

# CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL PARAGUAY UTILIZANDO LOS MÉTODOS DE KÖPPEN Y THORNTHWAITE

Max Pastén, Violeta González, Cintia Espínola

## ***RESUMEN***

El objetivo del presente trabajo, es realizar una clasificación climática del Paraguay bien documentada y con metodologías conocidas y utilizadas en diversas regiones, los métodos seleccionados fueron los de Köppen y Thornthwaite, utilizando datos de 23 estaciones Meteorológicas en el periodo (1971-2010). Para ello se realizó una evaluación de los datos disponibles en el periodo considerado, posteriormente se procedió a obtener los índices necesarios utilizados en cada método.

Los resultados obtenidos mediante estos dos métodos fueron dos mapas con las regiones climáticas definidas con las características de cada metodología aplicada, en este sentido se puede resaltar que el método de Köppen caracteriza el clima del País en forma más homogénea que el método de Thornthwaite y esto queda de manifiesto en la diferencia del número de regiones climáticas definidas por ambos métodos.

Además, el resultado de la clasificación climática, podrá ser utilizado en diversos ámbitos, desde la educación en todos los niveles, hasta para estudios de impactos y vulnerabilidad con respecto al cambio climático.

## ***ABSTRACTS***

The aim of the present work is to realize a climatic classification of Paraguay well documented with methodologies known and used in diverse regions; the methods selected are the Köppen and Thornthwaite, using data of 23 weather stations during the period of 1971-2010. It's been done an evaluation of the available data in the period considered, subsequently to obtain the necessary indexes used in each method.

The results obtained by these two methods were two maps with the climatic regions defined with the characteristics of each methodology applied, in this sense the Köppen's method characterizes the climate of the country more softer than the Thornthwaite's and this it seen in the difference of number of climatic's regions defined by both methods.

Besides, the result of the climatic classification will be able to be used in diverse fields, from the education in all levels to studies of impacts and vulnerability regarding to the climatic change.

## **1. Antecedentes**

El clima de un país, localidad o región está determinado por la influencia de un conjunto de elementos y factores que actúan simultáneamente, éstos producen variadas situaciones ambientales, por este motivo es que resulta casi imposible que dos lugares tengan un clima idéntico. De esta forma, el número ilimitado de climas que existen sobre la tierra permite agruparlos en diferentes tipos y clases.

Pero, para poder realizar una clasificación climática, se debe realizar un agrupamiento de valores de los elementos climáticos, según ciertos límites o divisiones y resulta casi imposible poder definir una región climática con un solo elemento. Las clasificaciones o agrupaciones climáticas pueden hacerse fuera del alcance de leyes físicas o matemáticas, es por eso que una clasificación puede ser buena para un propósito o mala para otro fin.

Existen una gran variedad de sistemas de clasificación climática, pero la metodología elegida está en función de la información disponible. La primera y más generalizada regionalización se debió a los griegos, quienes dividían a la tierra en grandes zonas climáticas, y para ello se basaban en la distribución global de las temperaturas: tropical, templada y polar. A partir de allí han surgido numerosos sistemas formulados, donde se distinguen dos tendencias principales. Por un lado, las que se basan en los factores que generan la diversidad climática; tales como la circulación de la atmósfera, las masas de aire y los tipos de tiempo, éstas son conocidas como clasificaciones genéricas, entre las que se pueden mencionar a: Flohn, Alissov, Terjung o Strahler. Y por otro lado, están las que combinan diferentes elementos del clima (grado de aridez y las temperaturas), que pueden estar agrupados en índices, que se conocen como clasificaciones empíricas, entre las más conocidas son: las de Köppen, Thornthwaite, Papadakis y Budyko.

El objetivo de este trabajo es realizar una clasificación climática para Paraguay utilizando dos de las clasificaciones empíricas, Köppen y la de Thornthwaite y realizar una comparación entre los dos métodos a utilizar; para dicha clasificación se utilizará el periodo estándar

(1971-2000), ya que lo recomendable es utilizar al menos 30 años de datos según recomienda la OMM (Organización Meteorológica Mundial). El principal problema en Paraguay es que no se ha encontrado antecedente alguno sobre una clasificación climática para el país rigurosamente documentada, motivo suficiente para abordar este proyecto. Los datos a utilizar corresponden a la Dirección de Meteorología e Hidrología, que es la institución que posee la única base de datos Meteorológicos del país con un récord importante y también se recurrirá a alguna otra fuente de datos disponibles, como por ejemplo, datos de Reanálisis de algunos centros mundiales del clima.

