

RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES Y EVAPORACIÓN PARA RIEGO EN EL MULTIPROPÓSITO CHONE, ECUADOR

Eric Cabrera Estupiñán¹, Ramón Pérez Leira¹, Juan Ramón Moreira Santos¹

1. Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

ecabrerae@gmail.com, rperezleira@gmail.com, juanramon_2011@hotmail.com

Abstract— Around 2250 ha will be developed from the agricultural point of view in Chone, province of Manabí, Ecuador, in the second stage of one of the emblematic and strategic projects of Ecuador, known as Multipurpose Chone. For this purpose, climatic and soil parameters, water availability, crops, etc. are required. This paper makes a contribution in the climatic branch. The monthly distributions of precipitation and evaporation are determined for the subsequent calculation of the crops irrigation regime. A statistical analysis of precipitation and evaporation data from 1990 to 2012 is accomplished, and as a main result is obtained that 2005 is the one meeting the 75 % of surpass probability for rainfall and 25 % for evaporation..

Index Terms— frequency distribution, normal distribution, cumulative frequency, Multipurpose Chone

I. INTRODUCTION

Desde el punto de vista económico, social y productivo uno de los sectores de mayor importancia para Ecuador es el agropecuario. Esta idea se sustenta con su aporte al Producto Interno Bruto PIB que durante la última década fue del 8 %, además es una importante fuente de empleo, ya que en el año 2015, el sector primario (agricultura, ganadería, pesca y silvicultura), representó la cuarta parte de la Población Económicamente Activa del Ecuador (ESPAC, 2015).

Esta actividad agropecuaria no se realiza de forma homogénea en todo el país, que cuenta con cuatro regiones naturales muy bien definidas, región Costa (entre el océano Pacífico y la cordillera), Sierra (la zona andina), Amazonía (al este de la cordillera) y región insular (Las Islas Galápagos).

En estas zonas hay una gran variabilidad climática que se manifiesta en importantes variables hidroclimatológicas, por ejemplo las precipitaciones, temperatura, evapotranspiración, etc. Dicha variabilidad provoca directa o indirectamente la diversidad en la actividad agropecuaria, en este sentido es importante plantear que las provincias que más superficie tienen destinada a esta actividad son, en primer lugar la provincia de Manabí que representa un 19.40 % del total del país y seguidamente Guayas con un 12.88 %, ambas

de la Región Costa (ESPAC, 2015).

Específicamente en Manabí los cultivos permanentes de mayor producción son el plátano y en banano, en el caso del primero, su producción anual representa el 48,50 % del país. En relación con los cultivos transitorios se destacan el maíz duro seco que representa un 17,87 % de la producción nacional y el arroz. Finalmente la rama pecuaria es también muy notoria en Manabí, destaca el ganado vacuno que representa el 21,70 % del total nacional (ESPAC, 2015). Por todos estos elementos se puede decir que la provincia de Manabí es el pilar económico en el sector agropecuario de toda la geografía ecuatoriana.

Conscientes de esta realidad se está llevando a cabo en la región de Chone (cantón perteneciente a la provincia de Manabí) uno de los proyectos de ingeniería emblemáticos del Ecuador. Esta obra se conoce como “Multipropósito Chone” y tiene dos objetivos principales: 1- Regular las avenidas que se producen en las cuencas hidrográficas que aportan a la ciudad de Chone y así evitar las ya tradicionales inundaciones (Gil et al., 2005).

2- Abastecer de agua todo el año, en cantidad suficiente y calidad normada a los 170000 habitantes de Chone y poblaciones aledañas, hasta el 2035 y a unas 2250 ha de tierra que serán cultivadas y dotadas de sistemas de riego, ver figura 1.

A los efectos del presente trabajo interesa de manera este último aspecto, ya que será una realidad que cambiará significativamente la dinámica de la región, por cuanto habrá un importante incremento productivo de diversos cultivos, dentro de los que se destaca el cacao, el pimienta, el plátano, el maíz y los cítricos, entre otros. En tal sentido, actualmente se lleva a cabo la segunda etapa del proyecto que concibe los estudios para la potenciación del área a cultivar y el sistema de riego asociado.

Para llevar a cabo este propósito es necesario realizar diferentes estudios hidroclimáticos, de suelo, económicos, etc. Un paso fundamental en esta etapa es obtener el régimen de riego de los cultivos a introducir, que determinará entre otras cosas, la demanda de agua anual solicitada por el sistema. Dos de los elementos

fundamentales del régimen de riego son la lluvia y la evapotranspiración a considerar en el período de vida de los cultivos, estos son elementos vitales en el balance hídrico en el suelo.

No se han encontrado estudios que aborden el análisis o procesamiento de estas variables con fines de riego en la zona, por tal motivo se realiza esta investigación que persigue el objetivo de determinar las distribuciones mensuales de precipitación y evaporación necesarias para el régimen de riego de las 2250 ha a cultivar en el multipropósito Chone.

