

Métodos de ajuste y homogenización de datos climáticos para determinar índice de humedad de Lang en la provincia de Manabí, Ecuador

Methods of adjustment and homogenization of climate data for determining the Lang moisture index in Manabi province, Ecuador

Scarlet Cartaya^{1,2,*}, Shirley Zurita¹, Víctor Montalvo Párraga¹

¹ Departamento Central de Investigación, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Manabí, Ecuador.

² Proyecto Prometeo, Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología, Senescyt. Quito, Ecuador.

³ Centro de Investigaciones Estudios del Medio Físico Venezolano del Instituto Pedagógico de Caracas de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas, Venezuela.

* **Correspondencia para el autor:** scarletcartaya@gmail.com

Resumen

El objetivo de esta investigación es emplear los métodos de ajuste, estimación y homogeneización de datos climáticos para elaborar el índice de humedad de Lang en la provincia Manabí. Los métodos empleados fueron: sustitución por el promedio, interpolación lineal y la racha. Los parámetros tratados fueron temperatura y precipitación, cuya información estuvo disponible en anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Una vez normalizados los datos climáticos, el procedimiento fue: cruce algorítmico de los mapas de precipitación y temperatura para generar el índice, calibración con el mapa de isolíneas de la cuenca del río Portoviejo. Se concluyó que el índice se ajustó en 90 % a la realidad. Casi no hay variaciones de temperatura debido a la ubicación isotermal, mientras se registran considerables diferencias en las precipitaciones, desde 1 hasta 2 500 mm aproximadamente.

Palabras clave: estimación por interpolación lineal, índice de humedad de Lang, Manabí, método de la racha, método de sustitución por promedio.

Abstract

The objective of this research is to use the methods of adjustment, estimation and homogenization of climate data to produce a Lang moisture index for Manabi province. The methods used were: mean substitution, linear interpolation and the racha method. The parameters studied were: temperature and precipitation, information on which is available in meteorological yearbooks of the National Institute of Meteorology and Hydrology. Once weather data were standardized, the procedure was: algorithmic crossing of precipitation and temperature maps to generate the index, calibration of isolines on the map of the Portoviejo river basin. We concluded that there was a 90% match of the index to reality. There were insignificant variations in temperature, owing to the isothermal location, but considerable differences in rainfall, ranging from 1 to approximately 2500 mm.

Key words: estimation by linear interpolation, Lang moisture index, Manabi, the racha method, mean substitution method.



Recibido: 30 de junio, 2015
Aceptado: 18 de mayo, 2016

Introducción

El término tiempo designa la combinación simultánea de los elementos que caracterizan, en un lugar y momento dado, los estados de la atmósfera. Por ello, el tiempo es particular e instantáneo. En cambio el clima se refiere al promedio de los estados del tiempo de la atmósfera, se trata de la sucesión habitual del conjunto de los elementos durante tiempo y lugar determinado (Cuadrat & Pita, 1997; Strahler & Strahler, 1997). El conocimiento de estos estados medios requiere de largas series de observaciones relativas a cada elemento.

En Ecuador, uno de los problemas que presentan los registros de datos climáticos como precipitación, temperatura, humedad relativa, entre otros, es que tienden a estar incompletos y en muchos casos inconsistentes. Como solución a este problema que es ocasionado por errores humanos o informáticos, se ha creado una serie de técnicas, métodos, metodologías, procedimientos, modelos estadísticos y matemáticos que permiten completar los registros, a saber: (a) promedio aritmético, (b) proporción normal, (c) interpolación, (d) racional, (e) diferencial de masa, (f) doble ploteo de masa, (g) la racha, entre otros (Guevara, 1987; Guevara & Cartaya, 1991).

El clima integra un conjunto de elementos, factores y fenómenos que tienen influencia sobre el suelo y la vegetación, por ello es indudable la importancia de realizar un tratamiento a los registros disponibles para que la caracterización climática se constituya en un aporte como información base para distintas áreas de estudio.

Los índices de humedad permiten estimar el clima de una región porque delimitan conjuntos homogéneos de condiciones similares. En este sentido, el objetivo de esta investigación es estimar el índice de humedad de Lang modificado para Manabí.

Materiales y métodos

Área de estudio

La caracterización climatológica se realizó en la provincia de Manabí ubicada en el centro norte de la costa ecuatoriana, entre las coordenadas geográficas: Punto Noroccidental: 01°03'33"S y 80°54'40"W. Punto Nororiental: 01°03'25"S y 80°51'28"W. Punto Suroccidental: 01°09'60"S y 80°51'59"W. Punto Suroriental: 01°07'41"S y 80°50'25", Datum WGS84, Zona 17 S, Proyección Universal Transversal de Mercator. Abarca una área de estudio de 18 947,33 km², con una población, según el censo de 2010 de 1 369 780 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010).

Recopilación de datos climáticos

Para el tratamiento y análisis de datos de precipitación y temperatura se procedió a obtener la información disponible en línea del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI). Se seleccionó el grupo de estaciones que cumplían las siguientes condiciones: (a) ubicadas en la provincia de Manabí, (b) periodo concomitante de 25 años de funcionamiento ininterrumpido, y (c) datos faltantes inferior al 20 %, para garantizar el rigor del estudio. Estas fueron: Portoviejo, Chone, Rocafuerte, Olmedo, Julcuy y Camposano (Figura 1).

Métodos de estimación de datos faltantes

La data se organizó en hojas de cálculo de la siguiente manera: (a) ubicación en filas los años en orden cronológico desde 1984 a 2011, (b) ubicación en las columnas los meses desde enero a diciembre, (c) construcción de tabla por cada parámetro climático, (d) estimación de la data faltante por dos métodos estadísticos: sustitución por el promedio e interpolación lineal.

El método de estimación mediante sustitución por el promedio se puede aplicar solamente cuando se dispone de un registro suficientemente largo y que

la variable no presente fuertes diferenciaciones. Este consiste en promediar los datos del período y considerar ese promedio como una estimación aproximada del dato faltante (Guevara, 1987, p.13). Se utilizó este método en estaciones con más de 25 años de registro consecutivo y cuando faltaba un solo dato.