El sistema de Köppen es estrictamente empírico y fue desarrollado en 1937. Esto significa que cada clima se define según unos valores fijos de temperatura y precipitación calculados según las medias anuales o mensuales. El modelo climático de Thornthwaite se basa en la evapotranspiración potencial, que mide la eficiencia térmica del medio analizado, y el índice hídrico, que mide la eficiencia pluvial de dicho medio.

Los resultados esperados son mapas de clasificación climática para Paraguay por ambos métodos, que servirá de referencia para otros estudios posteriores, que se deseen realizar en otros sectores socioeconómicos que dependen estrechamente del clima en nuestro país.

### **Clima del Paraguay**

La mayor parte de las precipitaciones que se originan en el país son de tipo convectivas, producidas por tormentas aisladas o por líneas de tormentas que son frecuentes desde la primavera hasta el otoño. La variación espacial de la precipitación media anual es considerable. Las isoyetas tienen sentido meridional y varían zonalmente desde un mínimo de 600 mm en el oeste del Chaco a más de 1800 mm en el sureste de la región Oriental (Grassi et al, 2005). La cuenca del río Paraná es la más húmeda en nuestro territorio, con promedios anuales que superan los 1800 mm, mientras que la cuenca del río Paraguay recibe máximos de 1600 mm en la región Oriental, en tanto que son mínimas en el Chaco con 600 mm en el Alto

Pilcomayo, frontera con Argentina y Bolivia (figura 1). Las precipitaciones también tienen una gran variación estacional con valores mínimos en los meses de julio y agosto; estos valores en el Chaco paraguayo representan cerca del 1% de la lluvia total anual, mientras que en el extremo sudeste de la región Oriental alcanza el 5% del total anual. Las precipitaciones son máximas en los meses que van de octubre a marzo y suelen registrarse en forma de tormentas o chaparrones, como consecuencia de la inestabilidad atmosférica causada por el fuerte calentamiento de las capas bajas de la atmósfera. La sequía y las inundaciones forman parte del escenario climático del Paraguay; el verano es largo, caluroso y húmedo; mientras que el invierno es breve, suave y seco, aunque suelen registrarse frecuentemente heladas entre los meses de junio a agosto (Grassi et al, 2004).

Debido a la continentalidad, y a pesar de que el Paraguay posee una extensión territorial no muy grande y una topografía homogénea, se observan variaciones espaciales y temporales de la temperatura (Grassi et al, 2004). La temperatura media anual oscila entre 21°C en el sureste de la región Oriental a más de 25°C en el norte del Chaco (figura 2); en esta última región se registran las temperaturas máximas medias más elevadas, que superan los 31°C, ocasionalmente supera los 40°C en verano; mientras que en la región Oriental se registran las temperaturas medias más bajas, próximas a los 15°C y en los meses de invierno, suelen registrarse heladas importantes en gran parte del País (Pastén et al, 2009).

La zona oeste, centro y norte del Chaco tiene una época normal de sequía (figura 3), allí se puede notar que a partir de abril las precipitaciones se reducen notablemente y esto se acentúa más hacia el oeste de Boquerón; por eso es, muy importante la época de precipitación (octubre a marzo) en dicha zona, porque es la época de recarga para soportar la época de sequía o escasa precipitación.

## **2. Problemática a resolver**

El clima de una localidad o región está determinado por la influencia de un conjunto de elementos y factores que actúan simultáneamente, produciendo variadas situaciones ambientales, por lo cuales es casi imposible que dos lugares tengan idéntico clima. De esta manera, el ilimitado número de climas que existen sobre la tierra, demanda una agrupación entre tipos y clases.

La clasificación climática consiste en un agrupamiento de valores de los elementos climáticos, según ciertos límites o divisiones y, rara vez se pueden definir una región climática con un solo elemento.

