

## Utilización de una clasificación climática para modelar la distribución de las plantas

Orlando H. Álvarez Hernández

*Investigador independiente. Orcid No. 00000002-9798-8363 <orlando21alvarez@gmail.com>*

(Recibido: 14-Ene-2019. Publicado: 16-May-2019)

### Resumen

Se presentan los resultados obtenidos a partir de una clasificación climática que utiliza índices con sentido biológico para modelar la distribución de plantas. Se parte de los resultados de los estudios climáticos realizados en la Región Sur de Ecuador (RSE), y en específico, aquellos relacionados con la Biotemperatura y los aspectos que tienen que ver con las precipitaciones y los índices de sequía.

**Palabras clave:** Clasificación climática, índices de vegetación, Región Sur de Ecuador.

### *Use of a climatic classification to model the distribution of plants*

#### **Abstract**

*The results obtained from a climatic classification using biological-sense indexes are presented to model the distribution of plants. It is part of the results of the climatic studies carried out in the southern region of Ecuador (RSE), specifically those related to the bio-temperature and aspects related to precipitation and drought indices.*

**Key words:** Climatic classification, vegetation indices, Southern Region of Ecuador.

## 1. Introducción

El clima tiene una influencia decisiva tanto sobre la viabilidad de los cultivos como sobre la distribución y composición florística de los ecosistemas naturales.

En su artículo titulado “A Climate Classification Using Biologically Meaningful Indices for Modeling Plant Distribution”, el Dr. Gregory John Smith (2018), del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, plantea que se calcularon siete índices climáticos para proporcionar una base para una clasificación climática alternativa y ser fisiológicamente informativo para el modelado de la distribución vegetal. Los índices conservan unidades del mundo real que se pueden relacionar directamente con el cambio climático. Las categorías más grandes de la clasificación aproximan las formaciones principales de la vegetación, pero los índices se pueden subdividir en incrementos más pequeños, regulares sin la presunción que cualquier umbral determinado implique precisión en la interpretación.

En este trabajo se aplica esta clasificación climática para modelar la distribución de las especies vegetales, partiendo de los resultados de los estudios climáticos realizados en la Región Sur de Ecuador, especialmente los relacionados con la biotemperatura y los aspectos que tienen que ver con las precipitaciones y los índices de sequía.

## 2. Materiales y métodos

En el trabajo de Smith (2018) se utilizó un índice de humedad que es la relación precipitación / evapotranspiración potencial (P/ETP) de los totales anuales (correlacionando con la estructura de vegetación

dominante, es decir, desierto a sabana a bosque). Esta clasificación sigue los puntos de ruptura utilizados en Holdridge (1947) en un registro de incrementos de logaritmos base 2.

El ETP se calculó utilizando un híbrido entre el método Hamon (usando la temperatura y la longitud del día) y un término del método Hargreaves-Samani (rango de temperatura diario como indicador indirecto de humedad relativa y la cubierta de la nube) (Lu *et al.*, 2005).

Los valores finales se calibraron para que coincida con el promedio de ETP calculado para una región climática húmeda de latitud media conocida (Eastern United States (Estados Unidos)) utilizando el método de biotemperaturas de Holdridge (Lugo *et al.*, 1999).

El excedente es la suma de cada precipitación mensual que excede el ETP. Un excedente superior a 25 mm puede ser suficiente para superar la reabsorción del suelo en los 25 cm superiores donde se encuentra la mitad de la masa radicular y permitir el crecimiento estacional de vegetación mesofítica en climas semiáridos. En verdaderos desiertos, esto puede suceder sólo estocásticamente en diferentes años, excluyendo las mesófitas perennes.

El déficit es la suma de cada ETP mensual que excede la precipitación. En la mayoría de los tipos de vegetación, 95% de la masa de la raíz se encuentra dentro de 150 cm de la superficie, a la que la profundidad es generalmente entre 100 y 200 mm de capacidad de retención de agua disponible. Un déficit de más de 150 mm podría potencialmente utilizar toda el agua disponible del suelo, por lo que se requieren plantas que puedan permanecer inactivas durante estos períodos de déficit (Smith, 2018).

Los climas se pueden clasificar, según zonas de humedad, en (Smith, 2018):

1a.  $P/ETP \geq 2$  Perhúmedo

1b.  $P/ETP < 2$

2a.  $P/ETP \geq 1.414$  ..... Húmedo

2b.  $P/ETP < 1.414$

3a.  $P/ETP \geq 1$  ..... Húmedo seco

3b.  $P/ETP < 1$

4a.  $P/ETP \geq 0.707$  ..... Subhúmedo

4b.  $P/ETP < 0.707$

5a.  $P/ETP \geq 0.5$  ..... Subhúmedo seco

5b.  $P/ETP < 0.5$

6a.  $P/ETP \geq 0.25$  ..... Semiárido

6b.  $P/ETP < 0.25$

7a.  $P/ETP \geq 0.125$  ..... Árido

7b.  $P/ETP < 0.125$  ..... Perárido

Y los macro-ombroclimas se clasifican atendiendo tanto al cociente  $P/ETP$  como al déficit/superávit mensual total de precipitación y a la máxima evapotranspiración real (ETR):

1a.  $P/ETP \geq 1$  y déficit mensual total  $< 150$  mm ..... Isopluvial

1b.  $P/ETP < 1$  y el déficit mensual total  $\geq 150$  mm

2a.  $P/ETP > 0.5$  o superávit mensual total  $\geq 25$  mm o máxima ETR  $\geq 75$  mm

3a. Máxima ETR  $\geq 75$  mm (monzónico: precipitaciones en la estación cálida) .. Pluviotérmico

3b. Máxima ETR  $< 75$  mm (mediterráneo: sequía estival) ..... Xerotérmico

2b.  $P/ETP < 0.5$  con superávit mensual total  $< 25$  mm y máxima ETR  $< 75$  mm ..... Isoxérico

La ETP se calcula mediante:

$$ETP = 216.7 * 6.108 * \exp(17.26939 * T / (T + 237.3)) / (T + 273.3) * 0.1651 * (dL/12) * dM * 0.2606 * TR^{0.5}$$

Donde:

ETP = evapotranspiración potencial mensual

T = temperatura media mensual  
 TR = rango diario de temperatura  
 dL = duración del día (horas de sol teóricas)  
 dM = días por mes

O bien, mediante una aproximación simple:

$$ETP = 5 * BT$$

Donde BT es la temperatura media mensual cuando sea positiva, o cero en caso contrario (“biotemperatura”).

