

## **ANÁLISIS ESPACIAL PARA LA ELABORACIÓN DE UN MAPA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA, SEGÚN EL MÉTODO THORNTHWAITTE, PARA EL DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

*M.Sc. José Luis Delgado Álvarez*

Universidad Mayor de San Andrés

Correo Electrónico: [jose7191@gmail.com](mailto:jose7191@gmail.com)

### **Resumen**

El clima, junto a otros parámetros fisiográficos, es uno de los elementos mas importantes que determinan el hábitat y la biodiversidad de las regiones, contar con información precisa, es fundamental para la formulación de planes de desarrollo y gestión territorial.

La presente investigación, aborda esta temática, con la finalidad de mostrar la factibilidad de que, en regiones con poca información meteorológica, siguiendo también una metodología que se adapte a este contexto, es posible obtener información climática espacializada en forma de mapas. Entonces, este trabajo se desarrolla con el objetivo de desarrollar un análisis espacial para elaborar el mapa climático del departamento de La Paz – Bolivia, siguiendo la metodología propuesta por Thornthwaite (1948).

Metodológicamente, partiendo con datos e información de un conjunto de estaciones meteorológicas y un modelo topográfico (MNA), aplicamos una serie de análisis de correspondencias matemáticas de regresiones y/o correlaciones, determinando relaciones matemáticas para las variables definidas en el modelo de Thornthwaite, para luego aplicándolas con procesos de algebra de mapas espacializarlas, para finalmente integrarlas en un solo modelo y determinar el mapa climático.

De los resultados obtenidos, tenemos un mapa donde se logra diferenciar 92 unidades climáticas, que, frente a la decena de unidades definidas en el mapa de Köppen, por ejemplo, remarca el mayor detalle de este trabajo, que está en correspondencia a la gran diversidad fisiográfica del Departamento de La Paz, logrando así un producto que una vez validado, bien podría ser utilizado como un instrumento para la planificación y gestión territorial, siendo este su mayor aporte.

### **Abstract**

The climate, along with other physiographic parameters, is one of the most important elements that determine the habitat and biodiversity of regions. Having accurate information is essential for the formulation of development plans and land management.

This research addresses this topic, intending to demonstrate the feasibility that, in regions with little meteorological information, it is possible to obtain spatialized climatic information in the form of maps by applying a methodology adapted to this context. Thus, this work aims to conduct a spatial

analysis to create a climatic map of the La Paz department in Bolivia, following the methodology proposed by Thornthwaite (1948).

Methodologically, starting with data and information from a set of meteorological stations and a topographic model (MNA), we apply a series of mathematical correspondence analyses of regressions and/or correlations, determining mathematical relationships for the variables defined in Thornthwaite's model, and then applying them with spatial algebra processes to finally integrate them into a single model and choose the climatic map.

From the results obtained, we have a map that distinguishes 92 climatic units, which, compared to the dozen units defined in the Köppen map, highlights the greater detail of this work, corresponding to the great physiographic diversity of the La Paz department. Thus, we achieve a product that, once validated, could be used as a tool for planning and land management, representing its greatest contribution.

### **Palabras clave**

Mapa climático, Thornthwaite, Análisis espacial, Sistemas de Información Geográfica, La Paz.

## 1. Introducción

La clasificación climática de una región cualquiera, es un instrumento que sirve para la planificación del territorio, ya que el clima junto a otros parámetros geográficos, hacen a la presencia y la caracterización de los recursos naturales; las mayores o menores virtudes climáticas, se constituyen así, en una de las fuentes primarias para la gestión territorial.

Los datos climáticos tanto cualitativos como cuantitativos, es una riqueza que pocas regiones pueden ostentarlas; en nuestro caso, esta es una deficiencia. De un tiempo a esta parte, esta se está tratando de suplantar con datos globales que se toman desde satélites; sin embargo, está bien probado que los mismos tienen sesgos muy grandes, lo que prudentemente desecha esa opción, a no ser que se puede hacer una calibración de los mismos.

Si bien en la actualidad, algunas agencias espaciales, grandes instituciones de investigaciones, ofertan mapas climáticos globales, estos son de muy pequeña escala (generalmente de 1:1000000), que invisibilizan las meso y micro regiones (ejemplo el mapa de Köppen); también otros mapas desarrollados en los años 60 a 70, donde la disponibilidad de herramientas y tecnología, hicieron que estos sean deficientes (Montaner, 1988).

Consiguientemente, estas deficiencias hacen que, muchas veces trabajando en proyectos referidos a la gestión territorial, los profesionales se ven casi obligados a utilizar datos e información deficientes, cuyos errores se van multiplicando en las planificaciones que desarrollan, constituyendo esto en un problema urgente a resolver.