En cambio, el método de interpolación lineal permite obtener un dato faltante individual mediante el cálculo del promedio entre dos meses, el anterior al dato faltante y el posterior (Guevara, 1987, p. 16).

Método de homogeneización: La Racha o La Ronda

Se empleó el método de homogeneización de La Racha, también denominado La Ronda, porque es de fácil manejo y alta confiabilidad estadística. Para

ello se procedió a compensar todas las estaciones a un período común; luego se ordenaron los datos en forma decreciente para calcular la medida de tendencia central denominada mediana. Posteriormente se procedió a ordenar los promedios anuales en orden cronológico, para contrastarlos con el dato correspondiente a la mediana. Cuando el valor está por encima de la mediana se le coloca la letra A, y cuando está por debajo se le coloca la letra B. De esta manera se obtuvo una racha cada vez que en la columna se registró un cambio de letra.

Posteriormente se cuenta el número de rachas y se busca en la tabla de Hoel o tabla de contingencia con nivel de significación de 5 % (Ebdón & Muntaner, 1982, pp. 312-313). Sí el número de la racha obtenido está dentro de los parámetros de la tabla se consideran los datos de la estación consistente (Almeida, 2010) (Tabla 1).

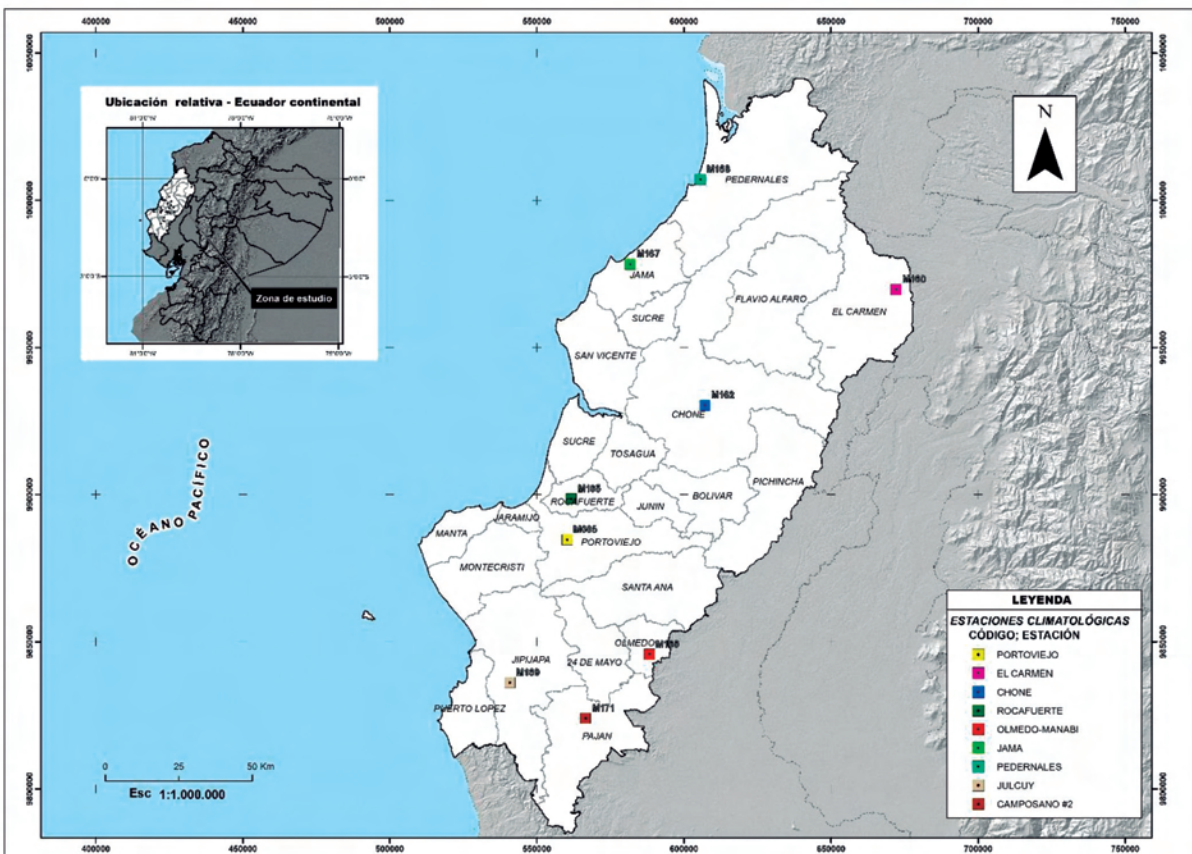


Figura 1. Localización de las estaciones climatológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI). Elaborado por Departamento Central de Investigación de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” (2015).

Tabla 1. Tabla de Hoel o contingencia con valores críticos del número de rondas para la prueba de las rondas, con el nivel de significación de 0,05

n1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2										
3					2	2	2	2	2	2
4				2/9	2/9	2	3	3	3	3
5		2	2/9	2/10	3/10	3/11	3/11	3	3	4
6		2	2/9	3/10	3/11	3/12	3/12	4/13	5/14	4/13
7		2	2	3/11	3/12	3/13	4/13	4/14	5/14	5/14
8		2	3	3/11	3/12	4/13	4/14	5/14	5/15	5/15
9		2	3	3	4/13	4/14	5/14	5/15	5/16	6/16
10		2	3	3	4/13	5/14	5/15	5/16	6/16	6/17
11		2	3	4	4/13	5/14	5/15	6/16	6/17	7/17
12	2	2	3	4	4/13	5/14	6/16	6/16	7/17	7/18
13	2	2	3	4	5	5/15	6/16	6/17	7/18	7/19
14	2	2	3	4	5	5/15	6/16	7/17	7/18	8/19
15	2	3	3	4	5	6/15	6/16	7/18	7/18	8/19
16	2	3	4	4	5	6	6/17	7/18	8/19	8/20
17	2	3	4	4	5	6	7/17	7/18	8/19	9/20
18	2	3	4	5	5	6	7/17	8/18	8/19	9/20
19	2	3	4	5	6	6	7/17	8/18	8/20	9/21
20	2	3	4	5	6	6	7/17	8/18	9/20	9/21