En el caso de la Región Sur de Ecuador, se utilizó el método de biotemperaturas de Holdridge a partir de los valores medios de temperatura por meses y anual.

Se considera que la energía principal que se puede utilizar en el planeta proviene de la radiación solar, por lo cual se realiza el cálculo de la misma para la región sur, utilizando el método de Hottel según recomienda Passamai (2000, citado por Álvarez *et al.*, 2013), para lo cual era necesario confeccionar, en primer lugar, el modelo numérico de altitud (MNA) de la región de estudio. Se utilizaron los datos proporcionados por la Shuttle Radar Topography Mission, con puntos de elevación cada 90 metros. Se realizó un análisis de Krigging lineal para la región de estudio con un paso de rejilla de 0,001° (figura 1).

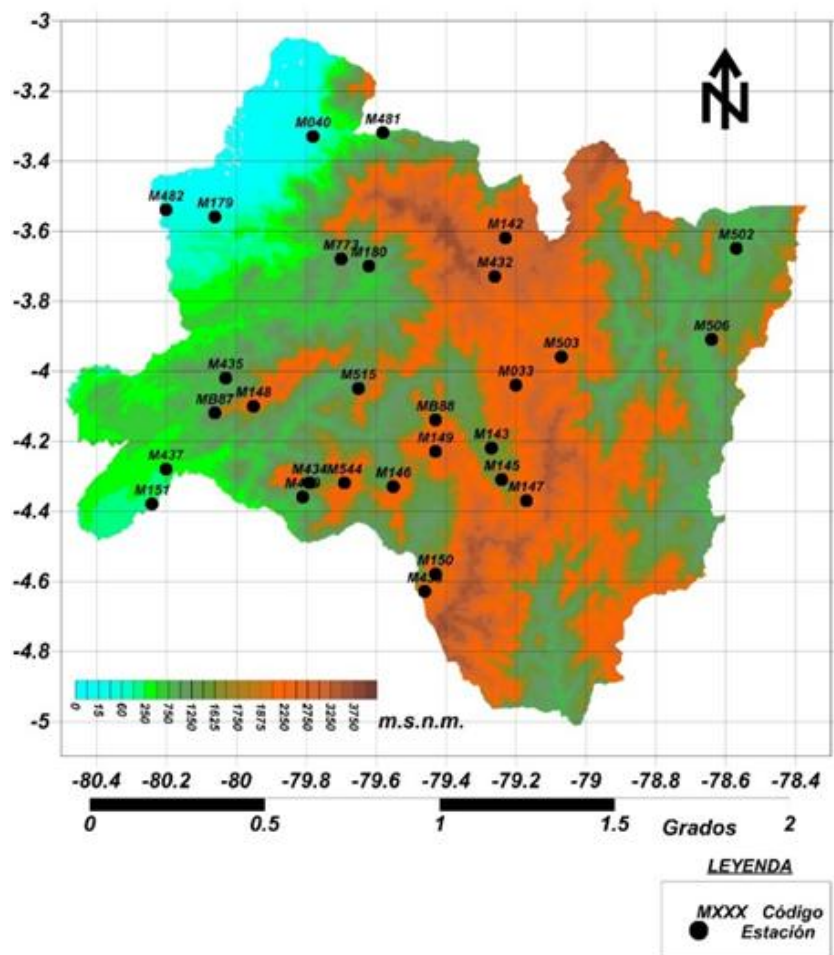


Fig. 1: Modelo numérico de altitud con la red de estaciones utilizada.

A partir del MNA se tomaron puntos cada 0,001° para calcular los valores de radiación solar con cielo claro por meses, usando el programa RSE SOL (Molina *et al.*, 2015), para completar las tareas del

proyecto 754 SENESCYT-UNL, a la vez que se obtuvieron mapas mensuales y anuales de la radiación solar con cielo claro.

Con el software ENVI 4.5 se obtuvieron valores de la sombra orográfica para las elevaciones principales y ángulos de Azimut, calculándose un promedio para obtener el mapa de sombras orográficas (figura 2) de la región sur del Ecuador, considerando la misma red de trabajo.

Se utilizaron los mapas de sombra obtenidos del modelo numérico de altitud, para las siguientes combinaciones de ángulos de elevación y de acimut: (15,45); (15,135); (15,225); (15,315); (30,45); (30,135); (30,225); (30,315); (45,45); (45,135); (45,225); (45,315); (60,45); (60,135); (60,225); (60,315). De estos mapas se realizaron mapas promedio según los acimuts norte y sur, y finalmente se realizó un promedio para obtener las sombras de toda la zona del proyecto.

Posteriormente, y utilizando datos de albedo y nubosidad proporcionados por la NASA (NASA, 2016), se confeccionaron los mapas de albedo y nubosidad por meses y anual con las mismas características de red utilizado para la cartografía de la radiación solar, con el objetivo de realizar operaciones entre mapas. Finalmente se obtuvieron los mapas de radiación teniendo en cuenta la cobertura de nubes y las sombras orográficas.