II. DESARROLLO

Área de estudio y estaciones meteorológicas

En la figura 1 se muestra el área de estudio que abarca unas 2250 ha que estarán destinadas a la siembra de diversos cultivos, para lo cual se implementará un sistema de riego que tendrá su fuente de abasto en el Embalse “Rio Grande”. Dicha área se ubica en un valle con una topografía predominantemente llana, al noreste de la ciudad de Chone, que es la ciudad cabecera del Cantón del mismo nombre, uno de los 22 de la provincia Manabí.

A los efectos de este trabajo es importante notar la red de estaciones meteorológicas con que cuenta Manabí, ver figura 1, y que son administradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI del Ecuador. Esta institución publica en su página web (de uso público) los llamados Anuarios meteorológicos en los que aparece información de cada una de las estaciones desde el año 1990 hasta el 2012.

Con la realización de un primer análisis de los datos de todas estas estaciones (fundamentalmente datos de lluvia y evaporación) se detectó que la mayoría de equipos cercanos al área de estudio presentaban una gran cantidad de años con déficit de datos.

Este es el caso por ejemplo de las estaciones MA33, MA2K y MA34; por fortuna dentro del área de estudio se ubica la estación climatológica principal del INAMHI con código M126 que presenta una data muy completa, por tal motivo el análisis de la lluvia y evaporación mensual se realiza con los datos de dicha estación.

Acorde con NMX (2015), para aplicaciones a pequeña escala o local se considera que el área de influencia de una estación climatológica puede tener dimensiones de 10 km de radio o menos, y en este caso la distancia máxima desde la estación M162 hasta el punto más alejado del área de estudio es menor a 8 km.

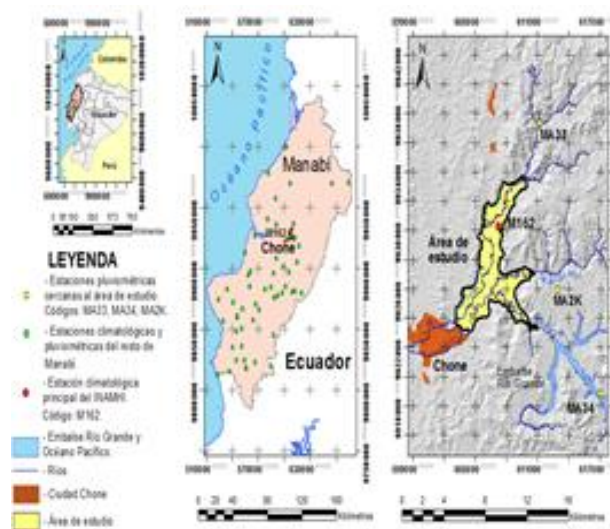


Figura 1. Ubicación del área de estudio (2250 ha a ser potenciadas con sistema de riego) y Estación climatológica principal del INAMHI, código M162

Tabla 1.

Registro de lluvia acumulada mensual en milímetros de la estación climatológica principal M162 del INAMHI en el período 1992 – 2012, con valores rellenados

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Acum
1991	119,6	233	127,4	69,6	14,3	15,1	0,4	5	0,3	1,1	16,3	35,2	637,3
1992	150,1	192,9	337,7	282,8	165	17,3	14,7	2,9	3,7	3,7	0,2	14,9	1185,9
1993	142,1	590,4	428,9	194,4	13,6	60	8,7	2,3	1,3	10,2	27,38	23,5	1502,8
1994	110,8	450,3	228,1	235,2	95,8	24,7	0,4	0,9	0,8	11,1	4,9	155,5	1318,5
1995	304,9	416,4	58,9	65,1	57,3	12,2	27,3	12,6	1,8	3,6	0,9	19,1	980,1
1996	85,9	191,4	208,1	114,8	3,2	3,1	4,6	1,6	0,7	1,6	0,3	5,3	620,6