En este caso, lo que se busca es encontrar características comunes del clima en Paraguay, y agruparlas según algunos conceptos, para ello se utilizó las clasificaciones climáticas de Thornthwaite y Köppen.

La clasificación de Thornthwaite (1949) ha sido ampliamente asumida, dadas las aportaciones de su autor al edafoclima e hidrología, desde una perspectiva geográfica, basada en la consideración de la eficacia térmica, dada por la ETP (Evapotranspiración Potencial) del mismo autor, y la humedad disponible, expresada como índices de humedad y de aridez a partir del balance hídrico. Esta clasificación define el clima según la humedad y su variación estacional, según la eficacia térmica y su concentración estival. El tipo de humedad está basado en un índice de humedad global que combina dos índices: uno de humedad y otro de aridez.

La clasificación de Köppen desarrollada en 1937, clasifica los climas teniendo en cuenta simultáneamente las características de precipitación y temperatura. El sistema de Köppen es estrictamente empírico. Esto significa que cada clima se define según unos valores fijos de temperatura y precipitación calculados según las medias anuales o mensuales.

Mediante estos dos métodos, utilizando un récord de datos importantes disponible en nuestro país; lo que se pretende es lograr una caracterización climática bien documentada y, que sirva de referencia para el estudio del clima en nuestro país, que puede ser de gran utilidad para

diversos sectores de la sociedad (educación, agricultura, salud, etc.), que estén relacionados directamente con el clima.

### **3. Objetivos**

General

Obtener una clasificación climática para Paraguay basada en los métodos empíricos de

Köppen y Thornthwaite

**específicos**

- Compilar y realizar un control de calidad de los datos Meteorológicos
- Diferenciar y agrupar grupos y subgrupos climáticos según Köppen
- Hallar el régimen termo pluviométrico de los distintos puntos con datos Meteorológicos
- Estimar la Evapotranspiración potencial según Thornthwaite
- Estimar la eficacia térmica
- Agrupar grupos climáticos según Thornthwaite

### **4. Materiales y métodos**

Se analizaron los datos de precipitación y temperatura históricas (1971-2010) de Paraguay.

Los datos utilizados de precipitación fueron obtenidos de la Dirección de Meteorología e Hidrología dependiente de la DINAC.

Posteriormente se utilizaron los siguientes sistemas de clasificación climática:

#### **El sistema climático de Thornthwaite**

Se basa en el concepto de evapotranspiración potencial y en el balance de vapor de agua, y contiene cuatro criterios básicos: índice global de humedad, variación estacional de la humedad efectiva, índice de eficiencia térmica. La evapotranspiración potencial (ETP) se determina a partir de la temperatura media mensual, corregida según la duración del día; y el

exceso o déficit se calcula a partir del balance de vapor de agua, considerando la humedad ( $I_m$ ); que junto con la ETP permite definir los tipos de climas reflejados en la tabla 1, que a su vez se subdividen en otros, en función del momento del año con exceso o falta de agua y de la concentración estacional de la eficacia térmica.

Para realizar la clasificación climática, cada clima se representa por cuatro letras, las dos primeras describen su comportamiento pluviométrico, las dos siguientes su carácter térmico.

La primera letra del carácter pluviométrico, (que considera la precipitación y su pérdida por evapotranspiración), es mayúscula y hace la clasificación según el valor del índice hídrico anual.

$$I_m = I_h - 0,6 \cdot I_a$$

donde:

$I_h$ ; es el índice de humedad

$I_a$ ; es el índice de aridez

El índice de humedad  $I_h$ , se obtiene comparando, en porcentaje, el agua de escorrentía (acumulada durante los meses que ocurra), con la evaporación potencial anual.

$$I_h = 100 \cdot \frac{\sum Exc}{ETP}$$

El índice de aridez  $I_a$ , compara, en porcentaje, el déficit o falta de agua para ser evaporada, (acumulada durante los meses en que la evapotranspiración es superior a la precipitación; más el aporte de la reserva, por retención en el terreno de los excesos de precipitación de los meses anteriores).

$$I_a = 100 \cdot \frac{\sum Def}{ETP}$$

Finalmente el índice hídrico anual  $I_m$ , es la resta del índice de humedad, menos el índice de aridez; a este se le aplica, un coeficiente reductor de 0,6, por el posible aporte a aguas subterráneas de infiltración y corrientes profundas.

