food and Agricultura Organization [FAO]. (2008). *Evapotranspiración del cultivo*. Obtenido de:

<http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

Food and Agricultura Organization [FAO]. (2013). *Afrontar la escasez de agua Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Obtenido de:

<https://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>

Galli, A., Wiedmann, T., Ervin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., y Giljum, S. (2012). *Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a "Footprint Family" of indicators:*

Definition and role in tracking human pressure on the planet. Obtenido de Ecological

Indicators: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X11001889>

García, M., y Puppo, L. (2015). *Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) para el diseño de equipos de riego en el Uruguay*. Obtenido de Agrociencia, Uruguay: [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482015000100014#:~:text=La%20evapotranspiraci%C3%B3n%20del%20cultivo%20de%20referencia%20\(ETo\)%20m%C3%A1xima%20es%20el,crecimiento%20potencial%20de%20los%20cultivos](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482015000100014#:~:text=La%20evapotranspiraci%C3%B3n%20del%20cultivo%20de%20referencia%20(ETo)%20m%C3%A1xima%20es%20el,crecimiento%20potencial%20de%20los%20cultivos).

Gómez, J. (2020). *Estimación de las necesidades hídricas del pasto Saboya común (Panicum máximum cv. Común) a partir de la curva de coeficiente de cultivo utilizando lisimetría de drenaje en época seca y lluviosa*. (Tesina de titulación no publicada). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.

Gobierno Autónomo Municipal del cantón Chone. (2014). *Plan de Desarrollo Ordenamiento Territorial del cantón Chone*. Obtenido de:
<https://www.chone.gob.ec/pdf/lotaip2/documentos/pdot.pdf>

Hagbrink, I. (2020). *El agua en la agricultura*. Obtenido de Banco Mundial:
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2023). *Publicaciones meteorológica*. Obtenido de Biblioteca INAMHI: <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>

Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., y Rengifo, T. (2006). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate najo condiciones protegidas*. Obtenido de:
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13469/43123_50544.pdf?isAllowed=y&sequence=

- Loor, A. (2015). *Manual para el manejo de riego tecnificado de los cítricos Naranja y Mandarina en el cantón Chone*. (Tesis de titulación no publicada). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.
- Losada, Í., y Izaguirre, C. (2016). *Generación de bases de datos climáticos para el análisis de riesgos en las costas de Santa Catarina (Brasil)*. Obtenido de Naciones Unidas CEPAL: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f45a6661-3cee-4abb-b498-05330fb03240/content>
- MAPCARTA. (2023). *Localización del sitio Garrapata, Chone*. Obtenido de: <https://mapcarta.com/es/N4152193861>
- Ore, R., y Núñez, H. (2021). *Evapotranspiración y programación de riego en cinco especies de pastos naturales alto andinos, Alpachaca*. Obtenido de Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4594>
- Paredes, C. (2022). *Alternativas de sistemas de riego para el uso eficiente del agua con fines de riego en función al balance hídrico, en el sector de Cahunapampa de la provincia de Carhuaz, Áncash – periodo: (1990-2010)*. Obtenido de Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5454>
- Pérez, B. (2021). *Gestión de recursos hídricos*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cataluña, España: <http://hdl.handle.net/2099.3/36178>
- Ramírez, J. y Zambrano, J. (2023). *Estimación de las necesidades hídricas de los cultivos de maíz (Zea Mays) y fréjol (Phaseolus Vulgaris) a partir de la curva de coeficiente de los cultivos utilizando el lisímetro de drenaje en época seca*. (Tesis de titulación no publicada). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.

Reyes, J. (2023). *Eficiencia del recurso hídrico en el riego de pasto para la adaptación al cambio climático*. (Tesina de titulación no publicada). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.