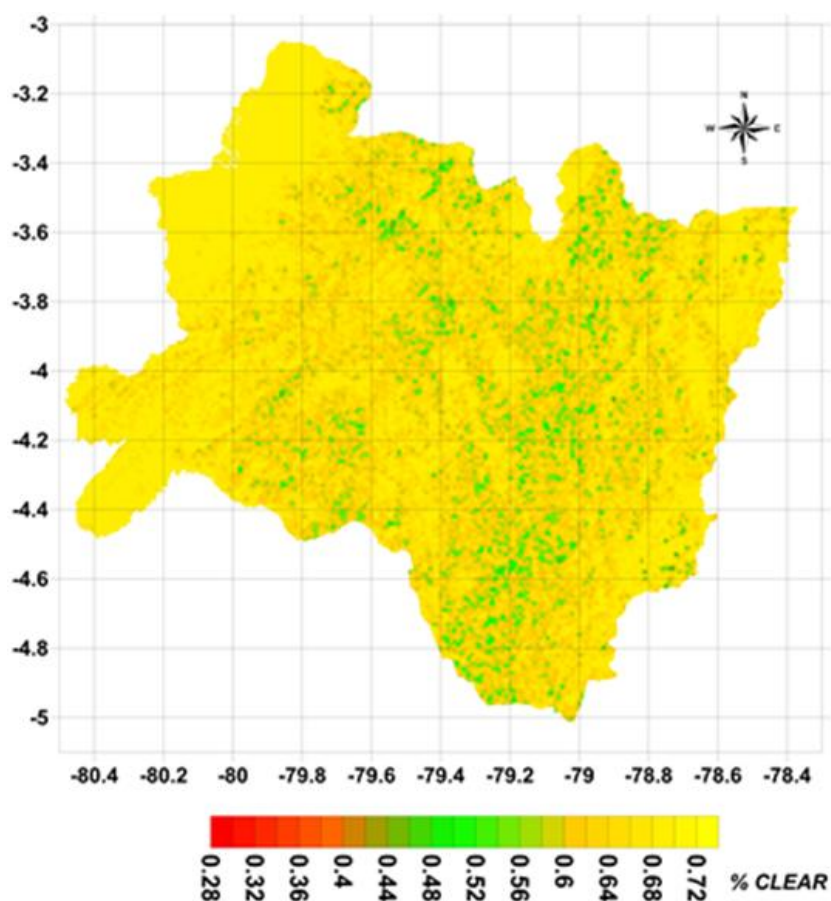


Fig. 2. Mapa de sombras orográficas de la Región Sur de Ecuador (RSE).

Se utilizó la información proporcionada por el INAMHI en los resúmenes climáticos desde 1991 hasta el 2011, correspondiente a las estaciones meteorológicas de la región sur de Ecuador, cuya red se puede observar en la figura 1. Del total de 29 estaciones que aparecen en los anuarios del INAMHI, sólo se pudo obtener información de 10 de ellos. Datos de las estaciones y el tipo se presentan en la tabla 1 (Álvarez y Montaña, 2017).

Como puede observar de la tabla 1, sólo existe una Estación climatológica principal, siete climatológicas y dos agrometeorológicas. Según la información contenida en los anuarios del INAMHI, se han obtenido valores estadísticos mensuales publicados en los Anuarios sobre la base de tres observaciones diarias (07, 13 y 19 horas), independientemente del tipo de estación. El objeto de este procesamiento es entregar al usuario una información de estadísticas homogéneas a nivel nacional. Las series de datos presentan muchas lagunas, por lo cual se rellenaron los años individuales, siempre que fuera factible, usando ecuaciones polinómicas a partir de los datos mensuales anteriores y los sucesivos. Los datos anuales de todas las estaciones fueron introducidos más adelante en el software Statgraphic Centurion X<sup>®</sup>, para la obtención de ecuaciones de regresiones simples o múltiples a fin de completar los datos que faltaban.

Tabla 1: Relación de estaciones del INAMHI existentes en la región sur del Ecuador (AP=agrometeorológicas; PV=pluviométricas; CO=climatológicas ordinarias; PG=pluviográficas; CP=climatológicas principales).

LONG	LAT	ALT	CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	TIPO
-79.2	-4.04	2160	M033	LA ARGELIA-LOJA	AP
-79.78	-3.33	40	M040	PASAJE	PV
-79.23	-3.62	2525	M142	SARAGURO	CO
-79.27	-4.22	1453	M143	MALACATOS	CO
-79.24	-4.31	1560	M145	QUINARA INAMHI	CO
-79.55	-4.33	1950	M146	CARIAMANGA	AP
-79.17	-4.37	1835	M147	YANGANA	CO
-79.95	-4.1	1984	M148	CELICA	CO
-79.43	-4.23	2042	M149	GONZANAMA	CO
-79.43	-4.58	1672	M150	AMALUZA INAMHI	CO
-80.24	-4.38	223	M151	ZAPOTILLO	CO
-80.06	-3.56	60	M179	ARENILLAS	CO
-79.62	-3.7	1100	M180	ZARUMA	CO
-79.26	-3.73	2525	M432	SAN LUCAS INAMHI	PV
-79.79	-4.32	1510	M434	SOZORANGA INAMHI	PG
-80.03	-4.02	1250	M435	ALAMOR	PV
-80.2	-4.28	328	M437	SAUCILLO (ALAMOREN)	PV
-79.46	-4.63	2094	M438	JIMBURA	PV
-79.81	-4.36	734	M439	SABIANGO INAMHI	PV
-79.58	-3.32	290	M481	USHCURRUMI	PV
-80.2	-3.54	60	M482	CHACRAS	CO
-78.57	-3.65	820	M502	EL PANGUI	PV
-79.07	-3.96	1620	M503	SAN FRANCISCO-SAN RAMON	PV
-78.64	-3.91	650	M506	PAQUISHA	PV
-79.65	-4.05	1808	M515	CATACocha	PV
-79.69	-4.32	2410	M544	COLAISACA	PV
-79.7	-3.68	1126	M773	PINNAS	PV
-80.06	-4.12	1739	MB87	POZUL-COLEGIO AGROP. RODRIGUEZ	CO
-79.43	-4.14	1835	MB88	NAMBACOLA-COLEGIO AGROP. CUEVA	CP

Las temperaturas media, máxima y mínima, se tomaron de los valores reportados por cada estación, y se les aplicó un incremento por altura para llevarlos al nivel del mar, utilizando un gradiente térmico de + 0,55°C/100 m a partir del MNA (Álvarez, 2017a y b). Con estos valores se realizó un análisis utilizando el método de Krigging lineal para la región de estudio con un paso de rejilla de 0,001° (78,3°W a 80,5°W y 3,0°S a 5,1°S) y, una vez obtenido, se realiza el paso contrario, es decir, es aplicado el mismo gradiente

(en este caso negativo) para obtener los mapas mensuales y anuales, con los valores de temperatura que respondieran a los valores de elevación.