1997	88	285,7	260,2	280,3	54,5	89,3	61,7	159,5	94,8	106,8	346,3	387,8	2214,9
1998	264	381,4	532,2	445,7	269	341,9	139,2	8,8	30,1	1,1	14,3	1,1	2428,8
1999	228,2	542,6	249,1	365,8	49,6	7,5	4,3	5,7	12,1	19,7	11,6	44	1540,2
2000	53,4	174	212,8	118,6	89,9	13,3	1,4	0,7	7,3	2	0,7	16,2	690,3
2001	504,3	318,6	502,1	199,3	26,2	2,5	2,4	1,4	1,2	1,2	4,5	20,9	1584,6
2002	146,8	478,9	258,4	240,9	71,5	17,7	8,6	7,1	5,2	25,7	6	121,5	1388,3
2003	167,8	337,7	111,5	57,4	56,6	15,7	4,9	4,1	0,2	5,7	10,7	74,2	846,5
2004	81,1	275,2	185,7	30,5	58,8	12,7	3,8	1	5,6	12,7	0,6	44	711,7
2005	119	189,8	105,5	319	4,7	1,4	0,8	0,2	1,5	2,5	1,1	57,4	802,9
2006	230,8	326,2	487,7	20,5	15,1	13,7	1,2	35	18,9	0,8	72,4	6,3	1228,6
2007	118,2	143,7	238,7	255,3	49,5	20,3	17,2	3,6	0,5	7,5	8	34,8	897,3
2008	354,6	393	202,2	95,1	25,4	10,5	29	12,2	5,4	12	22,29	61,70	1223,4
2009	201,4	206,7	99,9	94,6	23,3	6,6	0,6	27,3	51,2	6,64	0	41,9	760,1
2010	169,7	379,9	302,3	248,9	104,6	9,8	20,6	4,7	3,7	1,1	7,5	275,5	1528,2
2011	147,4	265,9	91,6	265,4	4,2	20,8	66,9	6,9	0,3	13,6	17,27	47,81	948,1
2012	227,5	429,4	388,3	96	195,7	59	5,8	3,7	0,4	3,9	15,5	75,70	1500,4

Este fue el método que se empleó para el relleno de los datos faltantes, tanto para la lluvia como para la evaporación que se puede constatar en la tabla 2. En la referencia (Campos 1998) aparece descrito el método, con lo cual se pueden corroborar los valores que aquí se publican.

En relación con la evaporación se tuvieron que desechar 6 años producto de la falta de datos, con lo cual queda la serie con 17 años, como se muestra en la siguiente tabla 2.

Las últimas columnas de las tablas 1 y 2 son las series de trabajo que servirán para determinar la distribución mensual de la lluvia en el primer caso y de la evaporación en el segundo, estas series tienen 22 y 17 elementos respectivamente.

Tabla 2.

Registro de evaporación acumulada mensual en milímetros de la estación climatológica principal M162 del INAMHI, con valores rellenos.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Acum
1991	102	98,2	122,4	122,6	113,7	95,6	97,57	101,5	128,3	112,6	104,4	96	1294,87
1992	83,9	100,7	117,4	115,8	105,5	76	74,5	88	81,8	106,4	99,9	115,6	1165,50
1995	60,6	63,2	114,6	116,6	76,8	72,2	67,6	82,6	99,5	94,6	94	88,98	1031,28
1996	78,5	76,9	88,8	96	94,6	62,5	78,7	114	133,5	122,2	133,6	127,1	1206,40
1997	66,9	59,5	92	71,5	83,3	82,7	56,2	83,6	85,2	37,8	71,8	65,4	855,90
1998	84,6	65,88	89,8	56,9	67,5	64,3	62,3	86,29	53,6	87,36	67,3	74,2	860,04
1999	92,8	67,40	82,47	92	92,7	66,2	56,2	91,7	81,4	69,6	89,6	89,6	971,67
2000	118,5	111	109,3	111,3	82,3	77,1	105,7	118,4	113,2	130	152,9	38,4	1268,10
2001	75,3	83,3	98,2	71,1	89,5	90,7	87,3	110,4	123	144,2	113,6	118,3	1204,90

2002	102,3	59,5	87,7	87	93,6	95,2	100,6	120,2	122,4	91,5	109,9	74,4	1144,30
2004	129,6	96,4	116,1	116,6	80,3	73,5	100,1	146,5	125,8	137,7	140,6	143,7	1406,90
2005	135,1	90,2	107,5	112,9	102,1	81,4	93,7	110	125	105,8	118,5	118	1300,20
2006	102,1	73,8	98	144,2	99,6	81,9	128,1	101,4	100,9	141,4	117,3	133,2	1321,90
2007	108	97,2	113,1	112	89,2	83,1	101,7	115,9	142,2	128,5	138,5	128,6	1358,00
2008	73,4	101,1	114,2	128	101,9	69	84	98	98,7	103,3	115,8	102,7	1190,08
2009	97,3	76,7	117,4	121,6	55,3	88,6	108,1	118,8	143,2	115	106	102,2	1250,18
2012	103,3	82,2	127,5	137,8	111,4	104,2	89,2	89,1	112,2	103	100,9	109,6	1270,44