Suango, V., Yáñez, W., Vaca, M., Enríquez, M., Rodríguez, M., Cueva, Z., y Galarza, J. (2013). *Sistemas Productivos*. Obtenido de: https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/MANABI/CHONE/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_chone_sistemas_productivos.pdf

SUBSECRETARÍA DE RIEGO Y DRENAJE. (diciembre de 2011). *Plan nacional de Riego y Drenaje*. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca [MAGAD]: <https://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>

UNESCO. (2006). *Evaluación de los recursos hídricos: elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas*. Obtenido de UNESDOC Digital Library: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000228100.locale=en>

Valdivieso, C., Cedeño, G., y Guanoluisa, A. (2021). *Análisis Estadístico de los datos climáticos históricos de la SPAM MFL*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador: <https://www.manabi.gob.ec/wp-content/uploads/2021/11/Analisis-Estadistico-de-los-datos-climaticos-historicos-de-la-SPAM-MFL.pdf>

Vargas, D. (2022). *Sistemas de riego por aspersión subfoliar en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)*. Obtenido de Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11330>

Veintimilla, A., y Lalangui, R. (2021). *Diseño de un sistema de riego de pastizales para la crianza de ganado vacuno en la hacienda San Alfonso del cantón Ponce Enríquez*.

Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21409/1/UPS-CT009408.pdf>

Yáñez, A., y Villacís, L. (2016). *El agua en América Latina*. Obtenido de Journal of the Selva

Andina Biosphere, revista Scielo: <http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308->

[38592016000200001&script=sci_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592016000200001&script=sci_arttext)

Anexos

Tabla 11

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2000.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	27,8	23,3	95%	2,6	30,0	53,4	103,5
Febrero	27,5	24,3	97%	2,7	76,4	174	92,7
Marzo	27,6	24	95%	2,1	103	212,8	115,6
Abril	27,6	25,1	95%	2,5	105,4	118,6	115,6
Mayo	26,8	23,4	97%	3,3	60,2	89,9	96,4
Junio	26,3	22,9	98%	2,8	58,4	13,3	85
Julio	25,6	23	98%	1,5	77,4	1,4	98,8
Agosto	25,9	22,6	94%	2,2	105	0,7	112,4
Septiembre	25,6	21,9	95%	3,3	131	7,3	120,4
Octubre	26,6	24	94%	3,1	90,8	2	122
Noviembre	27,1	23,5	93%	2,4	84,8	0,7	120,1
Diciembre	27,9	23,9	93%	2	105,7	16,2	105,5

Tabla 12

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2001.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	27,9	23,8	95%	2,2	31,1	504,3	102,3
Febrero	27,7	25,3	95%	2,8	78	318,6	91,3
Marzo	28,1	26	95%	1,9	101	502,1	114,6
Abril	27,9	24,8	95%	2,7	103,6	199,3	116,9
Mayo	27,2	23,8	97%	1,9	61,4	26,2	97,1
Junio	25,2	22,8	95%	2,4	57,9	2,5	83,6
Julio	26,2	22,8	94%	1,8	79	2,4	97,4
Agosto	25,3	23	94%	3,2	103,2	1,4	113,7
Septiembre	25,7	22,2	92%	2,3	132,1	1,2	121,7
Octubre	26	23	94%	2,6	92	1,2	123,3
Noviembre	26,6	23,3	94%	2,4	86,4	4,5	121,8
Diciembre	27,3	24	95%	2,3	103,9	20,9	104,3

Tabla 13

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2002.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	27,9	24,7	95%	2,2	31,0	146,8	101,6
Febrero	27,5	25,1	97%	2,3	74,1	478,9	91,9
Marzo	28,4	25,8	96%	2,9	102	258,4	113,9
Abril	28,4	25,1	96%	2,5	104,5	240,9	115,5
Mayo	27,9	25,3	98%	2,5	58,1	71,5	97
Junio	26,5	23,6	98%	1,9	56,3	17,7	84,2
Julio	26,1	22,9	96%	2,3	75,1	8,6	98
Agosto	25,3	21,8	96%	2,3	104,1	7,1	112,3
Septiembre	26,6	21,6	97%	2,3	132	5,2	120,3
Octubre	26,2	24,3	97%	2,4	88,7	25,7	121,9
Noviembre	27,1	23,6	95%	2,3	82,5	6	120,3
Diciembre	27,1	23,9	96%	2,3	104,8	121,5	103,6