Existe en la actualidad diferentes modelos de clasificación climática, cada una de ellas proponiendo sus parámetros y sus requerimientos de datos climáticos (Thornthwaite, Hargreaves, Pennam, Köppen..., solo por mencionar algunos); ahora bien, porque seleccionar el método de Thornthwaite es esta investigación, pues por la simple razón que la disponibilidad de datos a las que pudimos acceder, solo podemos satisfacer las demandas de este modelo; si bien existe algunas críticas sobre la validez de este modelo, hay que mencionar que como todos estos tienen sus ventajas y desventajas, y serán los usuarios investigadores quienes definan la conveniencia o no de su uso (Pérez, 2017).

Ubicado al oeste de Bolivia, el Departamento de La Paz tiene un área aproximada de 127.4 mil kilómetros cuadrados, abarcando una gran diversidad de fisiografías que van desde los 400 hasta los 6400 msnm aproximadamente, desde la región amazónica, pasando por la región de los Yungas (que es la zona de mayor concentración pluviométrica), valles interandinos, el altiplano y la cadena montañosa de la cordillera de Los Andes, aspectos que también le otorgan una gran diversidad climática y de biodiversidad.

Muchas veces, se confunde los mapas climáticos con otros como el de zonas de vida de Holdridge, remarcando que estos son temas totalmente diferentes (Delgado, 2017). En esta investigación, nos concentraremos en la clasificación climática.

Por todo lo expuesto líneas arriba, la presente investigación pretende desarrollar el siguiente objetivo: *Elaborar un mapa climático, según el modelo propuesto por Thornthwaite, para el Departamento de La Paz.*

Para cumplir con este cometido, se pudo recabar datos de estaciones meteorológicas en un número de 70, de las cuales 39 son termopluiométricas y 31 solo pluviométricas, para un periodo de los años 2008 a 2016, abarcando un rango altitudinal desde los 410 a 4460 msnm, siendo esta la mejor información que se pudo obtener. La descarga de datos climáticos, para la investigación es: (<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1amCvP2aFmLp7V7U-pad2qd0mD7lgl6Lk/edit?usp=sharing&ouid=114529718895022722750&rtpof=true&sd=true>)

Por otra parte, si vamos a una definición clásica del clima como: el conjunto de condiciones del tiempo (temperatura, lluvia, viento y humedad), que predominan en una región durante un largo período de tiempo, normalmente 30 años o más (Almorox, 2016). Tenemos que con la serie de datos que contamos de solo ocho años, esta investigación debemos considerarla como una simple aproximación.

El método de clasificación climática de Thornthwaite fue propuesto por el climatólogo estadounidense Charles Warren Thornthwaite en el año 1948, en su trabajo titulado "*An Approach toward a Rational Classification of Climate*". A diferencia de otros métodos como el de Köppen (que se basa solo en temperatura y precipitación), el de Thornthwaite incorpora el uso de agua por la vegetación, lo que lo hace especialmente útil en estudios de agronomía, hidrología y ecología. Su clasificación permite evaluar el grado de humedad o sequía de una región mediante índices climáticos, como: Índice de humedad, Índice de aridez y el Índice de eficiencia climática (Almorox, 2016).

Procedimentalmente, en los siguientes apartados expondremos los siguientes puntos: una definición clara del modelo de clasificación climática propuesta por Thornthwaite, la propuesta del modelo metodológico y los resultados obtenidos y su interpretación.

## 2. Metodología y Desarrollo

Como ya lo mencionamos líneas arriba, para cumplir con este cometido, emplearemos datos e información meteorológica de 70 estaciones (39 termopluiométricas y 31 pluviométricas), emplearemos el método de clasificación climática propuesta por Thornthwaite (1948).

De acuerdo a las investigaciones y experiencias (Delgado, 2017), menciona que el método de balance hídrico y clasificación climática de Thornthwaite, se adapta de manera adecuada a la disponibilidad de datos e información con la que cuenta nuestro país, habiendo desarrollado algunas experiencias, con resultados que, confrontados con la realidad del terreno, son coherentes. Este método, comienza con la determinación de la evapotranspiración potencial (ETP), bajo la siguiente relación matemática:

$$ETP(\text{mm/año}) = 16 (10 T / I)^a$$

Donde:

ETP = potencial de evapotranspiración (mm/año)

T = temperatura media mensual (°C)

I = índice térmico anual =  $\sum i$ ; siendo  $i = (T/5)^{1.514}$

a = coeficiente =  $675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0.49239$

Para este valor de  $a$ ; Serra propone también  $a = 0.016 * I + 0.5$  (existe poca diferencia entre estas dos propuestas)

Este cálculo se realiza de manera mensual (aunque lo ideal correspondería a trabajar con datos diarios), se asume que cada mes tiene una duración de 30 días, y que las horas luz es de 12 por día; por lo que los resultados deben multiplicarse por un factor de corrección dado por:  $FC = (N/12) * (d/30)$ ; donde  $N$  son las horas luz del sitio en cuestión (depende de la posición latitudinal), y  $d$  los días del mes considerado. Finalmente, este balance hídrico climático, concluye con una confrontación entre la precipitación total y la ETP (mes a mes), de cuyo resultado obtendremos según si esta da resultados positivos y/o negativos, para conocer si hay excesos o déficit de agua.