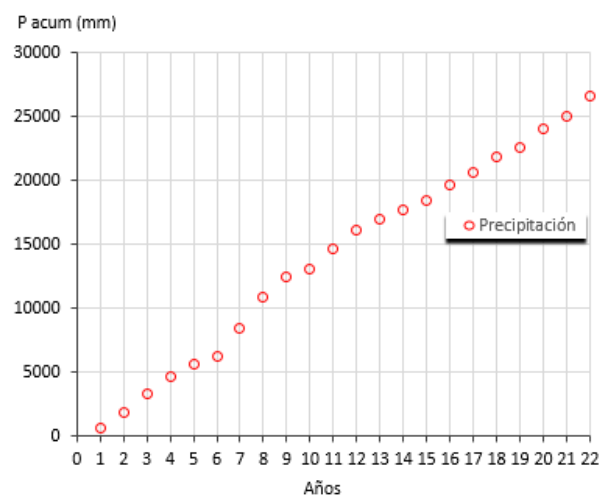
Análisis de homogeneidad de las series

Acorde con González et al. (2003) los resultados del procesamiento de las observaciones del régimen de lluvias, escurrimientos y en general de datos sinópticos de una cuenca, resultan válidos solo en el caso en que se empleen series homogéneas. Por lo que cualquier estudio hidrológico de este tipo debe comenzar con la comprobación de la homogeneidad de la serie.

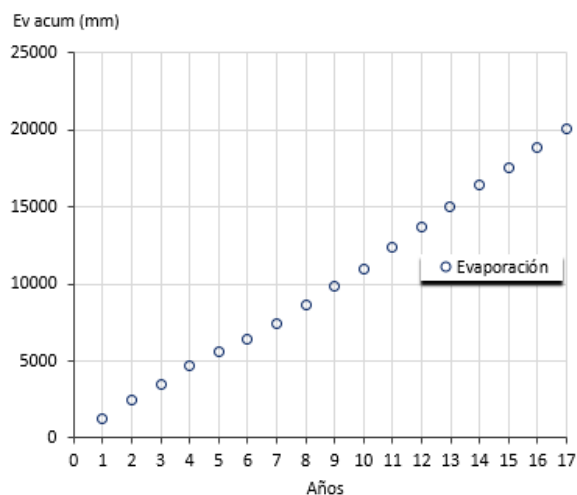
El análisis de homogeneidad comprende dos fases, la primera: fase exploratoria que permite la detección de comportamientos específicos de la muestra o propiedades importantes de los registros. Esto se logra con análisis gráfico (curvas de simple o doble masa) y el cálculo de estadígrafos básicos, como media, desviación típica, varianza, etc.

En este caso se toman las dos series de trabajo y se acumulan, esto significa la generación de dos nuevas series (una de precipitación y la otra de evaporación) en las que el valor ubicado en cada año es la suma de los valores de los años que le anteceden, ver figura 2.

En las curvas de simple masa no aparecen tramos con distorsiones o con diferencias marcadas de pendientes, lo que evidencia la muestra de un comportamiento uniforme y atendiendo a estas características se puede decir que son series homogéneas.



(a) Curva de simple masa de precipitación.



(b) Curva de simple masa de evaporación.

Figura 2. Curvas de simple masa de las series de precipitación y evaporación.

Para reafirmar esta valoración, las series deben someterse a una fase más rigurosa que se conoce

como fase confirmatoria, en la cual se aplican pruebas estadísticas de detección de cambio en la media, la varianza y la tendencia de las series. En la tabla 3 se muestra la aplicación de la prueba de Student a las series de trabajo.

Tabla 3.

Prueba paramétrica de Student aplicada a las series de trabajo.

Precipitación anual (mm)						Evaporación anual (mm)					
Años	Serie original	Nombre subserie	Subserie	Media	σ	Años	Serie original	Nombre subserie	Subserie	Media	σ
1992	637,30	Subserie A	637,30	1336,73	366439,5	1991	1294,87	Subserie A	1294,87	1095,41	28877
1993	1185,90		1185,90			1992	1165,50		1165,50		
1994	1502,78		1502,78			1995	1031,28		1031,28		
1995	1318,50		1318,50			1996	1206,40		1206,40		
1996	980,10		980,10			1997	855,90		855,90		
1997	620,60		620,60			1998	860,04		860,04		
1998	2214,90		2214,90			1999	971,67		971,67		
1999	2428,80		2428,80			2000	1268,10		1268,10		
2000	1540,20		1540,20			2001	1204,90		1204,90		
2001	690,30		690,30			2002	1144,30		1144,30		
2002	1584,60		1584,60			2004	1406,90		1406,90		
2002	1388,30	Subserie B	1388,30	1075,96	93525,97	2005	1300,20	Subserie B	1300,20	1280,25	7404,5
2003	846,50		846,50			2006	1321,90		1321,90		
2004	711,70		711,70			2007	1358,00		1358,00		
2005	802,90		802,90			2008	1190,08		1190,08		
2006	1228,60		1228,60			2009	1250,18		1250,18		
2007	897,30		897,30			2012	1270,44		1270,44		
2008	1223,39		1223,39								
2009	760,14		760,14								
2010	1528,25		1528,25								
2011	948,07		948,07								
2012	1500,45		1500,45								