**Cálculo de la ETP (Evapotranspiración Potencial):** utilizando la fórmula de Thornthwaite y Mather se calculó la evapotranspiración potencial para cada mes y el valor anual. Tiene la ventaja de utilizar en sus cálculos dos factores: la temperatura media mensual y la latitud, que implícitamente introduce la duración teórica de la insolación y tiene como desventaja no tomar en cuenta la humedad del aire, viene dada por la siguiente fórmula:

$$ETP = K \cdot ETP^*$$

Donde:

$$ETP^* = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a$$

$ETP^*$  ; es la Evapotranspiración Potencial sin ajustar

$t$ ; es la temperatura media mensual

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,0492$$

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514} ; \text{ índice térmico para los doce meses del año}$$

$$I = \sum_1^{12} i ; \text{ índice térmico anual}$$

$$K = \frac{N \cdot D}{12 \cdot 30} ; \text{ Coeficiente de corrección,}$$

donde N es la duración teórica del día, D es la cantidad de días del mes.

## **El sistema climático de Köppen**

Constituye el mejor ejemplo de clasificación empírica y es uno de los esquemas conocidos y de mayor aplicación por los geógrafos. Su idea de partida es que la vegetación natural constituye un indicador del clima, y algunas de sus categorías se apoyan precisamente en los límites climáticos de ciertas formaciones vegetales. Los climas son definidos por los valores medios anuales y mensuales de las temperaturas y las precipitaciones, y con estos criterios se diferencian varios grupos y subgrupos climáticos, que se identifican mediante un código de letras. Köppen distingue cinco grandes grupos, reconocidos mediante letras mayúsculas y con las siguientes características basadas esencialmente en criterios térmicos:

**A:** Clima tropical lluvioso. Todos los meses la temperatura media es superior a 18 °C. No existe estación invernal y las precipitaciones son abundantes.

**B:** Climas secos. La evaporación es superior a la precipitación y no hay excedente hídrico.

**C:** Climas templados y húmedos. El mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre 18 y -3 °C, y la media del mes más cálido supera los 10 °C.

**D:** Climas templados de invierno frío. La temperatura media del mes más frío es inferior a -3 °C y la del mes más cálido está por encima de 10 °C.

**E:** Climas polares. No tienen estación cálida y el promedio mensual de las temperaturas es siempre inferior a 10 °C. Cuando el mes más cálido oscila entre 0 y 10 °C de temperatura media, el autor diferencia el grupo ET (clima de tundra) y en el caso de que ningún mes supere los 0 °C de media, el grupo EF (clima de hielo permanente).

Los grupos anteriores se subdividen a su vez en subgrupos más específicos mediante letras minúsculas, con referencia a la distribución estacional de la precipitación:

**f:** (de fehlt = faltar) lluvioso todo el año, ausencia de periodo seco.

**s:** (de sommer = verano) presencia de estación seca en verano.

**w:** (de winter = invierno) estación seca en invierno.

**m:** precipitación de tipo monzónico.

De la combinación de estas letras resultan doce climas, que se resumen en la tabla 2.

Asimismo para matizar el régimen térmico, se hace uso de una tercera letra, donde las más significativas son:

**a:** la temperatura media del mes más cálido es superior a 22°C

**b:** la temperatura media del mes más cálido es inferior a 22 °C, pero con temperaturas medias de al menos cuatro meses por encima de los 10 °C.

**c:** menos de cuatro meses tienen temperatura media superior a 10 °C.

**d:** el mes más frío está por debajo de los -38 °C

**h:** la temperatura media anual es superior a 18 °C.

**k:** la temperatura media anual inferior a 18 °C.

Esta clasificación es susceptible de enriquecimiento en sus detalles mediante la adición de nuevos símbolos; por otra parte, el uso de observaciones muy comunes como son las temperaturas y las precipitaciones, hacen que este esquema permita fáciles adaptaciones, si se dispone de mayor información.