Este cálculo de la ETP realizado para todas las estaciones meteorológicas, pueden ser espacializados y extrapolados para toda el área de estudio, mediante algún análisis estadístico de patrones de comportamiento de las variables climáticas, constituyéndose así en un elemento clave para el modelo de Thornthwaite.

El modelo de clasificación climática de Thornthwaite (Almorox 2016), está basada en la consideración de la eficiencia térmica, dada por la ETP calculada, y la humedad disponible, expresada como índices de humedad y de aridez, a partir del balance hídrico climático. Este autor utiliza sus trabajos experimentales previos en la estimación de la ETP y el balance de humedad del suelo. Supone un gran avance respecto a otras clasificaciones, ya que parte del clima que afecta al suelo y a la planta; es decir, la evaporación, la transpiración y el agua disponible en el suelo, en lugar de solo valores medios mensuales que utilizan otras metodologías. Vale decir, que el modelo que se propone, se basa en datos no solo de la temperatura, sino también en las cantidades de agua que precipitan.

Esta clasificación define unos tipos según la humedad (representados con letras mayúsculas), y la variación estacional (letras minúsculas), y otros sub tipos según la eficacia térmica (letras mayúsculas con comilla), y su concentración estival (letras minúsculas con comilla). Bajo la siguiente relación:

### **X x Y' y' (clases climáticas).**

Donde:

**X** = Tipos de humedad según el Índice de Humedad Global **IHG = Ih - Ia**;

donde **Ih** = índice de humedad, **Ia** = Índice de aridez

**Ih** =  $100 * \sum \text{excedentes} / \text{ETP total}$     **Ia** =  $100 * \sum \text{deficiencias} / \text{ETP total}$

**x** = variación estacional de humedad, determinado a partir de **Ih** o **Ia**, según corresponda

**Y'** = Eficiencia térmica, determinado a partir de los valores calculados de la ETP.

**y'** = eficiencia térmica estacional (verano) =  $\text{ETP verano} \% = 100 (\text{ETPenero} + \text{ETPfebrero} + \text{ETPmarzo}) / \text{ETP total}$

El tipo de humedad (**X**), está basado en un índice de humedad global (**IHG**), que a su vez combina dos índices, uno de humedad y otro de aridez, cuyo resultado permite determinar la primera variable de la clase climática, mismo que se estratifica de la siguiente manera (tabla 1).

La variación estacional de la humedad (**x**), da lugar a los siguientes tipos, en función a los índices de aridez o humedad según corresponda. (tabla 2)

**Tabla 1.** Determinación de zonas de humedad según el Índice General de Humedad (IHG), para la clasificación climática según el modelo de Thornthwaite. (Montaner 1988). B1 a B4, humedad creciente

TIPO DE REGION SEGÚN HUMEDAD	DESCRIPCION	CONDICION (IHG) de (X)
E	ARIDO	-60 a -40
D	SEMI ARIDO	-40 a -20
C1	SECO SUBHUMEDO	-20 a 0
C2	SUB HUMEDO	0 a 20
B1	HUMEDO	20 a 40
B2	HUMEDO	40 a 60
B3	HUMEDO	60 a 80
B4	HUMEDO	80 a 100
A	PERHUMEDO	Mayor a 100

**Tabla 2.** Determinación de la variación estacional de la humedad (x), para la clasificación climática según el modelo de Thornthwaite. (Montaner 1988).

Tipo de variación estacional de la humedad	Descripción	Condición
<b>SOLO PARA LOS TIPOS DE HUMEDAD A, B (1,2,3,4) y C2, CONDICION Ia</b>		
r	Falta de agua pequeña o nula	0 a 16.7
s	Falta de agua estival moderada	16.7 a 33.3 falta estival
w	Falta de agua estival moderada	16.7 a 33.3 falta invernal
s2	Falta de agua estival grande	Mayor a 33.3 falta estival
w2	Falta de agua estival grande	Mayora 33.3 falta invernal
<b>SOLO PARA LOS TIPOS DE HUMEDAD C1, D, E, CONDICION Ih</b>		
d	Exceso de agua pequeño o nulo	0 a 10
s	Exceso de agua invernal moderado	10 a 20
w	Exceso de agua estival moderado	10 a 20
s2	Exceso de agua invernal grande	Mayor a 20
w2	Exceso de agua estival grande	Mayora 20

Para determinar el tipo de eficiencia térmica (Y'), el modelo hace uso del valor total anual de la ETP, determinada para la estación meteorológica respectiva, dando lugar a los siguientes tipos. (tabla 3).