La prueba paramétrica de Student, indica dividir las series de trabajo en subseries de tamaño semejante; posteriormente se calculan las medias y varianzas de cada subserie y con estos datos se obtienen el término V_p y el estadígrafo T que responden a las siguientes expresiones:

$$V_p = \frac{(N_A - 1)\sigma_A^2 + (N_B - 1)\sigma_B^2}{(N_A + N_B) - 2} \quad (1)$$

$$T = \frac{|x_{mA} - x_{mB}|}{\sqrt{\frac{N \cdot V_p}{N_A \cdot N_B}}} \quad (2)$$

donde: N_A y N_B son los tamaños de las subseries A y B, 11 en el caso de las subseries de precipitaciones y 9 y 8 en el caso de la evaporación, N es el tamaño de las series de trabajo, σ_A y σ_B son las varianzas de las subseries A y B, y, finalmente x_{mA} y x_{mB} son las medias de las subseries.

Se continúa con el grado de libertad de las series de trabajo $\gamma = N - 2$, con estos valores y aceptando un nivel de significación $\alpha = 0,05$ se obtienen los valores de $t_{crítico}$ de la función T de Student para ambas series de trabajo, los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.

Valores de *t*crítico de Student para las series de trabajo.

Serie de precipitación anual (mm)				Serie de evaporación anual (mm)			
<i>Vp</i>	<i>T</i>	γ	<i>t</i> crítico	<i>Vp</i>	<i>T</i>	γ	<i>t</i> crítico
229982,7	1,275	20	1,725	18856,5	2,77	15	1,753

En el caso de la serie de precipitación, el valor de *T* obtenido es menor que el *t*crítico por lo tanto se puede garantizar la homogeneidad de la serie, esto no ocurre con la serie de evaporación, en tal sentido, a dicha serie se le aplicó el método no paramétrico, llamado Prueba de las secuencias, ver los detalles en González et al. (2003), obteniéndose la homogeneidad de la serie de evaporación anual.

Pruebas de bondad de ajuste de las series

En este tipo de estudios hidrológicos en los que se tienen series cortas (valores discretos), con las que se pretende analizar fenómenos temporales es muy conveniente ajustar los datos de dichas series a una función (continua), llamada distribución teórica de probabilidades.

Este ajuste es muy importante ya que permite generar series sintéticas infinitas que por supuesto seguirán la forma de dicha función. Existe un gran número de distribuciones de este tipo, en Cervantes (2006) se pueden encontrar un amplio grupo con su aplicación a los diferentes fenómenos que se analizan en la hidrología.

Para seleccionar cuál de las posibles distribuciones se ajusta mejor a los datos existen varios métodos, de los cuales uno de los más difundidos es el de Smirnov – Kolmogorov. En este trabajo se analizó el ajuste de los datos de las series a las distribuciones Normal y Log Normal obteniéndose un mejor ajuste en la primera.

Para aplicar el método de Smirnov – Kolmogorov se ordenan las series de trabajo de forma decreciente y se acepta el ajuste de dichas series a una función teórica de probabilidades, en este caso Normal. Posteriormente se calculan los valores de la llamada variable reducida *K* por medio de la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{x - x_m}{\sigma} \quad (3)$$

donde: *x* es un vector con todos los elementos de las series, *x_m* y σ son la media y la varianza de las series.

Con estos valores se puede calcular la probabilidad de cada elemento, a lo que se llama probabilidad teórica. También se calcula la llamada probabilidad empírica, para lo cual se han recopilado 10 formulaciones diferentes, González et al. (2003), (Raes, 2013), donde *m* significa el valor de la posición del elemento analizado en la serie ordenada de forma decreciente y *N* el tamaño de la serie, ver tabla 5.