Una vez obtenidos los mapas anteriores, se utilizó el método de Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ecuación 1) a la región sur por meses y anual mediante métodos Geomáticos y utilizando el software SURFER®. De igual manera fueron calculados los mapas de Biotemperaturas de Holdridge (ecuaciones 2-4) (Álvarez, 2017a).

$$ETr = 0,0023 \cdot Ra \cdot (T - t)^{0,5} \cdot (TM + 17,8) \quad (1)$$

Donde:

*ETr*: evapotranspiración del cultivo de referencia (césped) en mm/día

*RA*: radiación solar, expresada en equivalente de agua (mm/día)

*T - t*: diferencia entre la temperatura máxima y la mínima (°C)

*TM*: temperatura media del aire (°C)

Los valores de Biotemperaturas medias mensuales (*BioTMM*) usando los datos de temperatura media mensual (*TM*), se obtienen mediante un desarrollo de las siguientes fórmulas según sea el caso:

Cuando *TM* es menor de 6°C (considerar que cualquier valor de temperatura menor que 0 es igual a 0):

$$BioTMM = \frac{T}{T - t} \cdot TM/2 \quad (2)$$

Cuando *TM* es mayor que 6°C y menor de 24°C:

$$BioTMM = TMM \quad (3)$$

Cuando *TM* es mayor de 24°C (pero cualquier valor mayor de 30°C se ha de igualar a 30°C):

$$BioTMM = TMM - 3 \cdot \frac{Latitud}{100} \cdot (TM - 24)^2 \quad (4)$$

Para el cálculo del mapa anual se promediaron los mapas de valores mensuales. Una vez obtenidos los mapas mensuales, por períodos y anual de Biotemperaturas, los mismos fueron multiplicados por 5 a fin de obtener los valores de ETP de la Región Sur de Ecuador (RSE).

### 3. Resultados

Los valores de temperatura media del aire en la RSE (figura 3) están comprendidos entre los 7°C en zonas altas de la cordillera de los Andes en las tres provincias hasta superiores a 27°C en las áreas cercanas a la costa en la provincia de El Oro y hacia el sur, en la zona de Zapotillo en la provincia de Loja y en varias zonas de la provincia de Zamora Chinchipe.

Los valores de temperatura máxima se observan en las mismas zonas que la temperatura media, también en las zonas de valles intramontanos en las tres provincias, alcanzando valores de 32°C, con un valor mínimo por encima de 11°C.

Para la temperatura mínima, se observan valores que pueden bajar hasta 1°C en las tierras altas de la cordillera en las tres provincias, mientras que superan los 21°C en algunas partes de la costa de la provincia de El Oro, así como al norte de esta provincia, donde pueden superar los 22°C.

La figura 6 muestra el mapa anual de Biotemperaturas utilizando el método de Holdridge (Álvarez, 2017a y b). Este indicador es importante toda vez que, en general, se estima que el crecimiento vegetativo de las plantas se produce en un rango de temperaturas entre 0°C y 30°C.

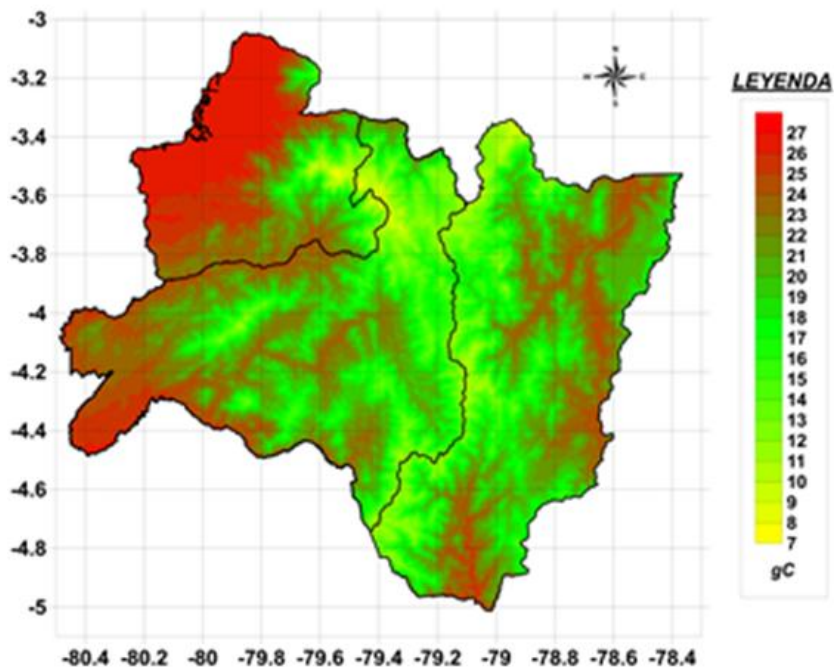


Fig. 3: Mapa de temperatura media anual °C para la Región Sur de Ecuador (1991-2011).

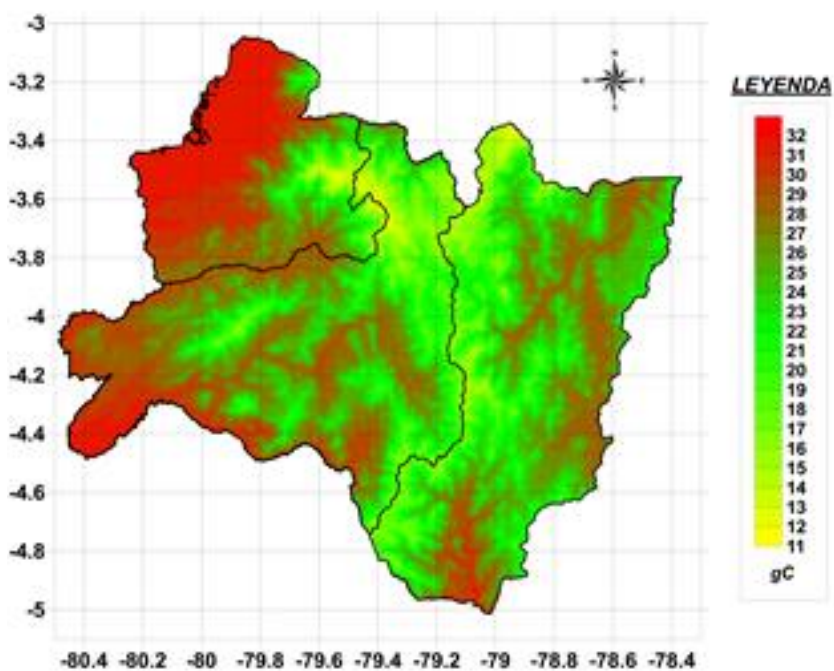


Fig. 4: Mapa de temperatura máxima media anual °C para la Región Sur de Ecuador (1991-2011).