n1	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2									
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	3	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	4	4	4	4	4
6	4	4	4	4	4	4	5	5	5
7	4/13	5	5	5	5	5	5	6	6
8	5/14	5/15	5/15	6/15	6	6	6	6	6
9	6/16	6/16	6/16	6/16	6/17	7/17	7/17	7/17	7/17
10	6/16	6/17	7/17	7/18	7/18	7/18	8/18	8/18	8/18
11	7/17	7/18	7/18	7/18	8/19	8/19	8/19	8/20	9/20
12	7/18	7/19	8/19	8/19	8/20	9/20	9/20	9/21	9/21
13	7/19	8/19	8/20	8/20	9/21	9/21	9/21	10/22	10/22
14	8/19	8/20	9/20	9/21	9/21	10/22	10/22	10/23	10/23
15	8/20	9/20	9/21	9/22	10/22	10/23	10/23	11/23	11/24
16	8/20	9/21	9/22	10/22	10/23	11/23	11/24	11/24	12/25
17	9/21	9/21	10/22	10/23	11/23	11/24	11/25	12/25	12/25
18	9/21	10/22	10/23	11/23	11/24	11/25	12/25	12/26	13/26
19	9/21	10/22	10/23	11/24	11/25	12/25	12/26	13/26	13/27
20	10/22	10/23	11/23	11/24	12/25	12/26	13/26	13/27	13/27
21	10/22	10/23	11/24	12/25	12/25	13/26	13/27	13/27	14/28

Parámetros descriptivos y clasificación climática

Una vez estimados los datos faltantes para el período concomitante, se procedió a calcular para cada estación: (a) periodo seco y húmedo; (b) monto pluviométrico anual; (c) amplitud térmica; (d) media de temperatura de todo el periodo, y (e) tipo climático según la clasificación de Köppen (Strahler & Strahler, 1997).

Se utilizó la clasificación de los climas según

Köppen, por ser sencilla y emplear tan sólo dos variables: temperatura y precipitación. Para la clasificación de Köppen la isoterma media mensual de 18 °C es la que separa los climas tropicales de los templados. Estos se subdividen en relación con la precipitación, puesto que su volumen y regularidad, junto con la temperatura, son esenciales en el desarrollo de las distintas especies vegetales. El umbral para separar los meses secos de los húmedos es de 60 mm; se considera un mes húmedo cuando la precipitación sea \geq a 60 mm. (Strahler & Strahler, 1997).

Índice de Humedad de Lang

Este índice es un cociente pluviométrico que considera la acción conjunta de dos elementos: temperatura y precipitación (Walton, 2009; Stephen, 2005). En 1915 William Lang estableció un índice climático general, denominado Rain-Factor, que viene dado por la siguiente expresión:

$$iL = P_m / T_m$$

iL = índice de Lang

P_m = Precipitación media anual en mm

T_m = Temperatura media anual en °C

Los valores del índice aumentan en relación directa con el grado de hidrofilia. El cociente 40 indica la separación entre los climas áridos y los suficientemente húmedos. En función del cociente la clasificación del clima se reduce a tres términos: (a) árido = L < 40; (b) húmedo = 40 < L < 160, y (c) superhúmedo = 160 < L. (Walton, 2009; Stephen, 2005).

Este índice fue ajustado para la región ecuatorial, a fin de incluir más variedad de zonas de humedad, quedando así: (a) desierto: 0-20; (b)

semidesierto: 20-25; (c) árido: 25-40; (d) húmedo de sabanas: 40-60; (e) húmedo de bosques claros o tropófilos: 60-100; (f) húmedo de grandes selvas pluviales: 100-160, y (g) súper húmedo de selvas pluviales: 160. (Álvarez, 1983).

Resultados

Aplicación del Método de la Racha

Se aplicó la prueba a todas las estaciones seleccionadas, obteniéndose como resultado que, a excepción de la temperatura de la estación Camposano, la data es homogénea por lo tanto estadísticamente confiable porque los valores se encuentran dentro de los rangos de la prueba a un nivel de significancia de 0.05 (Tablas 2 y 3).

Análisis e interpretación de los datos por estación climatológica

Una vez conocida la confiabilidad de la data se calcularon datos básicos que facilitan el análisis y la interpretación de cada estación climatológica. En la tabla 4 se presenta un resumen.

Tabla 2. Prueba de la Racha o de la Ronda para las estaciones del período concomitante para la provincia de Manabí.

Estación	PORTOVIEJO	CHONE	ROCAFUERTE	OLMEDO	JULCUY	CAMPOSANO	
Latitud	1° 2' 15" S	0° 41' 0" S	0° 55' 20" S	1° 23' 44" S	1° 28' 48" S	1° 35' 34" S	
Longitud	80° 27' 35" W	80° 5' 0" W	80° 27' 9" W	80° 12' 39" W	80° 37' 58" W	80° 24' 4" W	
Elevación (msnm)	46	20	20	50	240	220	
Temperatura	Rango de prueba	9-21	9-21	9-21	9-21	9-21	
	Rachas totales	17	15	17	12	12	
	Resultado	Hipótesis aceptada	Hipótesis aceptada	Hipótesis aceptada	Hipótesis aceptada	Hipótesis aceptada	Hipótesis rechazada
Precipitación	Rango de prueba	9-21	9-21	7-17	9-21	9-21	9-21
	Rachas totales	18	14	13	14	14	15
	Resultado	Hipótesis aceptada	Hipótesis aceptada	Hipótesis aceptada	Hipótesis aceptada	Hipótesis aceptada	Hipótesis aceptada

Tabla 3. Ejemplo de la aplicación del método de La Racha, para el parámetro temperatura de la Estación climatológica Portoviejo.