Tabla 14

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2003.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	27,6	24	98%	2,3	33,0	167,8	101,0
Febrero	27,6	25,5	97%	2,4	75,5	337,7	91,7
Marzo	28,2	25,3	97%	2	102,6	111,5	113,3
Abril	28,3	25,3	97%	2,1	104,6	57,4	116,1
Mayo	27,4	25,5	97%	2,3	59,4	56,6	96,7
Junio	26,8	22,9	96%	1,9	57,6	15,7	84
Julio	25,8	22,8	96%	1,6	76,5	4,9	97,8
Agosto	26,5	22,9	95%	2,7	104,2	4,1	112,9
Septiembre	26,5	23,3	94%	2,7	134	0,2	120,9
Octubre	26,7	24,1	95%	2	90	5,7	122,5
Noviembre	27,8	24,4	95%	2,5	83,9	10,7	122
Diciembre	28,5	24,2	96%	3	104,9	74,2	103

Tabla 15*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2004.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	27,5	25,1	95%	1,8	29,7	81,1	102,0
Febrero	27,7	25	96%	2,6	76,2	275,2	91,6
Marzo	28	25,6	95%	1,8	101,3	185,7	114,3
Abril	28,4	25,7	95%	1,9	103,9	30,5	116,5
Mayo	27,6	24,1	96%	2,4	60	58,8	96,6
Junio	25,8	23,6	98%	2	57,7	12,7	83,9
Julio	25,8	23,2	96%	2,2	77,2	3,8	97,7
Agosto	26,6	23,5	94%	2,4	103,5	1	113,3
Septiembre	26,7	22,8	94%	1,6	130,7	5,6	121,3
Octubre	27,5	22,9	94%	1,9	90,6	12,7	122,9
Noviembre	28,2	24,1	94%	2,1	84,6	0,6	121,4
Diciembre	27,7	24,5	94%	3,7	104,2	44	104

Tabla 16*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2005.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	28,2	24,5	96%	2,7	30,2	119	102,6
Febrero	27,6	24	98%	2	77,4	189,8	92,3
Marzo	27,9	25,1	98%	2,4	102,3	105,5	114,9
Abril	28,1	26,3	98%	1,6	104,5	319	117
Mayo	28,1	23,9	97%	2,1	61,2	4,7	97,5
Junio	26,5	23,2	97%	1,5	58,3	1,4	84,6
Julio	26,2	23,2	97%	1,9	78,4	0,8	98,4
Agosto	26,6	23,6	95%	2	104,1	0,2	113,8
Septiembre	26,3	23,3	95%	1,7	131,2	1,5	121,8
Octubre	26,7	22,4	96%	2,2	91,8	2,5	123,4
Noviembre	26,9	23,9	95%	1,9	85,8	1,1	121,9
Diciembre	27,2	24,7	95%	1,1	104,8	57,4	104,6

Tabla 17

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2006.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	28,2	24,8	96%	1,9	31,3	230,8	103,2
Febrero	27,5	24,8	97%	2,1	78,1	326,2	92,8
Marzo	27,9	25	96%	1,5	101,7	487,7	115,5
Abril	27,6	25,7	95%	2	104,3	20,5	115,3
Mayo	27,4	24	94%	1,5	61,1	15,1	97,8
Junio	26,5	24	95%	1,9	58,4	13,7	85,1
Julio	26,7	23,6	94%	1,6	79,1	1,2	98,9
Agosto	26,7	24	93%	1,5	103,9	35	112,1
Septiembre	26,8	23,6	94%	1,4	132,3	18,9	120,1
Octubre	27	24,7	81%	2,1	91,7	0,8	121,7
Noviembre	27	24,1	77%	1,5	86,5	72,4	120
Diciembre	28,3	25	76%	1,6	104,6	6,3	105,2

Tabla 18

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2007.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	28,4	25	81%	2,6	29,6	118,2	104,0
Febrero	27,8	25,2	86%	1,9	75,2	143,7	91,5
Marzo	27,8	25,9	86%	2,3	102,2	238,7	116
Abril	28,3	25	94%	2,3	105,3	255,3	116,3
Mayo	27,6	23,9	86%	1,8	59,2	49,5	96,5
Junio	26,1	23,3	84%	1,4	57,4	20,3	83,8
Julio	26,3	22,4	82%	1,3	76,2	17,2	97,6
Agosto	24,9	21,6	80%	2,1	104,9	3,6	113,1
Septiembre	26,1	22	77%	2,2	130,6	0,5	121,1
Octubre	25,9	22,9	77%	1,7	89,8	7,5	122,7
Noviembre	26,9	22	76%	2,7	83,6	8	121,2
Diciembre	27	23,1	76%	1,9	105,6	34,8	105,8