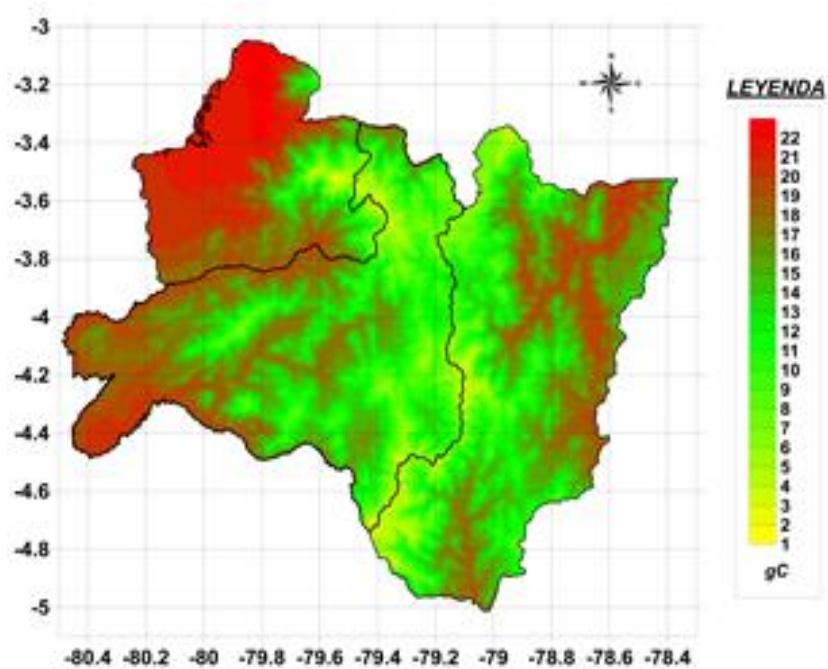


Fig. 5: Mapa de temperatura mínima media anual °C para la Región Sur de Ecuador (1991-2011).

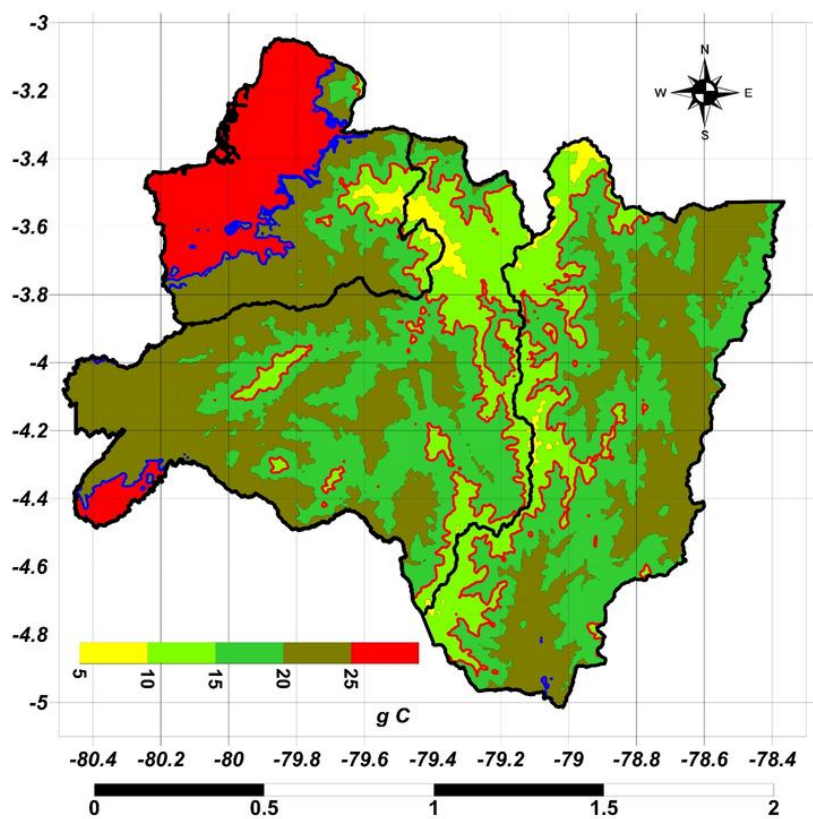


Fig. 6: Mapa de biotemperatura media anual °C para la Región Sur de Ecuador (1991-2011).

En el caso de la RSE va de templado frío (montano) a tropical en algunos sectores de la costa de El Oro, al sur de Loja, así como en valles intramontanos de las tres provincias. Los valores de  $BT \leq 15^{\circ}\text{C}$  se encuentran en zonas de la cordillera.



Se calcularon los mapas de evapotranspiración de referencia (ETR) mediante el método de Hargreaves, convirtiendo los mapas de radiación solar a mm/día, incluyendo las pérdidas por los valores del albedo según la NASA y además se utilizan los mapas de temperaturas en función de la fórmula. En la figura 7 se muestra el mapa de evapotranspiración de referencia para el período anual en mm/día y en la figura 8 la suma anual en mm (Álvarez y Montaña, 2017).

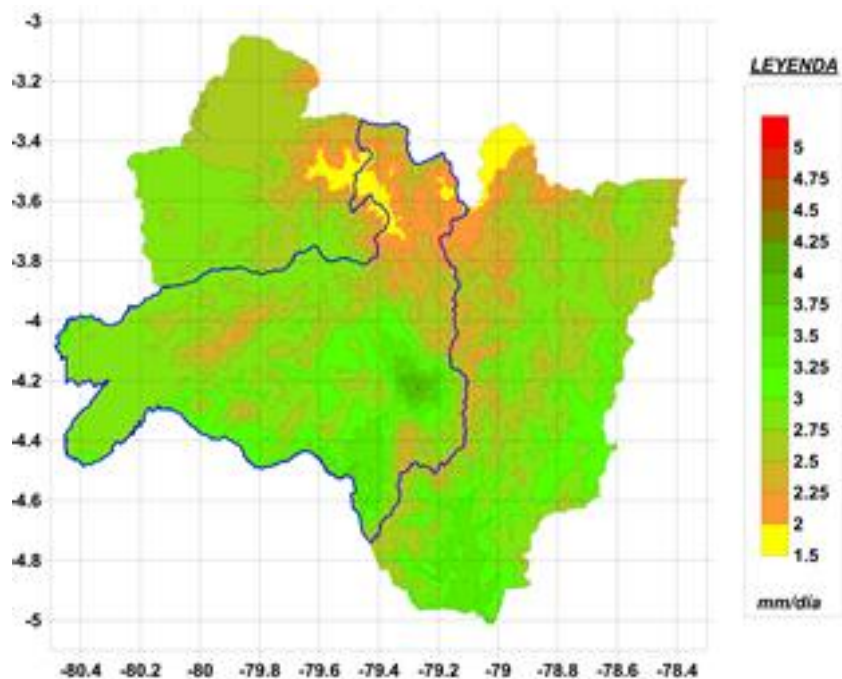


Fig. 7: Mapa de evapotranspiración de referencia anual (mm/día) para la Región Sur de Ecuador (1991-2011).