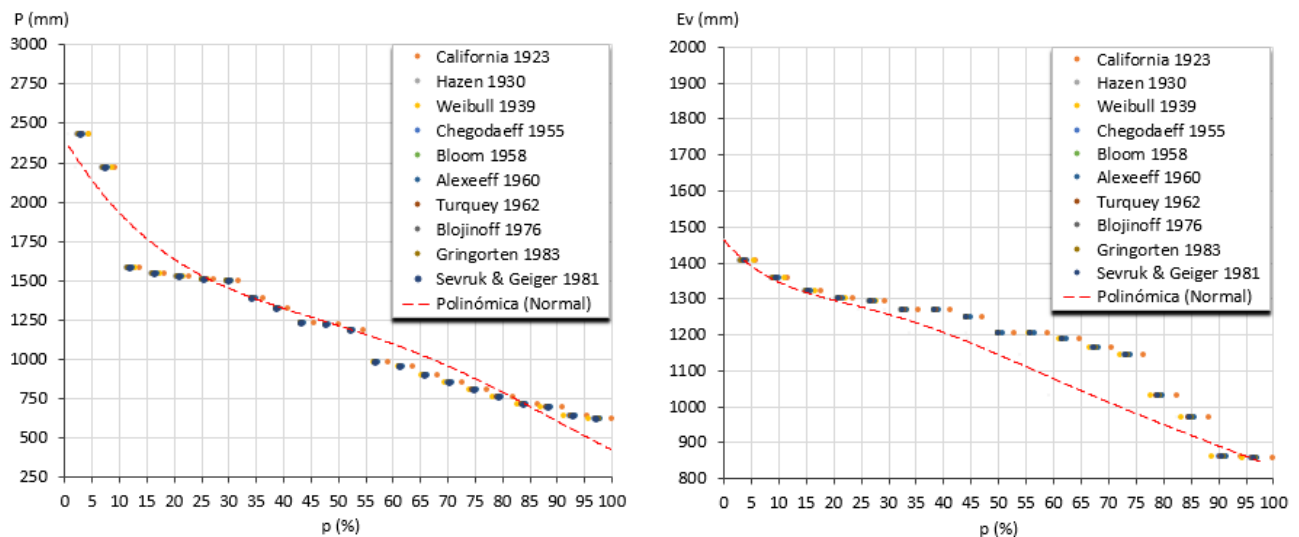
Tabla 5.

Expresiones para el cálculo de la probabilidad empírica *p* (%)

Método	Ecuaciones para el cálculo de la probabilidad empírica <i>p</i> (%)
California 1923	m/N
Hazen 1930	$(m - 0,5)/N$
Weibull 1939	$m/(N + 1)$

Chegodaeff 1955	$(m - 0,3)/(N + 0,4)$
Bloom 1958	$(m - 0,38)/(N + 0,25)$
Alexeeff 1960	$(m - 0,25)/(N + 0,25)$
Turquey 1962	$(3m - 1)/(3N + 1)$
Blojinoff 1976	$(m - 0,4)/(N + 0,2)$
Gringorten 1983	$(m - 0,44)/(N + 0,12)$
Sevruk & Geiger 1981	$(m - 3/8)/(N + 1/4)$

En la figura 3 se grafican las probabilidades empíricas calculadas por cada una de las expresiones anteriores a las series de trabajo ordenadas de forma decreciente, también se incluye la función de distribución normal.



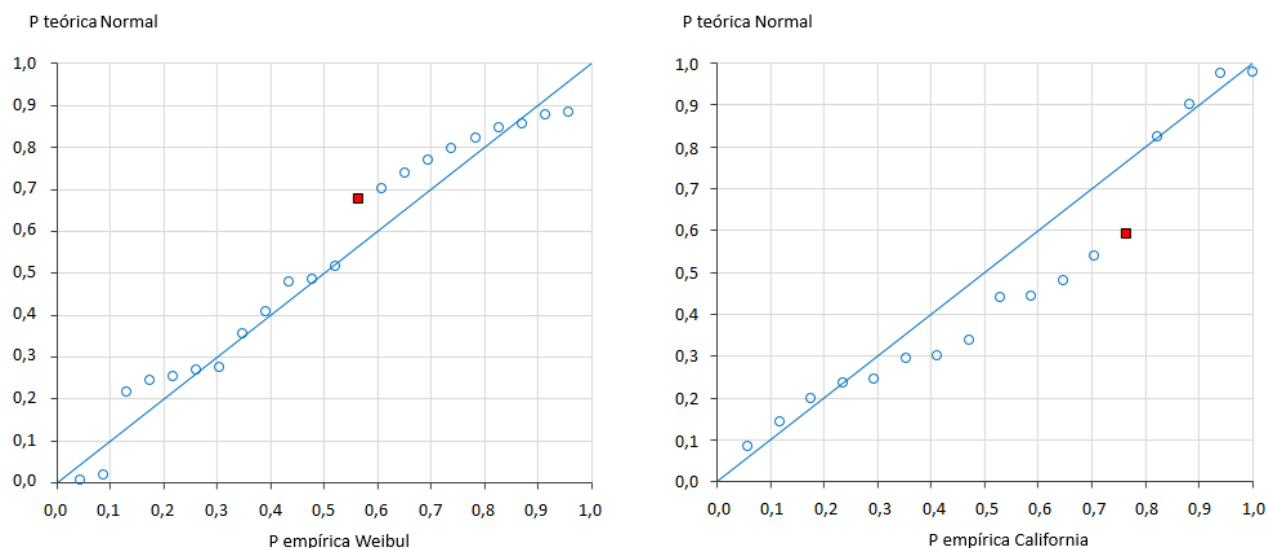
(a) Serie de precipitación.