**Tabla 3.** Determinación de la eficiencia térmica (Y'), para la clasificación climática según el modelo de Thornthwaite (Montaner 1988)

TIPO DE EFICIENCIA TERMICA	DESCRIPCION	CONDICION (ETP ANUAL)
E'	Helada permanente	Menor a 142
D'	Tundra	142 a 285
C'1	Microtérnico	285 a 427
C'2	Microtérnico	427 a 570

TIPO DE EFICIENCIA TERMICA	DESCRIPCION	CONDICION (ETP ANUAL)
B'1	Mesotérmico	570 a 712
B'2	Mesotérmico	712 a 855
B'3	Mesotérmico	855 a 997
B'4	Mesotérmico	997 a 1140
A'	Megatérmico	Mayor a 1140

Finalmente, la eficiencia térmica estacional de verano ( $y'$ ), determinado como un porcentual de las ETP del verano (enero, febrero y marzo), respecto a la ETP anual, da lugar a los siguientes tipos. (tabla 4).

**Tabla 4.** Determinación de la eficiencia térmica estacional ( $Y'$ ), para la clasificación climática según el modelo de Thornthwaite (Montaner 1988)

TIPO DE EFICIENCIA TERMICA ESTACIONAL	DESCRIPCION	CONDICION (ETP Verano %)
a'	Baja concentración	Menor a 48
b'4	Concentración moderada	48 a 51.9
b'3	Concentración moderada	51.9 a 56.3
b'2	Concentración moderada	56.3 a 61.6
b'1	Concentración moderada	61.6 a 68
c'2	Alta concentración	68 a 76.3
c'1	Alta concentración	76.3 a 88
d'	Muy alta concentración	Mayor a 88

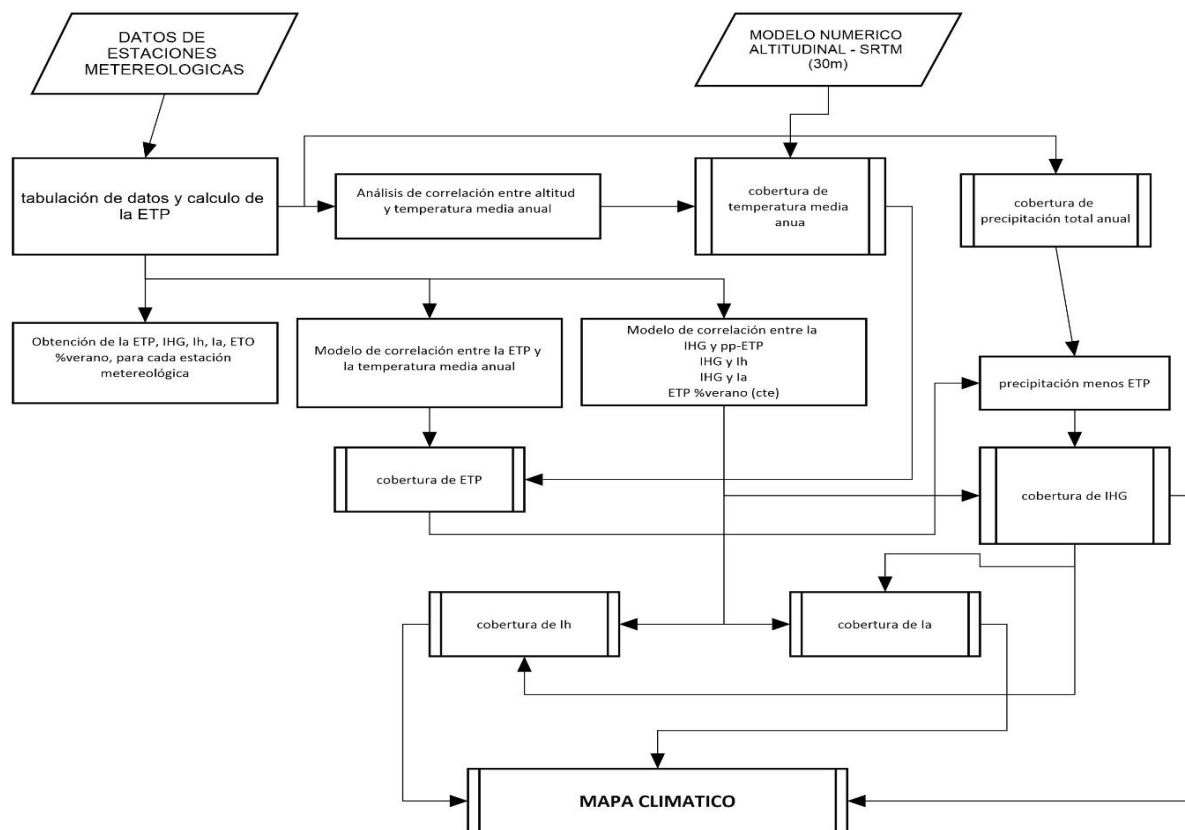
Para la correcta aplicación e interpretación de esta metodología, hay que hacer algunas precisiones bajo la siguiente relación: (Almorox 2016)

- ✓ El índice de humedad (**Ih**), es un porcentaje que relaciona dos parámetros independientes (precipitación y la ETP), por lo que puede tomar valores superiores a 100.
- ✓ El índice de aridez (**Ia**), nunca llegara a 100, porque la falta de agua se define respecto a la evapotranspiración máxima anual (ETP anual)
- ✓ Para el Índice de Humedad Global (**IHG**), se combina el índice de humedad y el índice de aridez (**Ih – Ia**), considerando que un exceso de humedad en un periodo puede compensar la falta en otro.