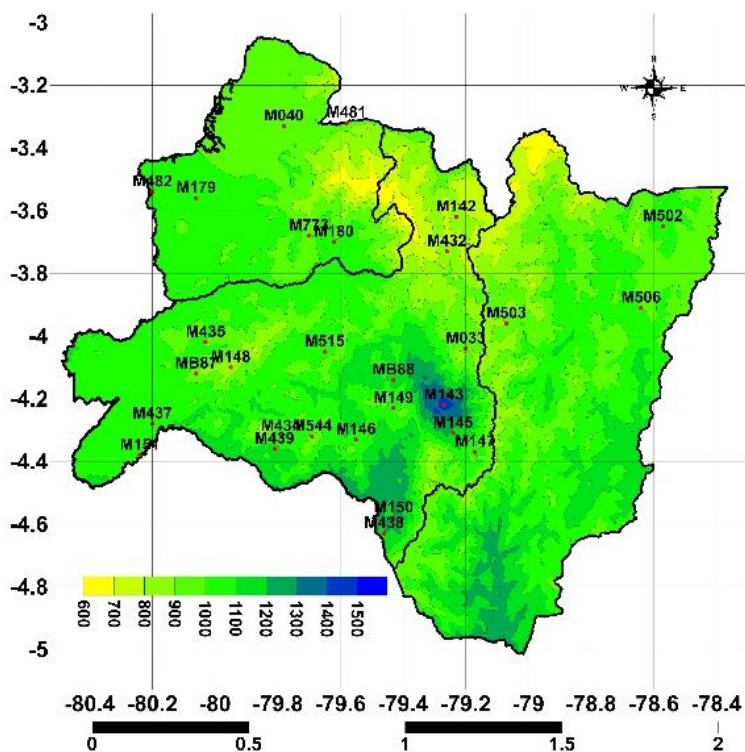


Fig. 8. Mapa de la suma anual de evapotranspiración de referencia (mm) para la Región Sur de Ecuador (1991-2011).

En la figura 9 se muestra la diferencia entre los mapas de valores de Evapotranspiración de Referencia calculado por el método de Hargreaves y la aproximación a partir de los valores de Biotemperaturas, donde se puede observar que las principales diferencias se encuentran al Oeste de la Región Sur de Ecuador y en zonas más llanas o con orografía menos compleja.

En la figura 10 se muestra el mapa de precipitación promedio anual de la Región Sur de Ecuador (Álvarez y Montaña, 2017).

A partir de los mapas de las figuras 10 y 8, se realizaron los cálculos de  $(P - ETR)$  y  $P/ETR$ , cuyos resultados se muestran en las figuras 11 y 12.

A partir de los mapas de precipitación y de ETP se calculó el mapa de la figura 12, en la cual se observa que al Oeste hay valores comprendidos entre 0,50 y 1,00, es decir, va de Subhúmedo seco a Húmedo subhúmedo, y son superiores a 1 en el Este de la Región Sur de Ecuador, por lo cual y de acuerdo a la clasificación de Smith, sería considerada desde Húmedo subhúmedo, Secos húmedos y Húmedos, sin alcanzar la categoría de Perhúmedos. Sin embargo, en la región de Malacatos se observan valores desde 1,00 hasta inferiores a 0,50, por lo cual se considera entre Húmedo subhúmedo y Semiárido. Además hay una zona al Sur de la provincia de Loja clasificado con Húmedo subhúmedo que pasa a Húmedo seco al aumentar la altura.

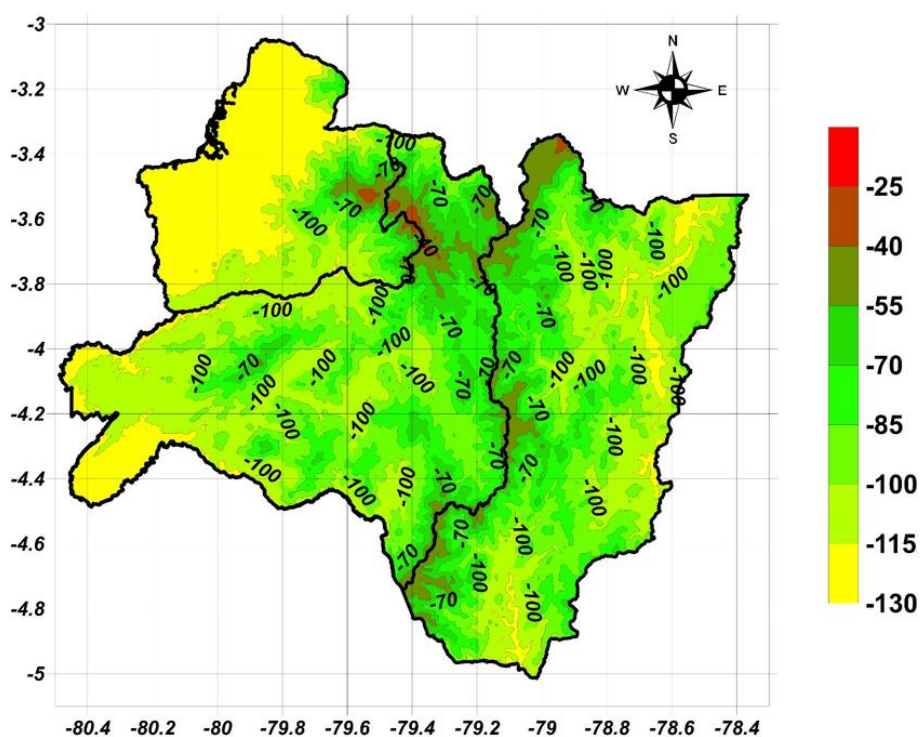


Fig. 9: Diferencias entre los mapas de ETR y ETP anuales.