Tabla 19

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2008.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	26,6	23,5	86%	1,9	32,0	354,6	102,7
Febrero	27,3	23,9	82%	2,8	75,3	393	92,3
Marzo	27,6	24,8	82%	3,3	100,8	202,2	115
Abril	27,9	25,2	78%	2,1	104,6	95,1	116,6
Mayo	27,1	24,6	85%	2,3	59,3	25,4	97,3
Junio	26,7	23,9	84%	1,8	57,3	10,5	84,6
Julio	26,6	24,2	83%	2,1	76,3	29	98,4
Agosto	26,3	23,2	83%	2	104,2	12,2	113,4
Septiembre	26,2	23,6	82%	1,9	133	5,4	121,4
Octubre	25,8	22,9	83%	2,7	89,9	12	123
Noviembre					83,7		121,5
Diciembre					104,9		104,7

Tabla 20

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2009.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	27,5	25,1	82%	2	33,4	201,4	103,0
Febrero	27,2	25	85%	1,8	77,6	206,7	92,2
Marzo	27,7	25,4	85%	2,8	101,5	99,9	115,3
Abril	27,9	24,9	81%	2,3	105,5	94,6	116,4
Mayo	27,6	24,5	83%	1,5	61,4	23,3	97,2
Junio	27,2	23,9	81%	1,7	58,4	6,6	84,5
Julio	27,1	24,3	81%	3,1	78,6	0,6	98,3
Agosto	27,3	24,3	81%	2,9	105,1	27,3	113,2
Septiembre	27,5	23,1	81%	2,3	134,4	51,2	121,2
Octubre	27,1	23,9			92		122,8
Noviembre	27,6	25,3	75%	1,9	86	0	121,3
Diciembre			79%	2	105,8	41,9	105

Tabla 21

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2010.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	28,1	23,8	83%	2,4	32,8	169,7	102,5
Febrero	28,3	24,3	87%	2	77,5	379,9	93
Marzo	28,5	25,7	84%	2,8	102,1	302,3	114,8
Abril	28,5	26,1			104,8		116,7
Mayo	28,5	24,8	83%	2,4	61,3	104,6	98
Junio	26,4	23,3	86%	1,5	58,6	9,8	85,3
Julio	25,8	22,9	86%	1,6	78,4	20,6	99,1
Agosto	25,7	22,7	81%	1,4	104,4	4,7	113,5
Septiembre	26,7	22,6	80%	2,3	133,8	3,7	121,5
Octubre	26,3	23	78%	1,6	91,8	1,1	123,1
Noviembre	26,5	21,2	81%	2,6	85,8	7,5	121,6
Diciembre	26,8	22,7	85%	2,3	105,1	275,5	104,5

Tabla 22

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2011.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	27,2	23,2	86%	1,7	34,0	147,4	102,9
Febrero	27,4	24,9			74,3		92,4
Marzo	27,7	24,2	81%	2,7	101,8	91,6	115,1
Abril	27,3	24,1	84%	1	105,8	265,4	116,2
Mayo	27,5	23,7	83%	1,1	58,4	4,2	97,6
Junio	26,5	23	84%	1,6	57,6	20,8	84,7
Julio	26,1	23,7	86%	2,2	75,3	66,9	98,5
Agosto	26,3	22,7	85%	2,1	105,4	6,9	113
Septiembre	26,5	21,1	86%	2	135	0,3	121
Octubre			85%	2,3	89	13,6	122,6
Noviembre					82,7		121,1
Diciembre			86%	1,7	106,1	147,4	104,9