Para la variación estacional de la humedad, hay que fijarse en la falta de agua para los climas que globalmente tienen excesos; y en el exceso, para los climas que tienen falta. Téngase en cuenta la dificultad para encontrar climas con exceso en verano, pues, aunque los hay con periodos de lluvia en verano, las necesidades de evapotranspiración también aumentan.

Aplicado de manera correcta esta metodología a los datos de las estaciones meteorológica, es posible determinar los tipos climáticos que les corresponde a cada uno de ellos, para luego mediante técnicas estadísticas de regresiones y/o correlaciones, buscar modelos para interpolar y extrapolar esta clasificación y poder espacializarla a toda la zona de estudio, aplicando algebra de mapas. Finalmente, la integración de todas estas variables, metodológicamente está bajo la siguiente relación: (Figura1).

**Figura 1.** Propuesta metodológica para determinar el mapa climático, según la metodología propuesta por Thornthwaite.



### 3. Resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación, los presentaremos en tres etapas (Figuras 2, 3 y 4), mismas que están en correspondencia al flujograma metodológico presentado en el capítulo anterior.

La figura 2 (A, B, C y D), reportan los diferentes análisis de correlación entre variables realizadas, a objeto de obtener las ecuaciones que respondan a una variable, una en función de otra variable ya conocida; entonces, con estas ecuaciones determinadas, mediante una aplicación de álgebra de mapas, se pueda extender la misma a toda la zona de estudio.

La Figura 3 (A, B, C, D, E, F), reporta las coberturas de resultados parciales, a la obtención del mapa de las regiones climáticas que se presentan en la figura 4 (A y B)

**Figura 2.** Correlaciones de variables.

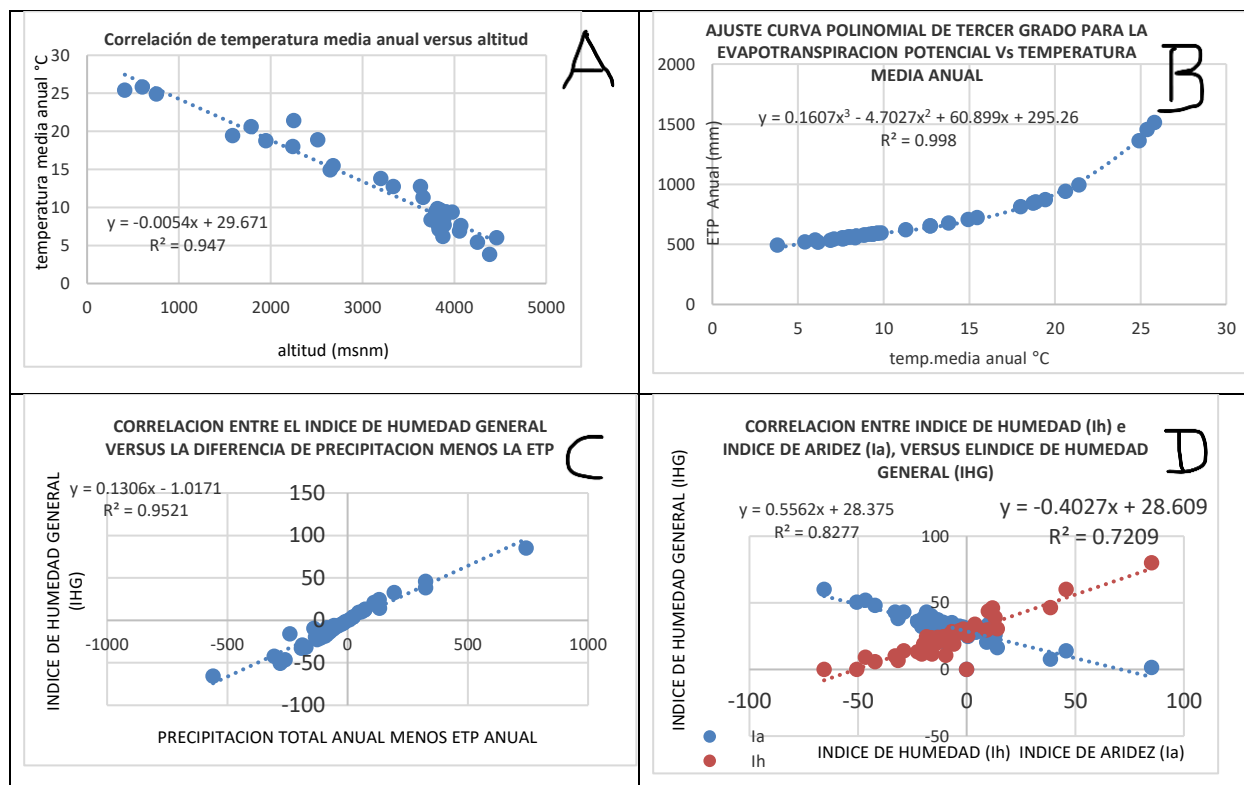


Figura 3. Resultados parciales.