Los valores más altos se encuentran al Norte de la provincia de Zamora Chinchipe que pasan desde Húmedo subhúmedo, Secos húmedos y Húmedos, al igual que una región al Este de la provincia El Oro, todos relacionados con el incremento altitudinal.

Igualmente se realizó el cálculo del  $ETP$  anual (Figura 13) a partir del mapa de biotemperaturas. En este mapa se puede observar que los valores de  $ETP < 75$  ocupan la mayor parte de la cordillera de la Región Sur de Ecuador, mientras en zonas con menor altitud llegan a alcanzar valores superiores a 120 en gran parte de la provincia El Oro, el Oeste de Loja y en zonas de la provincia Zamora-Chinchipe.

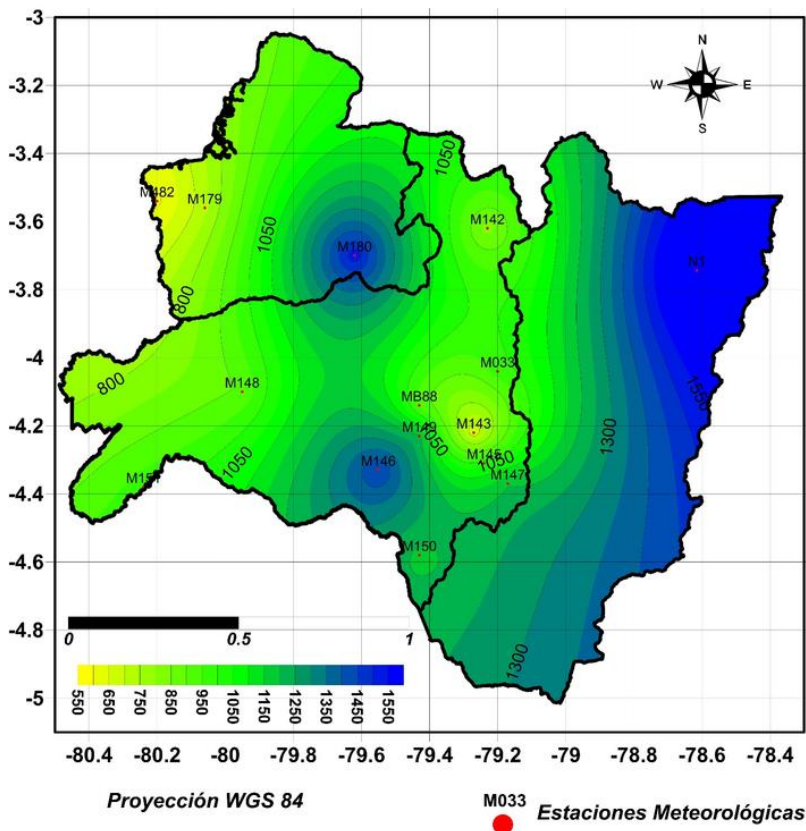


Fig. 10: Mapa de precipitación multianual (mm) para la Región Sur de Ecuador (1991-2011).