Tabla 23*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2012.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	27,1	23,5			32,7		103,1
Febrero	27,9	25,5	88%	2,2	75,1	429,4	92,9
Marzo	28,5	25,6	87%	2,7	102,4	385,7	115,4
Abril	27,7	24,9	86%	2,4	105,6	84,2	116,8
Mayo	27,1	24,7			59,1		97,9
Junio	25,5	21,9			57,5		85,2
Julio	25,7	21,5			76,1		99
Agosto	26,3	21,7	84%	2	105,2	3,7	113,6
Septiembre	27	21,4			133,7		121,6
Octubre	26,3	22,9			89,7		123,2
Noviembre	26,3	23,3			83,5		121,7
Diciembre					105,9		105,1

Tabla 24*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2013.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	29,1	23,1	88%	1,9		313,6	79,6
Febrero	30,9	22,8	86%	2,0		286,3	105,8
Marzo	30,9	23,4	87%	2,0		463,7	124,6
Abril	31,6	22,7	87%	2,1		323,9	119,3
Mayo	29,5	22,1	87%	1,8		18,1	102,1
Junio	29,2	21,6	86%	1,9		21,6	90,4
Julio	28,5	21,1	85%	1,8		8,1	88,5
Agosto	30,1	20,9	81%	2,5			106,2
Septiembre	30,5	21,3	80%	2,3			124,8
Octubre	29,6	21,1	82%	2,1		26,9	104,0
Noviembre	30,7	21,4	81%	2,1		9,7	103,6
Diciembre	31,4	20,5	75%	1,3		313,6	44,0

Tabla 25*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2014.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	30,2	22,3	84%	1,9			82,7
Febrero	30,3	22,4	85%	1,9			86,6
Marzo	31,5	22,3	80%	2,2		4,8	129,1
Abril	30,5	23,0	83%	2,2			89,6
Mayo	31,0	22,9	84%	2,3		0,3	104,1
Junio	30,7	22,7	85%	1,8		1,1	93,9
Julio	30,8	22,3	81%	2,1			101,4
Agosto	30,5	22,0	80%	2,1			98,8
Septiembre	30,5	21,4	80%	2,4			105,1
Octubre	30,9	21,6	80%	2,3			107,2
Noviembre	25,5						
Diciembre	25,6		84%	1,9			82,7

Tabla 26*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2015.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	25,7						82,7
Febrero	26,4		83%				86,6
Marzo	26,8		81%				129,1
Abril	27,2		83%				89,6
Mayo	27,0	23,5	84%	2,3			104,1
Junio	26,6	23,0	85%	2,1			93,9
Julio	26,1	22,7	86%	2,2		110,1	101,4
Agosto	25,9	22,4	83%	2,2			98,8
Septiembre	26,4	22,5	80%	2,1			105,1
Octubre	26,1	22,5	80%	2,2		50,2	107,2
Noviembre	26,2	22,6	81%	2,0		21,1	
Diciembre	27,0	23,9	83%	2,1		119,3	82,7

Tabla 27*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2016.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	31,3	23,3	85%			350,6	93,1
Febrero	31,3	23,4	85%			246,0	91,9
Marzo	31,6	23,7	85%			217,6	104,5
Abril	31,5	23,2	85%			208,5	118,4
Mayo	32,7	22,1	83%			27,5	103,7
Junio	31,4	21,9	83%			29,8	96,4
Julio	29,6	22,3	84%			9,7	91,6
Agosto	30,9	21,6	81%	2,3			109,8
Septiembre	30,7	21,9	85%	2,4		18,4	93,4
Octubre	30,6	21,4	81%	2,1			113,7
Noviembre	31,2	21,4	79%	2,1			102,9
Diciembre	31,0	22,4	79%	2,3		10,7	94,7

Tabla 28*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2017.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	30,5	22,9	82%	2,1		96,8	76,1
Febrero	32,0	23,2	84%	2,1		414,0	110,8
Marzo	32,2	23,2	83%	2,1		430,9	132,2
Abril	31,9	23,2	83%	2,0		219,1	130,0
Mayo	31,5	23,4	84%	2,1		176,2	115,4
Junio	29,6	22,8	86%	2,0		106,2	88,8
Julio	29,0	21,3	84%	2,1		10,7	81,0
Agosto	29,7	20,3	83%	2,1		15,0	95,1
Septiembre	29,9	21,2	81%	2,2			94,1
Octubre	29,6	21,4	81%	2,2		38,3	103,3
Noviembre	29,7	21,2	81%	2,2			93,7
Diciembre	29,0	21,6	82%	2,1		29,7	55,6