### **Datos analizados**

Se utilizaron datos de precipitación y temperatura de 23 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio nacional, estas forman parte de la base de datos de la Dirección de Meteorología e Hidrológica de la DINAC, y poseen récords importantes ya que pertenecen al Sistema de Vigilancia Mundial. Se escogió el periodo más reciente, 1971-2010, esto da una longitud de 40 años, tiempo considerable como para realizar una buena clasificación climática del País; además, se observó que no todas las estaciones Meteorológicas tenían los 40 años de datos; por lo que se procedió a realizar verificaciones y algunas consideraciones, como por ejemplo, incluir en el estudio la localidad de Bahía Negra,

ya que está en un lugar geográficamente estratégico pese a que solo contaba con el 55% de los datos en el periodo considerado; también se realizó una combinación, entre las estaciones de Minga Guazú y Ciudad del Este, mientras esta última comenzó a funcionar en 1997, la otra dejó de funcionar en dicho año. Las demás estaciones Meteorológicas contaban con registros por encima del 70% de datos en el periodo considerado por lo que fueron incluidas sin problema.

El periodo de datos considerados, es 1971-2010, para cada estación meteorológica se indica el total de datos que posee dentro del periodo considerado y el porcentaje que le corresponde con respecto al total, tanto para las series de datos de temperatura y precipitación.

### **Diagrama ombrotérmico de Gaussen**

Se utilizó el diagrama ombrotérmico de Gaussen para identificar el período seco en el cual la precipitación es inferior a dos veces la temperatura media (como aproximación a la sequedad estacional considerando  $2T$  una estimación de la evapotranspiración). Para su representación gráfica, en el eje X se ponen los doce meses del año y en un doble eje Y se pone en un lado las precipitaciones medias mensuales (en mm) y en el otro las temperaturas medias mensuales (en °C). Se debe considerar que la escala de precipitaciones es el doble que la de temperaturas. Esto es, por cada °C en temperatura se toma un par de mm en precipitación. Así a un valor de 20 °C le corresponde en la misma línea el valor de 40 mm (ver figuras 7 a 29).

### **Cálculos realizados**

Para realizar la clasificación climática por los métodos de Thornthwaite y Köppen, se obtuvieron los valores medios de precipitación y temperatura del periodo 1971-2010; también se obtuvo, la ETP (Evapotranspiración Potencial) por el método de Thornthwaite y Matter, utilizada posteriormente para la clasificación climática del mismo autor.

En la tabla 4, se puede observar que los valores anuales más altos superan los 1800 mm en las

estaciones meteorológicas ubicadas en este y sureste de la región Oriental.

En el caso de la temperatura media, éstos se obtuvieron para cada localidad donde se tienen registros históricos importantes (tabla 5).

En el resumen de la temperatura media mensual y anual, se puede observar que la temperatura media anual más baja se registra en el sur del país, alrededor de los 17°C y los valores más altos en el norte del Chaco, con valores que se aproximan a los 23°C.

Utilizando los criterios de clasificación de Thornthwaite, se realizó el cálculo de los índices climáticos, índice hídrico, humedad y aridez; para finalmente obtener el índice hídrico anual, posteriormente teniendo en cuenta estos índices y la ETP, se realizó la clasificación climática correspondiente (ver tabla 6).

El resultado que se observa en la tabla 6 es que según Thornthwaite en Paraguay existen cinco tipos de climas, que según el índice de humedad, van desde semiárido, subhúmedo seco, subhúmedo húmedo y húmedo, considerando el ciclo anual de precipitación se tiene las clasificaciones: seco y lluvioso y de acuerdo a la eficacia térmica se tiene; mesotérmico y megatérmico.

Para la clasificación de Köppen se utilizó el criterio de clasificación mostrado en la tabla 7, donde se caracteriza al igual que Thornthwaite con tres letras.

El resultado de la clasificación climática de Köppen, determinó que en Paraguay existen tres tipos de climas: Sabana tropical con invierno seco (Aw), Semiárido (Estepa) cálido todo el año (BSh) y clima templado, sin estación seca y verano caliente (Cfa), éste es el predominante en gran parte de Paraguay.

En la figura 5, se puede observar el resultado de la clasificación climática de Thornthwaite, donde se puede diferenciar perfectamente los 5 diferentes tipos de clima de Paraguay.