MÉTODO DE LA RACHA O LA RONDA						
TEMPERATURA - ESTACIÓN PORTOVIEJO UTM						
Latitud:	1° 2' 15" S	Longitud:	80° 27' 35" W	Altitud:	46	
CÓDIGO:	M005					
TEMPERATURA °c	AÑO	MEDIANA	AÑO	TEMPERATURA °c	RACHA	Nº DE RACHA
26,62	1997	1	1984	24,80	B	1
26,26	2009	2	1985	24,59	B	1
25,94	1998	3	1986	24,98	B	1
25,87	2006	4	1987	25,78	A	2
25,86	1991	5	1988	25,15	B	3
25,78	1987	6	1989	24,63	B	3
25,69	1993	7	1990	25,41	A	4
25,64	2004	8	1991	25,86	A	4
25,64	2007	9	1992	25,24	B	5
25,50	1995	10	1993	25,69	A	6
25,43	2010	11	1994	25,20	B	7
25,41	1990	12	1995	25,50	A	8
25,40	2003	13	1996	25,16	B	9
25,32	2002	14	1997	26,62	A	10
25,26	2005	14	1998	25,94	A	10
25,24	1992	13	1999	24,68	B	11
25,20	1994	12	2000	24,96	B	11
25,16	1996	11	2001	24,85	B	11
25,15	1988	10	2002	25,32	A	12
25,13	2008	9	2003	25,40	A	12
24,98	1986	8	2004	25,64	A	12
24,96	2000	7	2005	25,26	B	13
24,85	2001	6	2006	25,87	A	14
24,80	1984	5	2007	25,64	A	14
24,77	2011	4	2008	25,13	B	15
24,68	1999	3	2009	26,26	A	16
24,63	1989	2	2010	25,43	A	16
24,59	1985	1	2011	24,77	B	17

DATOS MEDIOS	25,32	25,26	MEDIANA =	25,29	
Nº DE RACHAS A	14	Nº DE RACHAS B	14	RACHAS TOTALES	17

RANGO DE PRUEBA	9	21	RESULTADO	HIPÓTESIS ACEPTADA
-----------------	---	----	-----------	--------------------

Tabla 4. Estaciones climatológicas con período concomitante para la provincia de Manabí.

Estación	PORTOVIEJO	CHONE	ROCAFUERTE	OLMEDO	JULCUY	CAMPOSANO	
Latitud	1° 2' 15" S	0° 41' 0" S	0° 55' 20" S	1° 23' 44" S	1° 28' 48" S	1° 35' 34" S	
Longitud	80° 27' 35" W	80° 5' 0" W	80° 27' 9" W	80° 12' 39" W	80° 37' 58" W	80° 24' 4" W	
Elevación (msnm)	46	20	20	50	240	220	
Temperatura	Mes máximo (°C)	abril (26.54)	marzo (26.81)	marzo (26.51)	abril (26.51)	abril (25.85)	marzo (25.92)
	Mes mínimo (°C)	agosto (24.28)	agosto (24.57)	septiembre (24.09)	julio (25.00)	agosto (23.80)	julio (25.13)
	Promedio anual (°C)	25.3	25.6	25.3	25.9	24.7	25.5
	Amplitud térmica (°C)	2.3	2.2	2.4	1.5	2.0	0.8
Precipitación	Mes máximo (mm)	febrero (157.28)	febrero (309.08)	febrero (144.74)	febrero (379.29)	febrero (260.67)	marzo (334.54)
	Mes mínimo (mm)	octubre (2.49)	septiembre (10.58)	septiembre (1.80)	agosto (9.49)	septiembre (1.46)	agosto (2.95)
	Período seco	mayo-diciembre (16.35 %)	mayo-noviembre (14.52 %)	mayo-diciembre (16.39 %)	junio-noviembre (5.96 %)	mayo-noviembre (5.66 %)	junio-noviembre (5.41 %)
	Período húmedo	enero-abril (83.65 %)	diciembre-abril (85.48 %)	enero-abril (83.61 %)	diciembre-mayo (94.04 %)	diciembre-abril (94.34 %)	diciembre-mayo (94.59 %)
	Monto pluviométrico anual (mm)	603.86	1 144.15	471.04	1 625.53	869.16	1 364.27

Estación Portoviejo

Los datos mostraron una temperatura con poca diferencia entre las mínimas y máximas (la diferencia es de 2.3 °C), un periodo húmedo entre los meses de enero y abril en el que se registró casi el 84 % (505.1 mm) de las precipitaciones anuales. El periodo seco, entre mayo y diciembre, registró un 16 % (98.7 mm) de las precipitaciones anuales, siendo febrero el mes con más precipitaciones (157.3 mm). Octubre, por el contrario, es el mes con menos precipitaciones (2.5 mm). La media de temperatura anual (25.3 °C) es superior a 18 °C. Según la clasificación de Köppen es Estepario Cálido (BSh) con régimen de lluvia tropical, megatérmico.

Estación Rocafuerte

El periodo húmedo está definido entre los meses de enero y abril, cuando se concentra el 84 % (393.8 mm) de las precipitaciones anuales. Se registró un periodo seco entre mayo y diciembre con un 16 % (77.2 mm) de precipitación media, siendo febrero el mes con más lluvia (144.7 mm). Septiembre, por el contrario, es el mes menos lluvioso (1.8 mm). La media anual de temperatura es de 25.3 °C y el monto pluviométrico anual es de 471 mm. Clasifica según Köppen como Estepario Cálido y Seco (BSh) con régimen de lluvias tropical, megatérmico.

Estación Chone

La temperatura media anual es de 25.6 °C, con 2.2 °C de diferencia entre la máxima y la mínima. El periodo húmedo se ubica entre los meses de diciembre y abril, en el que se concentra casi el 86 % (978 mm) de las precipitaciones anuales. El periodo seco se sitúa entre mayo y noviembre, registrando un 14 % (166.2 mm) de las precipitaciones anuales, siendo febrero el mes con más precipitaciones (309,1 mm). Septiembre es el mes con menor precipitación (10.6 mm). Según clasificación de Köppen, la categoría de esta estación es Tropical Lluvioso de Sabana (Aw) con régimen de lluvia tropical, megatérmico.

Estación Olmedo

La temperatura media anual es de 25.9 °C de régimen isoterma (1,5 °C), con un periodo húmedo entre los meses de diciembre y mayo, en el que se registra el 94 % (1 528.7 mm) de las precipitaciones anuales, siendo febrero el mes con más lluvias (379.3 mm). El periodo seco, entre mayo y noviembre, registró un 6 % (96.8 mm) de precipitación anual, con agosto como el mes con menos pluviosidad (9.5 mm). Según la clasificación de Köppen esta estación es Tropical Lluvioso de Sabana (Aw) de régimen pluviométrico tropical, megatérmico.