Tabla 29*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2018.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	31,3	22,1	81%	2,2		125,0	
Febrero	31,0	22,1	83%	2,2		428,7	
Marzo	31,5	22,8	83%	2,1		275,9	
Abril	32,5	23,9	84%	2,1		150,4	
Mayo	30,7	22,6	84%	2,1		109,4	
Junio	29,2	20,9	84%	2,1		13,8	
Julio	29,4	21,0	83%	2,0		8,9	
Agosto	29,4	21,5	83%	2,2	94		
Septiembre				2,1	77		
Octubre				2,1	69		
Noviembre				2,1	55,6		
Diciembre				2,1	53,9	126,7	

Tabla 30*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2019.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero				2,1	66,6	215,9	
Febrero				2,0	77,7	353,0	
Marzo				2,1	18,4	246,1	
Abril				1,9	52,0	181,8	
Mayo				2,0	51,9	150,7	
Junio				1,7	40,9	44,3	
Julio				1,8	39,6	18,1	
Agosto				2,1	80,8		
Septiembre				2,1	26,1		
Octubre				1,9	9,5		
Noviembre				2,0	45,1	21,4	
Diciembre				1,8	58,2	56,5	

Tabla 31*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2020.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero				2,0		200,7	
Febrero				2,0		304,4	
Marzo				2,0		121,9	
Abril				2,0		88,5	
Mayo				1,9		41,4	
Junio				1,9		18,2	
Julio				2,0		16,3	
Agosto				2,0			
Septiembre				2,1		21,7	
Octubre				2,1	70	22,3	
Noviembre				2,2	89,4		
Diciembre				2,0	25,6	133,3	

Tabla 32*Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2021.*

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero				2,0	51,3	345,6	
Febrero				2,0		260,8	
Marzo	31,3	22,0	91%	2,0		390,9	
Abril	31,5	21,7	84%	2,0		128,8	
Mayo	29,4	21,3	89%	2,0		99,7	
Junio	29,3	20,9	87%	2,0		10,7	
Julio	29,5	19,9	84%	2,0			
Agosto	28,9	19,6	84%	2,1		10,0	
Septiembre	30,0	20,3	83%	2,0		39,5	
Octubre	29,2	20,2	83%	2,0		21,8	
Noviembre	29,4	19,6	81%	2,1			
Diciembre	28,7	20,4	83%	2,0		218,6	

Tabla 33

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 durante el año 2022.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	29,5	21,1	83%	2,1		119,2	
Febrero	29,2	21,3	85%	1,9		139,2	
Marzo	31,6	21,5	84%	2,2		438,5	
Abril	30,9	21,3	83%	2,1		104,8	
Mayo	28,5	21,1	89%	1,7		72,2	
Junio	27,6	19,9	89%	1,7		26,2	
Julio	28,3	19,7	88%	1,9		19,1	
Agosto	28,9	19,9	86%	2,0			
Septiembre	29,0	19,5	86%	2,0			
Octubre	29,2	19,1	86%	2,1			
Noviembre	30,0	19,2	83%	2,1			
Diciembre	30,3	20,1	80%	1,9		23,9	

Tabla 34

Datos promedios de la estación meteorológica MA0162 desde el año 2000 - 2022.

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)
Enero	28,4	23,6	88%	2,1	35,2	200,1
Febrero	28,5	24,1	89%	2,2	76,3	296,8
Marzo	29,1	24,4	88%	2,3	95,9	259,4
Abril	29,1	24,4	88%	2,1	101	155,4
Mayo	28,5	23,6	85%	2,1	59,4	66,8
Junio	27,4	22,7	85%	1,9	56,6	24,7
Julio	27,2	22,4	84%	2,0	74,5	16,0
Agosto	27,2	22,2	87%	2,2	102,2	6,6
Septiembre	27,6	22,0	82%	2,2	121,8	9,3
Octubre	26,2	21,4	77%	2,1	82,9	11,4
Noviembre	25,0	19,0	72%	1,9	80,6	7,9
Diciembre	22,5	18,1	72%	1,9	94	61,4