(b) Serie de evaporación.

Figura 3. Series de trabajo ordenadas descendientemente con sus valores de probabilidad empírica y función de distribución normal.

Una vez obtenidos los valores de probabilidad empírica y teórica se calculan las diferencias entre ellos, es decir los valores Δ y se elige el máximo ($\Delta_{\text{máx}}$), para esto se seleccionó la ecuación de probabilidad empírica que más hacía crecer al valor $\Delta_{\text{máx}}$, en este caso fueron Weibull y California para la lluvia y la evaporación respectivamente.

En la figura 4 se colocan gráficas de probabilidad empírica vs teórica para ambas series y se resaltan los valores ($\Delta_{\text{máx}}$), en el caso de la serie de precipitación $\Delta_{\text{máx}} = 0,112$ y para la serie de evaporación $\Delta_{\text{máx}} = 0,174$. También se coloca la línea de 45° donde debieran converger las probabilidades teórica y empírica si fueran las mismas.



(a) Serie de precipitación.

(b) Serie de evaporación.

Figura 4. Relación entre los valores de probabilidad empírica y teórica

Los valores de ($\Delta_{\text{máx}}$) se comparan con los llamados ($\Delta_{\text{Crítico}}$), estos últimos se obtienen de la tabla de Smirnov – Kolmogorov con los valores de grado de libertad de cada serie y un nivel de significación de $\alpha= 0,05$. En el caso de la serie de precipitación, $\Delta_{\text{Crítico}}= 0,281$ y con relación a la evaporación $\Delta_{\text{Crítico}}= 0,318$. Como en ambos casos $\Delta_{\text{máx}} < \Delta_{\text{Crítico}}$, luego se concluye que los valores de ambas series se ajustan correctamente a la distribución normal de probabilidades.

Métodos para determinar la distribución mensual de la lluvia y la evaporación

En este estudio se emplean los mismos métodos aplicados en Mercado et al. (2014) debido a que son estudios similares; estos son: el Método de frecuencia acumulada y de distribución Normal.

Como ya se ha realizado un detallado análisis estadístico de las series de precipitación y evaporación, la aplicación de ambos métodos y obtención de los resultados es muy sencilla.

En el caso de la precipitación, en este tipo de estudios se procura obtener la distribución mensual de lluvia, del año con un valor de precipitación acumulado anual que represente una probabilidad de ocurrencia del 75 % en la gráfica (a) de la figura 3. Como en dicha gráfica hay valores empíricos y teóricos se puede decir que, acorde con los valores de frecuencia acumulada (empírico) este valor de precipitación del 75 % es de 802,90 mm correspondiente al año 2005, y de igual forma para la función teórica Normal, la precipitación del 75 % es de 897,30 mm correspondiente al año 2007.

La diferencia es de prácticamente unos 95 mm, en este caso se propone tomar como serie de trabajo para la futura determinación del régimen de riego, la distribución mensual de lluvia del año 2005 (ver tabla 1), esto garantiza tomar la solución de menos lluvia y por lo tanto induce un margen de seguridad en el régimen de riego.

Con relación a la evaporación se realiza el mismo análisis, salvo que en este caso se busca la distribución mensual que cumpla con que el valor acumulado anual tenga una probabilidad del 25 % en la gráfica (b) de la figura 3.

La evaporación del 25 % empírica y teórica asciende a 1300,20 mm y corresponde al año 2005, ver tabla 2.

En la figura 5 se ubican gráficas con años importantes para análisis hidrológicos, aquí se incluyen los referidos anteriormente y que son el principal resultado del trabajo. Con relación a la lluvia cabe destacar el año 1998 con valores notablemente altos y que se corresponden con el efecto del fenómeno El niño que provocó serias inundaciones en Chone.