Estación Julcuy

La temperatura media anual es de 24.7 °C, presenta un periodo húmedo entre los meses de diciembre y abril con 94 % (819.9 mm) de precipitaciones anuales. Destaca un periodo seco entre mayo y noviembre, registrando un 6 % (49.2 mm) de las precipitaciones anuales. Febrero es el mes con mayor cantidad de lluvia (260,7 mm), mientras que septiembre es el mes de menor precipitación, con un valor de 1.5 mm. Según la clasificación de Köppen esta estación es Tropical Lluvioso de Sabana (Aw) de régimen de lluvias tropical, megatérmico.

Estación Camposano

La temperatura media anual es de 25.5 °C. El periodo húmedo se desarrolla entre los meses de enero y abril en el que se registra casi el 84 % (505.1 mm) de las precipitaciones anuales. Se presentan periodos secos entre mayo y diciembre, registrando un 16 % (98.7 mm) de las precipitaciones anuales, siendo febrero el mes con más precipitaciones (157.3 mm). Por el contrario, octubre es el mes con menor precipitación (2.5 mm). Según la clasificación de Köppen esta estación es Tropical Lluvioso de Sabana (Aw) de régimen pluviométrico tropical, megatérmico.

Cálculo del Índice de Humedad de Lang

Previo a la aplicación del índice, se realizó la

representación cartográfica de la precipitación y la temperatura, obteniéndose los mapas de isoyetas e isotermas, a través del método de interpolación (Kriging) y el empleo de un Sistema de Información Geográfico (Figura 2).

En el mapa de isoyetas se aprecia que la zona noroccidental de la provincia posee los mayores rangos de precipitación, siendo el sector más cercano a las vertientes occidentales de la región sierra. Mientras, al oeste y suroeste de la provincia, donde se encuentran las menores elevaciones, se observan los menores montos de precipitación.

En el mapa de isotermas, las zonas de mayor temperatura son el centro y el sureste (cercanía a

la provincia del Guayas, donde hay menor altitud), no obstante, en sentido noreste, en los sectores con mayor altitud bajo la influencia de los vientos locales de montaña, se presentan las menores temperaturas (cercanía a Santo Domingo de los Tsáchilas). La zona costera muestra temperaturas con poca diferencia, observándose relativamente más baja en la zona que recibe la influencia directa de las corrientes marinas.

Mediante el cruce algebraico de las isotermas e isoyetas se obtuvo el mapa con el índice de Lang para la provincia de Manabí (Figura 2). Este cálculo permite tomar en cuenta la interacción de los dos factores, calor y humedad, que condicionan fundamentalmente la duración del período activo de las plantas.

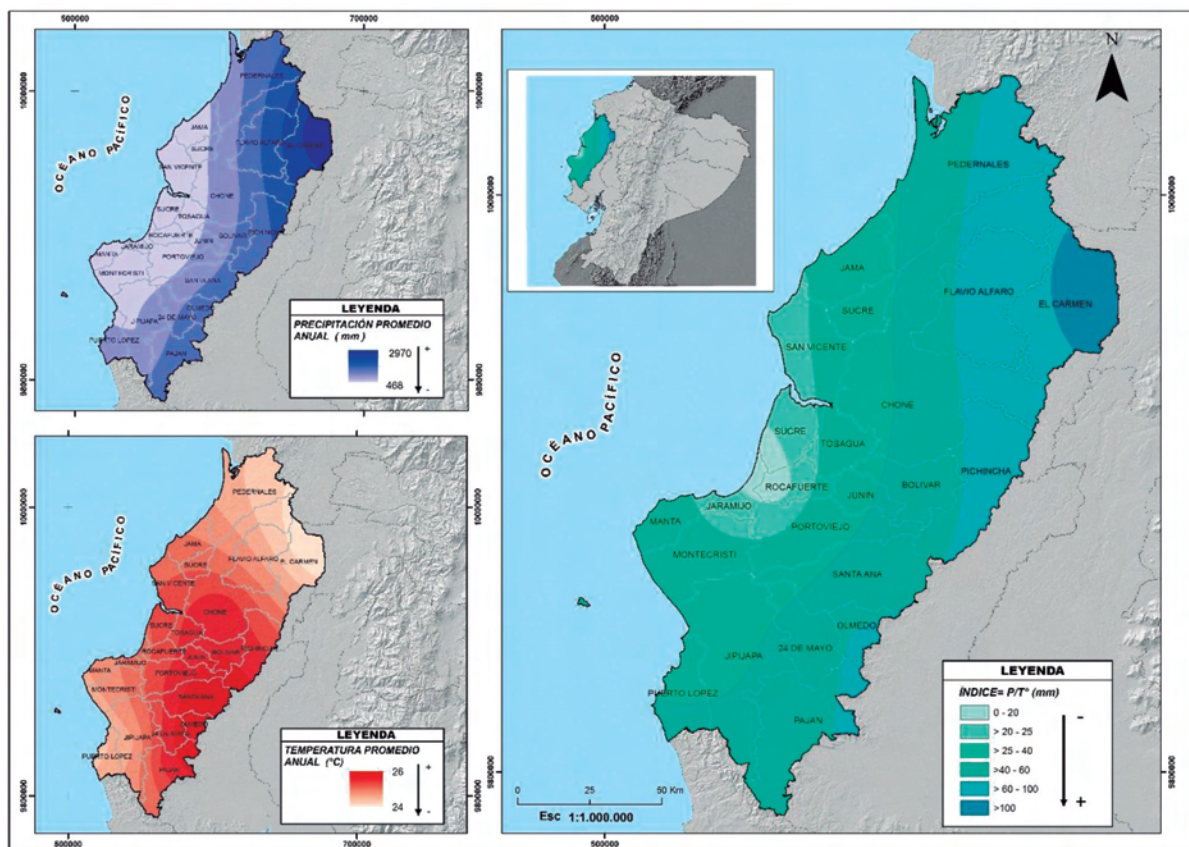


Figura 2. Índice de Humedad de Lang aplicado a Manabí, Ecuador. Elaborado por Departamento Central de Investigación de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” (2015).