**La región Occidental queda definida con tres tipos de climas:**

**Semiárido/Seco/Megatérmico (DdA´);** Comprende Boquerón, Alto Paraguay y norte de Presidente Hayes.

**Subhúmedo seco/Seco/Megatérmico (C1dA´):** Comprende una pequeña porción del sureste de Alto Paraguay, gran parte de Presidente Hayes.

**Subhúmedo húmedo/Lluvioso/Megatérmico (C2rA´):** Comprende el sureste de Presidente Hayes.

**La región Oriental queda definida con cuatro tipos de climas:**

**Subhúmedo seco/Seco/Megatérmico (C1dA´):** Comprende el oeste del departamento de Concepción y una pequeña porción del departamento de San Pedro.

**Subhúmedo húmedo/Lluvioso/Megatérmico (C2rA´):** Comprende el este de Concepción, una franja de San Pedro, departamento Central, oeste de Cordillera y el oeste de Ñeembucú.

**Húmedo/Lluvioso/Megatérmico (BrA´):** Comprende los departamentos de Canindeyú, Alto Paraná, Caaguazú, Guairá, Caazapá, Misiones, este de Amambay, sureste de San Pedro, este de Cordillera, este de Ñeembucú y gran parte de Itapúa.

**Húmedo/Lluvioso/Mesotérmico (BrB´):** Comprende solo una pequeña porción al este de Itapúa.

El resultado de la clasificación climática de Köppen, se muestra en la figura 6, donde se observa claramente tres regiones climáticas.

**La región Occidental queda definida con tres tipos de climas:**

**Semiárido (Estepa)/Cálido (BSh):** Comprende el oeste del departamento de Boquerón

**Sabana tropical/Invierno seco (Aw):** Comprende Alto Paraná, este de Boquerón, y norte de Presidente Hayes.

**Templado/Sin estación seca/Verano caliente (Cfa):** Comprende el sur del departamento de Presidente Hayes.

**La región Oriental queda definida con dos tipos de climas:**

**Sabana tropical/Invierno seco (Aw):** Comprende gran parte del departamento de San Pedro y una pequeña porción del noroeste de San Pedro.

**Templado/Sin estación seca/Verano caliente (Cfa):** Comprende los departamentos de:

Amambay, Canindeyú, Central, Cordillera, Caaguazú, Alto Paraná, Paraguairí, Guairá, Caazapá, Ñeembucú, Misiones, Itapúa y gran parte de San Pedro.

## 5. Resultados y discusión

Se ha obtenido la clasificación climática de Paraguay mediante dos métodos empíricos muy utilizados a nivel mundial.

Según la clasificación de Thornthwaite (figura 5), existen en Paraguay cinco tipos de climas que varían desde: Semiárido /Seco /Megatérmico (DdA<sup>^</sup>), Subhúmedo seco /Seco /Megatérmico (C1dA<sup>^</sup>), Subhúmedo húmedo /Lluvioso /Megatérmico (C2rA<sup>^</sup>), Húmedo /Lluvioso /Megatérmico (BrA<sup>^</sup>), Húmedo /Lluvioso /Mesotérmico (BrB<sup>^</sup>). La región Occidental quedó caracterizada por tres tipos de climas: (DdA<sup>^</sup>), (C1dA<sup>^</sup>) y (C2rA<sup>^</sup>). En cambio en la región Oriental se definieron 4 tipos de clima: (C2rA<sup>^</sup>), (BrA<sup>^</sup>) y (BrB<sup>^</sup>), siendo la única característica común para todo el país el carácter Megatérmico, en donde solo una pequeña zona en el departamento de Itapúa se tiene una condición de Mesotérmico.

Mediante la clasificación climática de Köppen (figura 6), se determinó que en Paraguay existen tres tipos de climas: Sabana tropical con invierno seco (Aw), Semiárido (Estepa), cálido todo el año (BSh) y clima templado, sin estación seca y verano caliente (Cfa), éste es el predominante en gran parte de Paraguay. En la región Occidental se determinaron tres climas: Semiárido (Estepa)/Cálido (BSh), Sabana tropical/Invierno seco (Aw), Templado/Sin estación seca/Verano caliente (Cfa). En cambio en la región Oriental se definieron solo 2 tipos de clima: Sabana tropical/Invierno seco (Aw) y Templado/Sin estación seca/Verano caliente (Cfa).