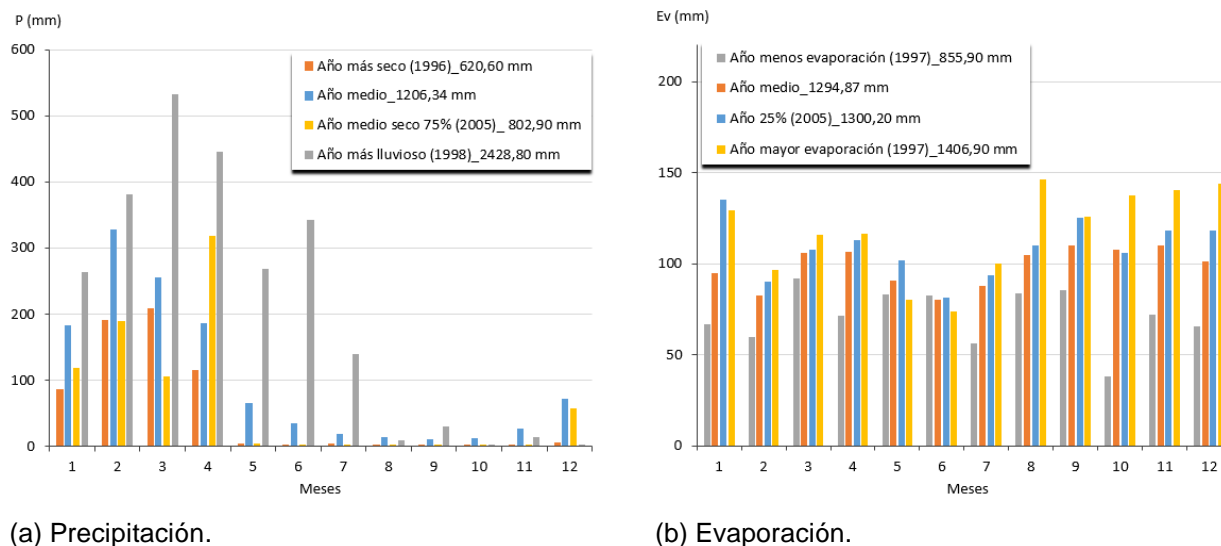


Figura 5. Gráficas de precipitación y evaporación mensuales para años característicos.

Conclusiones:

- Del análisis de datos climáticos de lluvia y evaporación de las estaciones meteorológicas de la región de Chone, se concluye que solo se pueden emplear los datos de la estación climatológica principal del INAMHI con código M126, ubicada dentro del área de estudio, en los predios de la Universidad Católica ya que el resto de estaciones vecinas (MA33, MA2K y MA34) presentan una gran cantidad de años sin mediciones.
- Se realiza un tratamiento de los datos climáticos de lluvia y evaporación mensuales de la estación M162, publicados por el INAMHI desde el año 1990 hasta el 2012 obteniéndose series completas de trabajo de 22 años para la precipitación y de 17 para la evaporación.
- Para el cálculo del régimen de riego del área de estudio, se propone el empleo de la distribución mensual de precipitación correspondiente al año 2005, que tiene un valor acumulado anual de 802,90 mm y corresponde al año del 75 % de probabilidad de sobrepaso.
- Para el cálculo del régimen de riego del área de estudio, se propone el empleo de la distribución mensual de evaporación del año 2005 que tiene un valor acumulado anual de 1300,20 mm y corresponde al año del 25 % de probabilidad de sobrepaso.

Referencias bibliográficas:

- Campos A. D.** (1998). "Procesos del ciclo hidrológico", Ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, ISBN: 9686194444, México.
- Cervantes C. E.** (2006). "Análisis de frecuencias en hidrología", Tesis de grado de Ingeniería Civil, Universidad la Salle Cuernavaca, Morelos, México.
- ESPAC** (2016). "Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua", Instituto Nacional de Estadísticas y censos INEC, Quito, Ecuador. Extraído de: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2014-2015/2015/Presentacion%20de%20resultados%20ESPAC_2015.pdf, en noviembre de 2016.
- Gil V.; Varela C. y Mardones G.** (2005). "Gestión integral del riesgo por inundaciones: Caso de estudio ciudad de Chone". XXXIII Curso internacional de geografía aplicada: Geografía y riesgos ambientales. Centro panamericano de estudios e investigaciones geográficas, Quito, Ecuador, extraído de: [http://www.cepeige.org/Documentos/2005\(91-109\).pdf](http://www.cepeige.org/Documentos/2005(91-109).pdf), en octubre de 2015.
- Mercado G.; Ramírez M.; Vizcarra I.; López H.; López D.; Granados A. y Chaires B.** (2014). "Distribución y probabilidad de la lluvia en Cuautitlán Izcalli, estado de México". XXIII Congreso mexicano e internacional de meteorología, Organización mexicana de meteorólogos, A. C. OMMAC. Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, extraído de: <http://www.ommac.org/memoria2014/memoria2014.html> en julio de 2016.
- NMX** (2015). "Estaciones meteorológicas, climatológicas e hidrológicas, Parte 2: Especificaciones técnicas que deben cumplir el emplazamiento y exposición de los instrumentos de medición de las estaciones meteorológicas automáticas y convencionales", Proyecto de Norma mexicana, Secretaría de comercio y fomento industrial SCFI, México, extraído de: http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa166-2-Proy2015_05.pdf en octubre de 2016.
- González L.; Jorge M. C.; Martínez J. B. y Marrero N.** (2003). "Hidrología Superficial para ingenieros", CUJAE, La Habana, Cuba.
- Raes D.** (2013). "Frequency analysis of rainfall data", College on Soil Physics – 30th Anniversary (1983-2013), International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italia, extraído de: <http://indico.ictp.it/event/a12165/session/21/contribution/16/material/0/0.pdf> en septiembre de 2016.