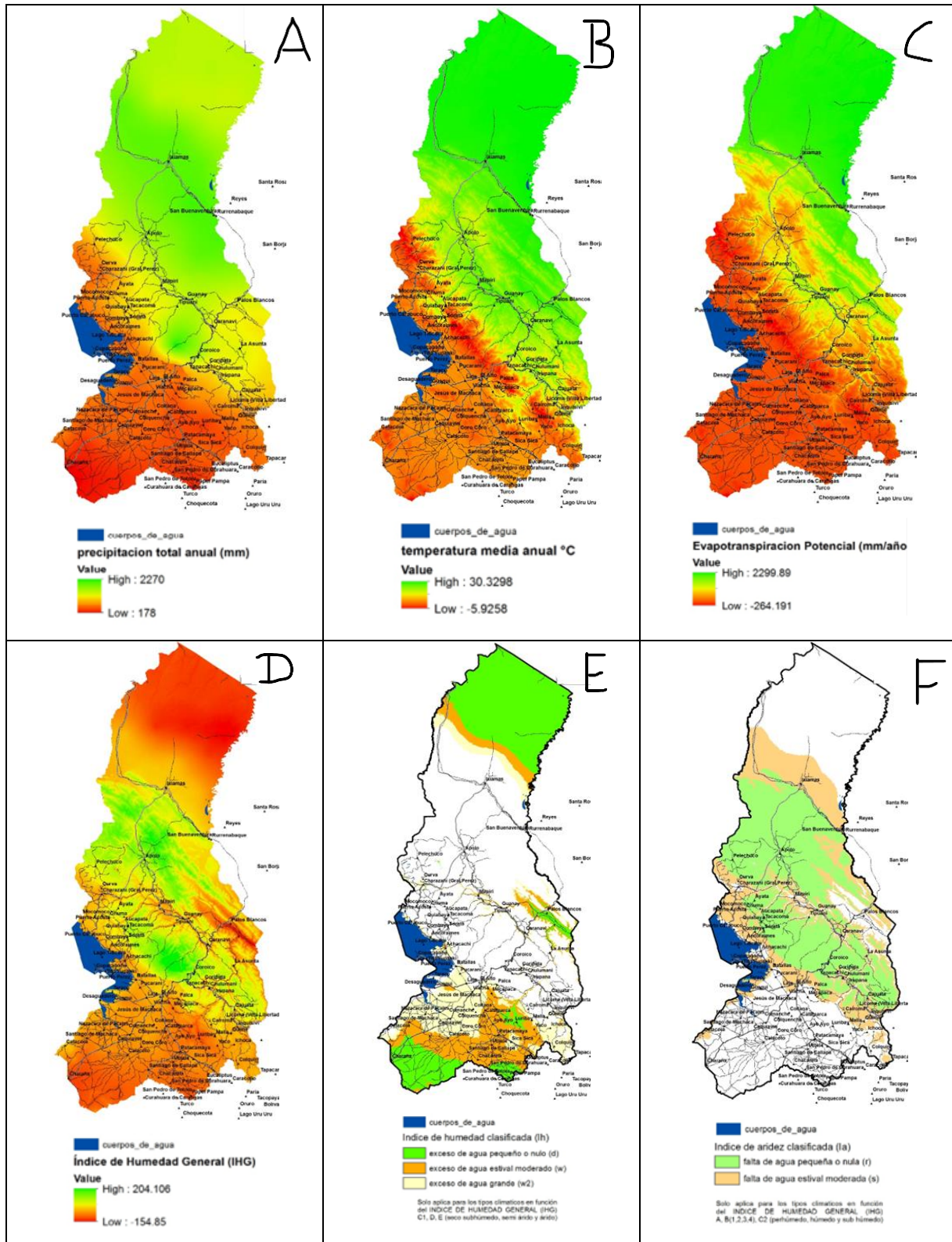
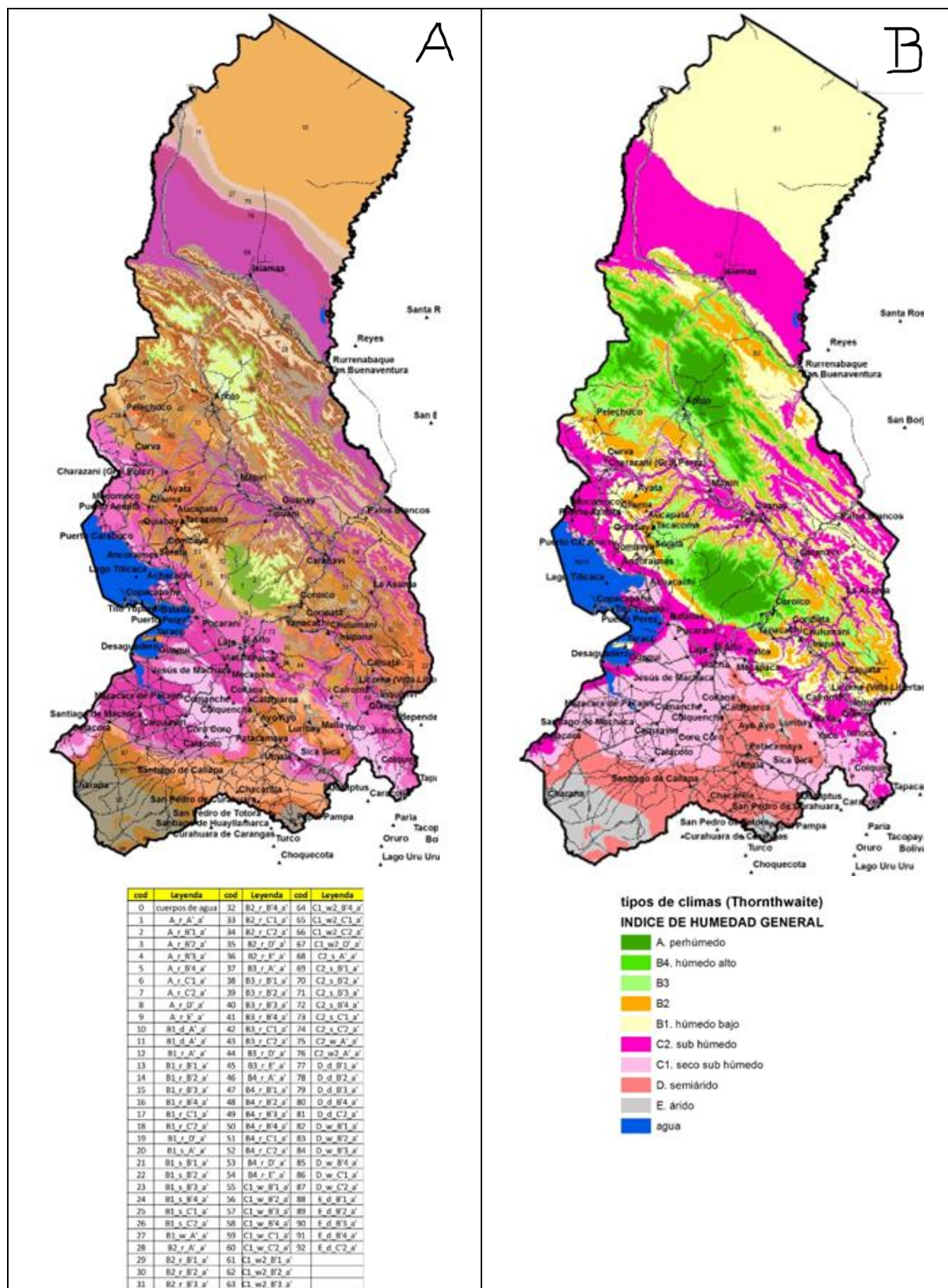