La provincia, en general, tiene un índice de Lang de 61.17, ubicándose en la categoría "Húmedo de bosques claros" (Tablas 5 y 6). El clima húmedo de sabana abarca el 36 % de la provincia, sin embargo, el clima árido ocupa un buen porcentaje del territorio costero (28 %), abarcando desde Puerto López hasta Jama. Un 24 % lo ocupa el clima húmedo de bosque claros o tropófilos, franja que se extiende desde Pichincha hasta Pedernales, caracterizándose por ser un sector acolinado con fuertes pendientes (>20 %), transicional entre las planicies costeras y la sierra (Cartaya, *et al*, 2015). El sector con más humedad (4 %) está focalizado al extremo este de provincia y de mayor elevación por su proximidad a la cordillera occidental de los Andes, específicamente en el cantón El Carmen que colinda geográficamente con Santo Domingo de los Sábichilas. Las zonas con clima más desértico y semidesértico (8 % de superficie), abarca la costa desde Jaramijó hasta San Vicente.

Tabla 5. Índice de Humedad de Lang promedio para Manabí.

Promedio de Precipitaciones (mm)	Promedio de Temperatura (°C)	Promedio del índice
500	25.28	19.90
1000	25.52	39.29
1 500	24.55	65.10
2 000	25.26	79.18
2 500	24.42	102.4
Promedio	25.00	61.17

Tabla 6. Área y porcentaje de las categorías del Índice de Humedad de Lang para Manabí.

Índice	Rangos (Km2)	Área (%)	Porcentaje
Húmedo de grandes selvas	> 100	729.88	4
Húmedo de bosques claros	60-100	4 472.60	24
Húmedo de sabana	40-60	6 755.09	36
Árido	25-40	5 336.36	28
Semidesértico	20-25	1 251.89	7
Desértico	0-20	269.92	1
	Total	18 815.74	100

La provincia de Manabí cuenta con variaciones poco significativas de temperatura, entre 24 a 26 °C aproximadamente. Esto se explica por estar ubicada en la región ecuatorial que es considerada isothermal (la diferencia entre la temperatura media mensual mayor y menor es < a 5 °C). Se aprecia las mayores temperaturas en el sureste (límite con la provincia de Guayas) y valores menores en la zona noreste (límite con la provincia de Santo Domingo de los Tsábichilas), siendo la altitud una variable influyente, así como la corriente oceánica de Humboldt.

Por otro lado, la precipitación si presenta diferencias importantes en la provincia. Desde zonas con escasas precipitaciones (400 mm ±) hasta sectores con abundante precipitación (3 000 mm ±). Un papel fundamental lo juegan una combinación de los vientos locales, Zona de Convergencia Intertropical y las corrientes oceánicas de Humboldt y Panamá. Se generan pequeños sectores de bajas presiones atmosféricas que pueden explicar la elevada humedad relativa en sectores con registro moderado de lluvias, donde se desarrollan bosque húmedos azonales, como es el caso del bosque de Pacoche y de Machalilla.

El índice de humedad de Lang modificado, arrojó valores que van desde 19 hasta 104, de semi-desértico a húmedo de grandes selvas. Esto significa que hay una distribución de casi todos los rangos de humedad del índice en la provincia, dato que es significativo para el monitoreo de cultivos y vegetación nativa.

Se pueden establecer tres tipos climáticos, basados en el índice de humedad de Lang: (a) clima tropical megatérmico semiárido; (b) clima tropical megatérmico seco a semihúmedo, y (c) clima tropical megatérmico húmedo.

El clima tropical megatérmico semiárido influencia la zona entre Santa Elena y el cabo San Lorenzo. Es muy seco, con precipitaciones anuales inferiores a 500 mm, concentradas en una sola estación lluviosa de enero a abril y temperaturas medias superiores a 23 °C. Debido a la influencia de la corriente de Humboldt, los

valores mínimos de las lluvias y temperatura media anual en la costa sur de la provincia son de 140 mm y 23.4 °C. Entre julio y octubre el tiempo se caracteriza por un cielo nublado, neblinas y precipitaciones muy débiles, con intensidades sin impacto notable sobre la vegetación. Episódicamente, la ocurrencia del fenómeno de El Niño contribuye a producir precipitaciones excepcionalmente fuertes, únicas ocasiones en las que reverdece el paisaje (basado en Pourrut, Róvere, Romo & Villacrés (1995) e interpretaciones de los datos).

En el clima tropical megatérmico seco a semi-húmedo, la pluviometría anual está comprendida entre 500 y 1 000 mm de diciembre a mayo. La estación seca es muy marcada y las temperaturas medias son elevadas, superiores a 24 °C. Entre las latitudes 0° y 4° 30' S, este clima influye en una faja de unos 60 Km de ancho. La vegetación esta principalmente constituida por un bosque seco en el que destacan Ceibas (basado en Pourrut *et al.*, 1995 e interpretaciones de los datos).

En el clima tropical megatérmico húmedo los totales pluviométricos anuales varían generalmente entre 1 000 y 2 000 mm con algunos valores mayores en las estribaciones bajas de la cordillera. Las precipitaciones están concentradas en un periodo único, de diciembre a mayo, siendo seco el resto del año. Las temperaturas medias fluctúan alrededor de 25 °C y la humedad varía entre 70 % y 90 % según la época. Este clima abarca una faja un poco inferior a 100 Km de ancho que parte de la costa norte para desaparecer en el Golfo de Guayaquil. La vegetación es un bosque denso que tiene un periodo de receso dentro de su cielo vegetativo (basado en Pourrut *et al.*, 1995 e interpretaciones de los datos).

Discusión

Estimar de manera precisa la falta de datos climáticos diarios y mensuales, es una labor difícil sobre todo en grandes extensiones territoriales. Obtener una data confiable y representativa es esencial para aplicar índices de humedad en investigaciones medioambientales.

Mas, en el caso de la provincia de Manabí, donde la información tiene vacíos y escasez de datos, la imputación de los datos faltantes es la clave funcional para este tipo de modelos físicos. Existen diversos métodos y técnicas, su uso va a depender de las características de la información, la distribución espacial de las estaciones climáticas y/o meteorológicas y, en muchos casos, de las similitudes geográficas.