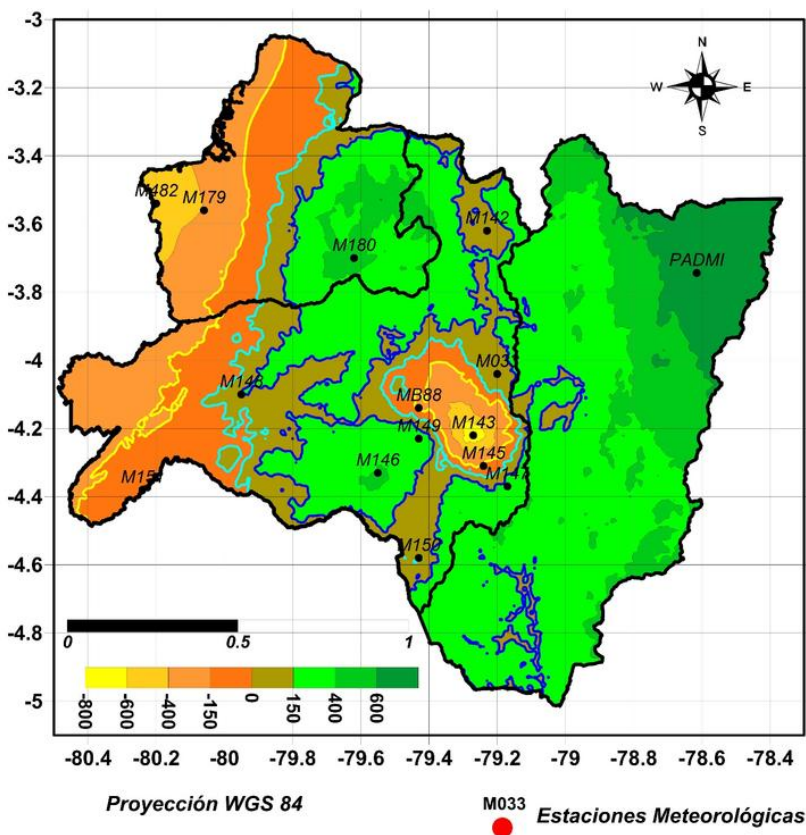
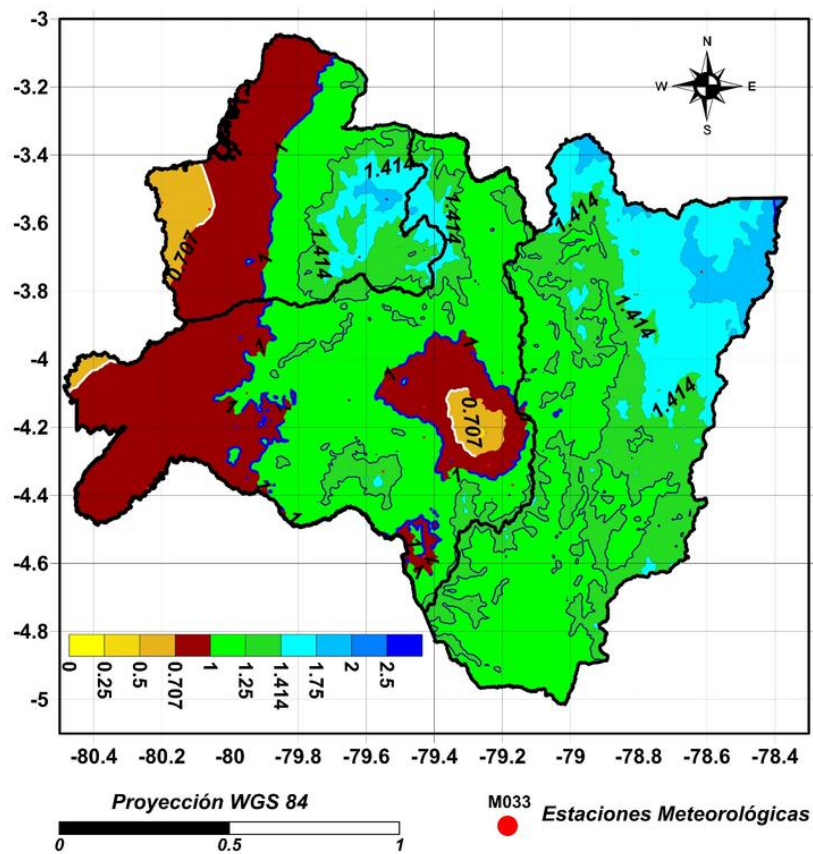
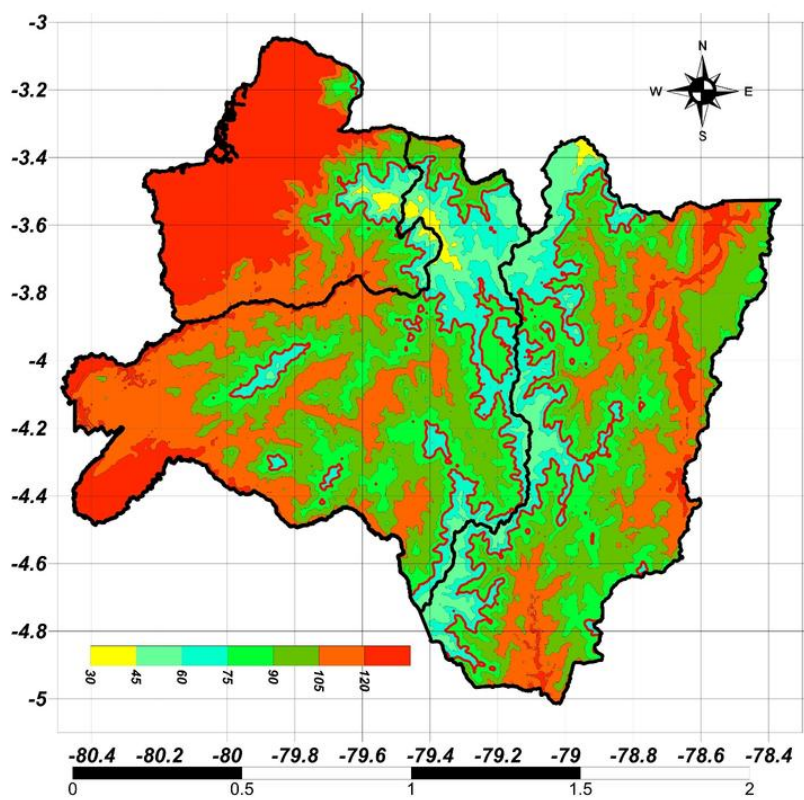


Fig. 11: Mapa de  $P - ETR$  (mm) del período 1961-2011.



Fig. 12: Mapa de  $P/ETR$  (adimensional) del período 1961-2011.Fig. 13: Mapa de  $ETP$  a partir del mapa de Biotemperaturas del período 1961-2011.

#### 4. Conclusiones

Se muestran los resultados a partir de estudios anteriores realizados para la Región Sur de Ecuador reclassificando de acuerdo a la clasificación propuesta por Smith con el fin de ser utilizado por los especialistas en biogeografía de la República del Ecuador.

#### 5. Bibliografía

Álvarez OH, Montaña T, Quentin E, Maldonado J y Solano JC (2013): La radiación solar global en las provincias El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. Utilización de datos de reanálisis de la nubosidad diurna. ISEREE 2013, Quito, Ecuador.

Álvarez OH, Montaña TE (2017): Completamiento de series de precipitación en la región sur de Ecuador y caracterización de su pluviometría y aridez. *Revista de Climatología*, 17:17-27, ISSN 1578-8768.

Álvarez O (2017a): Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>r</sub>) para potenciar el desarrollo de los cultivos en la región de Chuquiribamba, Ecuador. [https://www.researchgate.net/pro?le/Orlando\\_Alvarez3/contributions](https://www.researchgate.net/pro?le/Orlando_Alvarez3/contributions) (enero de 2017).

Álvarez O (2017b): Analysis of some climatic variables in the region South of Ecuador. [https://www.researchgate.net/pro?le/Orlando\\_Alvarez3/contributions](https://www.researchgate.net/pro?le/Orlando_Alvarez3/contributions) (enero de 2017).

Holdridge LR (1947): Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105:367-368.

INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) (2011): Anuarios Estadísticos 1991-2011.

Lu J, Sun G, McNulty SG and Amatya DM (2005): A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States 1. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 41:621-633.

Lugo AE, Brown SL, Dodson R, Smith TS and Shugart HH (1999): The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping. *Journal of biogeography*, 26:1025-1038.

Molina D, Álvarez OH y Montaña TE (2015): Software para el cálculo de la radiación solar teórica con cielo despejado. DOI: 10.13140/RG.2.2.36323.40483.

NASA (2016): *Surface meteorology and Solar Energy*. National Aeronautics and Space Administration (<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s01#s01>) (<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num>)

Passamai VJ (2000): Determinación de radiación solar horaria para días claros mediante planilla de cálculo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. <http://www.unsa.edu.ar/passamai/passam2.pdf> (Mayo 2013).

Smith GJ (2018): Climate Classification Outline. [https://www.researchgate.net/publication/327537609\\_Climate\\_Classification\\_Outline](https://www.researchgate.net/publication/327537609_Climate_Classification_Outline) (Enero 2019).