Figura 4. Zonas climáticas según Thornthwaite.



#### 4. Discusión

Como se ha visto, los únicos datos necesarios para desarrollar esta investigación fueron: un Modelo Numérico Altitudinal (MNA - SRT 30 m), y datos de 70 estaciones meteorológicas (39 termopluviométricas y 31 pluviométricas); consiguientemente había que buscar relaciones matemáticas para que, en base a una variable conocida, se puedan determinar las demás variables, y que, con estas relaciones matemáticas, poder espacializarlas mediante una operación de álgebra de mapas. Dado que la base sobre la cual operamos corresponde a un MNA de 30 m de resolución espacial, todos los productos también corresponden a esta relación, asumiendo entonces una escala de trabajo de 1:100000 aproximadamente.

Los resultados iremos analizándolos en tres etapas, mismas que corresponden a las figuras 2, 3 y 4 respectivamente.

En la primera etapa, con las estaciones termopluviométricas realizamos una regresión entre las temperaturas medias anuales y la posición altitudinal de las estaciones terrestres, llegando a determinar una ecuación que describe casi perfectamente la variabilidad de la temperatura media anual en función de la altitud (con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.947$ ), como esta última es conocida, aplicando esta ecuación se puede extender a toda la zona de trabajo, obteniendo así una cobertura de temperatura media anual (Figura 2A). La cobertura de precipitación total anual, se la obtuvo a partir de una interpolación simple (inversa distancia al cuadrado), de las 70 estaciones con datos pluviométricos

Con los datos climáticos de las estaciones termopluviométricas, aplicando la ecuación de Evapotranspiración Potencial de Thornthwaite (ETP), se determina la ETP anual para todas las estaciones. Para expandir está a toda la zona de estudio, se busca una relación matemática que exprese la ETP en función de la temperatura media anual, correspondiendo esta a un ajuste de regresión potencial de tercer grado, con un  $R^2 = 0.998$ ; entonces, con esta ecuación aplicando nuevamente un álgebra de mapas, logramos obtener el mapa de ETP total anual para toda la zona de estudio (Figura 2B).