En este sentido, Ebdon y Muntaner (1982) indican que existen diferentes técnicas y métodos estadísticos como: tendencia central, dispersión, forma, estructura y relaciones espaciales. Aunque aclaran que los procedimientos estadísticos, a pesar de entregar resultados aceptables muestran ser deficientes por sí solos en el estudio de fenómenos climáticos, proponen combinarlos con procedimientos geoestadísticos como el Krigeage (Kriging).

En cambio, Guevara (1987) hace una recopilación de los métodos de estimación y ajuste de datos climáticos clásicos y de mayor uso en este campo, aplicables a una o más de las variables climáticas y recomienda por lo valioso y práctico de su uso, la estimación directa de un valor por métodos descriptivos de posición o centralización, medidas de variabilidad, así como también, estimaciones en base a la interpolación, métodos de correlación y regresión, entre otros.

Igualmente, Guerra *et al.* (2006) refieren que en la literatura existen métodos y técnicas estadísticas utilizadas en el análisis de datos climáticos, en forma amplia y detallada, en cuanto a las múltiples aplicaciones que tiene esta rama de la matemática en los campos meteorológicos, climáticos e hidrológicos. Proponen, basados en Perdomo y Perdomo (1979), el empleo de la estimación por interpolación lineal, doble ploteo de masas, cocientes, regresión simple, entre otros.

A los métodos tradicionales se le suman otros procedimientos más sofisticados y adecuados para grandes series temporales y de difícil manejo. Es el caso de Coulibaly y Évora (2007), quienes recurren a las redes neuronales artificiales junto

con diferentes métodos de optimización para llenar los datos diarios totales, faltantes en los registros de precipitación y series de temperatura extrema diaria, precipitación y temperatura diarios provenientes de 15 estaciones meteorológicas ubicadas en una cuenca de drenaje. Urrutia *et al.* (2010) presentaron como metodología a seguir para la imputación de datos en series de precipitación y/o temperatura, las correlaciones parciales, modelos de regresión, ajustes de los datos por medio del método de doble ploteo de masas y verificación de la tendencia a través del test de Kendal. Evaluaron que, para datos faltantes de máximo 20 %, esta metodología resulta apropiada, sin embargo, para faltantes de más de 20 % se recomienda otros modelos.

Para calcular cualquier índice de humedad-aridez, se requiere asumir la sustitución del dato faltante y la posterior comprobación de su consistencia estadística. Es por ello que Dantas *et al.* (2008), para seleccionar el modelo que mejor represente las variaciones mensuales de las variables meteorológicas (radiación solar, la temperatura de aire, precipitación y humedad relativa) y estimar la aridez del sector de interés, aplicaron varios modelos en función de las características de los datos, tales como De Martonne, Lang, Meyer, CCD y Xerotérmico (Gausson). Antes, prepararon la data imputando datos faltantes. Igualmente, Piña *et al.* (2010) emplearon el Índice de Lang para tipificar climáticamente el área de interés, mediante el paquete SURFER (herramienta para el mapeado de superficies en 3 dimensiones y contornos), después de haber homogenizado la data y calculado datos faltantes mediante métodos estadísticos.

Otro método para reconstruir datos faltantes diarios de precipitación para grandes series, es el desarrollado por Kim *et al.* (2010) que consiste en emplear las redes neuronales artificiales con entradas únicamente de las estaciones que influyeron en aplicaciones de arranque de árboles de regresión.

También se plantea el empleo de diferentes algoritmos de interpolación espacial (métodos determinísticos) como la ponderación inversa a

la distancia, la regresión lineal simple, regresión múltiple, regresión geográficamente ponderada, redes neuronales artificiales y los modelos geoestadísticos como kriging ordinario y residual (Di Piazza, 2011).

Para un estudio en el Valle del Cauca, Colombia, Castro *et al.* (2013) analizaron las series de precipitación de 47 estaciones que presentaban datos faltantes y para la estimación de estos se emplearon varios métodos como el de regresión lineal, proporciones normales e imputación por la media, así como el análisis de tendencias, utilizando la prueba Mann-Kendall (1975) para determinar qué estaciones presentaron una tendencia creciente o decreciente en la precipitación total anual y mensual. También usaron el método de la pendiente de Sen (1968) para cuantificar la tendencia en el cambio por año o mes en la precipitación pluvial anual o mensual cuando existe en ella una tendencia lineal. Otra forma de imputar datos faltantes en las series es a través de los métodos multicriterios, tal como lo asumió Araya-López (2014), quien resolvió el problema de datos ausentes usando componentes principales.

Para completar la data climática, Penagos Cruz (2014) aplicó una metodología para el arreglo estadístico de datos que combinó el doble ploteo de masa, el análisis comparativo del comportamiento, la tendencia y el ajuste estacional. Para representar espacialmente la distribución de las precipitaciones empleó el método isoyético. Con el propósito de reconstruir series horarias de la temperatura del aire cerca de la superficie, Tonini *et al.* (2016) compararon técnicas geoestadísticas espacio-temporales como el Kriging (probabilístico) y funciones ortogonales empíricas (deterministas). Concluyeron que las compensaciones entre las técnicas proporcionan directrices prácticas para llenar los vacíos de datos en función de la densidad espacial y la cobertura de las mediciones. En cambio, Bárdossy y Pegram (2014) consideran el vecino más cercano de sustitución a través de Kriging, una técnica tradicional, y proponen el uso de métodos basados en la cópula, cuando la data tenga bajo número de meses secos.

En las dos últimas décadas se han desarrollado muchos métodos para identificar y eliminar heterogeneidades en datos de variables meteorológicas. Uno es la simulación geoestadística (Simulación Secuencial Directa), donde se calculan las funciones de densidad de probabilidad locales en estaciones de vigilancia, que luego se utilizan para la detección de faltas de homogeneidad. Este método revela que el empleo de técnicas geoestadísticas tiene ventajas potenciales en la detección de la falta de homogeneidad en las series temporales climáticas (Ribeiro *et al.* 2016).

Existe variedad de métodos y técnicas que deben emplearse dependiendo de las características de la data. En función de ello se seleccionará lo apropiado para que la información sea estadísticamente confiable y representativa.