Si bien los dos métodos utilizados realizan la clasificación basados en los mismos parámetros (Precipitación y temperatura) se evidencian algunas diferencias en cuanto a las subdivisiones; pero, si se compara ambos métodos se puede notar una gran coincidencia en varias regiones del país, especialmente en la región Oriental donde se puede concluir que el clima templado,

sin estación seca y verano caliente (Cfa) determinado por Köppen sería el equivalente al Subhúmedo húmedo/Lluvioso/Megatérmico (C2rA), Húmedo /Lluvioso /Megatérmico (BrA´), Húmedo/Lluvioso/Mesotérmico (BrB´), que se determina por Thornthwaite. En gran parte del Chaco Köppen lo define como: Sabana tropical con invierno seco (Aw), Semiárido (Estepa), cálido todo el año (BSh) y clima templado, sin estación seca y verano caliente (Cfa), que sería el equivalente a Semiárido /Seco /Megatérmico (DdA´), Subhúmedo seco /Seco /Megatérmico (C1dA´), Subhúmedo húmedo /Lluvioso /Megatérmico (C2rA´) caracterizado por Thornthwaite.

También se utilizaron el diagrama ombrotérmico de Gaussen para identificar el período seco en el cual la precipitación es inferior a dos veces la temperatura media; los gráficos para cada estación meteorológica se encuentran en los anexos (figura 5 a figura 27), donde resalta las localidades del oeste del Chaco un gran déficit, principalmente en los meses de invierno.

## **6. Conclusiones**

La clasificación climática para Paraguay mediante los métodos de Thornthwaite y Köppen ha dejado como resultado principal, una caracterización climática bien documentada y basada en un periodo considerable de datos (1971-2010) de un total de 23 estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio paraguayo; si bien se observan, diferencias en cuanto al número de regiones obtenidas por ambos métodos, no dejan de presentar similitudes si se analiza detalladamente las características de cada metodología aplicada; en este sentido se puede resaltar, que el método de Köppen caracteriza el clima del País en forma más homogénea, que el método de Thornthwaite y esto queda de manifiesto en la diferencia del número de regiones climáticas definidas por ambos métodos.

Para el caso de la clasificación de los diferentes climas para ambos métodos se ha realizado una planilla resumida que permite visualizar mejor el resultado de cada uno de los criterios considerados.

Finalmente, el resultado obtenido por ambos métodos es totalmente válido y utilizable

indistintamente.

### **7. Agradecimientos**

Quiero agradecer a todos los que han hecho posible realizar el presente trabajo: a la DMH, por facilitar los datos necesarios, a la FPUNA, quien me proporciona el equipamiento y la infraestructura necesaria, a los funcionarios del Departamento de Investigación, Postgrado y Extensión (DIPE) por la buena predisposición y colaboración, al rectorado de la UNA quién financia el proyecto y finalmente a todos los que han colaborado en la realización de este trabajo.

## **8. Bibliografía**

PASTEN, M, ARMOA, J, BENÍTEZ, S. 2006. Efectos de El Niño en la agricultura en el Paraguay. San Lorenzo: UNA, DGICT. s.p.

PEINADO, A; 1985. Lecciones de Climatología: conceptos y técnicas. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología. 111 p.

CUADRAT, J. M.; PITA, M. F.. 1997. Climatología. Madrid: Ediciones Cátedra. 495 p.

AYLLÓN, T.. 2003. Elementos de meteorología y climatología. México: Trillas. 211 p.

LEDESMA, M.. 2000. Climatología y meteorología agrícola. México: Paraninfo. 449 p.

GRASSI, B.; PASTÉN, A. M.; ARMOA, J.. 2004. Análisis de la tendencia de la temperatura del aire en el Paraguay: Informe final. Documento Inédito. Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. 265 p.

GRASSI, B. ; PASTÉN, A. M.; ARMOA. J.. 2005. Un análisis del comportamiento de la precipitación en el Paraguay: Informe final. Documento Inédito. Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. 144 pág.

OMM-N° 100. 1990. Guía de Prácticas Climatológicas. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.

PEEL, M. C. ; FINLAYSON, B. L.;MCMAHON, T. A.. 2007. Updated world map of the Köppen -Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences, 12 pág.