Para las diferentes estaciones meteorológicas donde se calculó la ETP, se calculó el Índice de Humedad Global (IHG); de igual manera, buscamos una relación matemática de regresión, que explique la dependencia del IHG, encontrándola esta con la diferencia de la precipitación total anual, menos la ETP total anual, como estos dos últimos son conocidos, se pudo determinar esta relación matemática, cuya correlación determina un  $R^2 = 0.9521$  (Figura 2C), extendiendo la misma con una operación de álgebra de mapas a toda la zona de estudio.

Finalmente, para concluir esta primera parte, tenemos la determinación de los modelos matemáticos del Índice de humedad (Ih), y el Índice de aridez (Ia), que lo determinamos en función del Índice de Humedad Global (IHG), ya determinado en el punto anterior (Figura 2D), obteniendo las ecuaciones respectivas con  $R^2 = 0.8277$  y  $R^2 = 0.7209$ , respectivamente para Ih e Ia. Utilizando estas ecuaciones, se puede nuevamente expandir estas variables para toda la zona de estudio.

La segunda parte, muestran los resultados parciales obtenidos mediante la aplicación de álgebra de mapas, con las diferentes ecuaciones obtenidas en los análisis estadísticos de regresiones y/o correlaciones.

La figura 3A, muestra la cobertura de la precipitación total anual, que de acuerdo a nuestro conocimiento de la zona de estudio y verificada con los datos de las estaciones meteorológicas, es óptimo. La figura 2B, representa la distribución de la temperatura media anual, obtenida con el ajuste en función a la altitud. La figura 3C, representa la ETP total anual, obtenida de igual manera según la relación matemática obtenida para el caso.

La figura 3D, 3E y 3F, representan las coberturas de Índice de Humedad Global (IHG), el Índice de humedad (Ih) y el Índice de aridez respectivamente.

La tercera parte de resultados (Figura 4 A y B), muestran los resultados finales. La figura 4A, muestra el ensamblaje y la estratificación de todos los mapas índices anteriores, llegando a determinar que, en el Departamento de La Paz, siguiendo esta metodología se ha podido establecer que en ella se puede encontrar 92 tipos de zonas climáticas diferentes, mostrando así una riqueza de información, que responde a una región que por sus características fisiográficas y sus dos frentes (amazónico y altiplánico), así le corresponde. Remarcamos que comparativamente al mapa de Köppen, que solo presenta una decena de unidades climáticas, este se constituye más explícito. La figura 4B, es una simplificación de las zonas climáticas obtenidas, en ella solo se muestra el Índice de Humedad General (IHG).

## 5. Conclusiones

De esta manera, como conclusiones de la presente investigación podemos concluir que:

Pese a la poca disponibilidad de datos climáticos terrestres en nuestro país, es posible generar mapas y/o coberturas climáticas de manera eficiente, siguiendo esta metodología.

Contar con información como las coberturas y/o mapas generados en la presente, es de suma importancia para la planificación y la gestión territorial, esta información junta a otras más, sin lugar a duda son las fuentes primarias para emprender cualquier proyecto de desarrollo territorial.

En la presente investigación, se ha encontrado que en el Departamento de La Paz existen 92 unidades climáticas, según la metodología propuesta, a una escala aproximada de 1:100000, que responde a la gran diversidad fisiográfica que esta tiene.

Ya no es posible que, en estos tiempos, se siga utilizando información tan globalizada como los mapas climáticos de Köppen, que tienen escalas de 1:1000000, es posible afinarlas estas como se demuestra aquí.

Sera importante continuar con este tipo de investigaciones, un trabajo de campo a objeto de verificar y evaluar la precisión de este mapa, será importante como una etapa futura.

De igual manera, hay que investigar con otras metodologías de clasificaciones climáticas, analizar sus correspondencias y sus discrepancias, será importante a la hora de definir cual de ellas es mas adaptable a nuestro contexto y realidades.

Finalmente, remarcar la utilidad de aplicar herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica, sus diferentes técnicas de análisis y evaluaciones, a este tipo de investigaciones, quedando una vez demostrado su eficiencia y eficacia.

## Referencias

Almorox J. (2016). Clasificación climática según el modelo Thornthwaite, Revista de Hidrología, Costa Rica.

Delgado Álvarez José Luis. (2017), Zonificación agroecológica y zonas de vida ecológica del departamento de La Paz, Centro de Investigaciones y Aplicaciones Geomáticas (CIAG), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz – Bolivia.

Montaner Salas María Elena. (1988), Aproximación por el método Thornthwaite, para el cálculo de infiltración de lluvia útil, Revista papeles de geografía N° 14, Universidad de Murcia, España.

Pérez Briceño P. (2017), Dos propuestas de clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense, según el sistema Thornthwaite, Revista de Climatología, Centro de Investigaciones Geofísicas, Costa Rica