Conclusiones

No se cuenta con información de variables climáticas completas debido a situaciones que pudieran estar relacionadas con equipos no calibrados, deterioro en unidades de medición y/o procedimientos de mediciones deficientes, por lo cual los datos existentes en el país son cualitativa y cuantitativamente insuficientes para entregar una caracterización fehaciente y cabal de los fenómenos climáticos. Sin embargo, los métodos propuestos para la estimación de datos faltantes, como sustitución por el promedio e interpolación lineal, así como el de la Racha para homogenizar de la data, resultaron ser una herramienta crucial y viable para la preparación de los registros antes de realizar cualquier análisis estadístico de los datos y generar un cruce algebraico de mapas.

La serie de temperatura de la estación Camposano se mostró inconsistente, no obstante, en vista de que es la única estación que presenta esta particularidad, y el valor de la racha está cercano al rango mínimo, se asumió como un error de inconsistencia aceptable. El resto de las estaciones, tanto en las variables precipitación y temperatura, muestran consistencia, por lo tanto se trata de una data confiable estadísticamente, a fin de ser empleada para calcular el índice de Lang.

Se recomienda emplear los métodos de sustitución cuando el porcentaje de datos faltantes sea menor o igual al 20 %, por lo cual los límites que se fijan entre las diversas zonas húmedas no deben considerarse rígidos o definitivos. Aunque se admite limitaciones, es una buena representación de la distribución de la humedad, considerando que las imágenes de satélite en la región están cargadas de nubes lo cual restringe su uso. Se recomienda densificar y mantener una adecuada red de Estaciones Meteorológicas en todo el territorio nacional.

Agradecimiento

Este trabajo de investigación fue apoyado por el "Proyecto Prometeo" de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), de la República de Ecuador.

Referencias bibliográficas

- Almeida, M. (2010). *Instructivos de procesamiento de información hidrometeorológica*. Quito, Ecuador: Facultad de Ingeniería civil y ambiental de la Escuela Politécnica Nacional.
- Álvarez, F. (1983). *Atlas climatológico de Venezuela 1951-1970*. Caracas, Venezuela: Ministerio del Ambiente.
- Araya-López, J. (2014). Experiencias en la aplicación operativa de un método multivariado de imputación de datos meteorológicos. *Tecnología en Marcha*, 27(3), 70-79.
- Bárdossy, A., & Pegram, G. (2014). Infilling missing precipitation records – A comparison of a new copula-based method with other techniques. *Journal of Hydrology*, 519, 1162-1170. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.08.025
- Cartaya, S., Zurita, S., & Rodríguez, E. (2015) Comprobación del NDVI en imágenes RapidEye para determinar cobertura vegetal y usos de la tierra en la provincia de Manabí, Ecuador. *San Gregorio*, 10, 76-92.
- Castro – Llanos, D., & Carvajal, Y. (2013). Análisis de tendencia en la precipitación pluvial anual y mensual en el departamento del Valle del Cauca. *Desarrollo Regional*, 11(20), 9-17.

- Coulibaly, P., & Evora, N. (2007). Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records. *Journal of Hydrology*, 341, 27–41. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.04.020
- Cuadrat, J.F., & Pita, F. (1997). *Climatología*. Madrid, España: Editorial Cátedra.
- Dantas K., Pereira de Andrade, A., Wagner R., de Oliveira, P., & Pazera, D. (2008). Índices de aridez aplicados ao semi-árido paraibano: De Martonne, Lang, Meyer, CCD e Xerotérmico. *Geoambiente On Line*, 10, 164-176.
- Di Piazza, A., Lo Conti, F., Noto, L, Viola, F., & La Loggia, G. (2001). Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 396-408. doi:10.1016/j.jag.2011.01.005
- Dirección General de Meteorología (2004). *Caracterización Climática del Departamento de Estelí, Managua, Nicaragua*: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
- Ebdón, M., & Muntaner, M. (1982). *Estadística para geógrafos*. Madrid, España: Oikos-Tau.
- Guerra, F., Gómez, E., González, J., & Zambrano, Z. (2006). Uso Actual de Métodos y Técnicas para el Estudio de la Precipitación Incluyendo Plataformas SIG. *Geoenseñanza*, 11(1), 97- 106.
- Guevara, E., & Cartaya, H. (1991). *Hidrología: una introducción a la ciencia hidrológica aplicada*. Valencia, Venezuela: Universidad de Carabobo.
- Guevara, J. (1987). *Método de estimación y ajuste de datos climáticos*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (s.f.) Anuarios. Recuperado de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010). Población de Manabí según último censo de 2010. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (1995). Anuario Meteorológico 1990-2011. Recuperado de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>
- Kim, J., & Pachepsky, Y. (2010). Reconstructing missing daily precipitation data using regression trees and artificial neural networks for SWAT streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 394, 305-314. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.09.005
- Penagos Cruz, G. (2014). Variables hidrometeorológicas asociadas al cambio climático en Girardot y la Región del Alto Magdalena. *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 133-147.
- Piña, J., Puente, G., & Rojas M. (2010). Comportamiento de la sequía en el municipio Gibara. Holguín. *Revista trimestral*, 16, 1-13.
- Pourrut, P., Róvere, O. Romo, I., & Villacrés, H. (1995). *Clima del Ecuador*. Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional, Estudios de Geografía 7.
- Ribeiro, S., Caineta J., Costa, A., Henriques, R., & Soares, A. (2016). Detection of inhomogeneities in precipitation time series in Portugal using direct sequential simulation. *Atmospheric Research*, 171, 147-158. doi:10.1016/j.atmosres.2015.11.014
- Stephen, J. (2005). *Aridity indexes*. En Oliver, J. (Ed.), *The encyclopedia of world climatology*. New York, Estados Unidos de Norteamérica: Springer.
- Strahler, A., & Starhler, A. (1997). *Geografía Física*. Madrid, España: Omega.
- Tonini, F., Dillon, W., Money, E. & Meentemeyer, R. (2016). Spatio-temporal reconstruction of missing forest microclimate measurements. *Agriculture and Forest Meteorology*, 218-219, 1-10. doi:10.1016/j.agrformet.2015.11.004
- Urrutia, J., Palomino, R., & Salazar, H. (2010). Metodología para la imputación de datos faltantes en meteorología. *Scientia et Technica*, 17(46), 44-49.
- Walton, K. (2009). *The Arid Zones*. Chicago, Estados Unidos de Norteamérica: Aldine Transaction.