

DEFINICIÓN DEL AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO EN BASE A LAS VARIABLES TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO, DE TRES REGIONES NATURALES DEL ECUADOR: COSTA, SIERRA Y ORIENTE.

Fausto Viteri^{1,2}, Andrés Guerrero^{1,3}

¹*Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental. Fax: (593) 022334952 CP: 1715231B*

²*Universidad Tecnológica Equinoccial, Carrera de Ingeniería Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales. CP 17102764, Fax: (593) 02442288, e-mail: vmfr2366@ute.edu.ec*

³*Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Fax: (593) 022241874, e-mail:andreejijon@gmail.com*

Resumen

La información climatológica es clave para el aprovechamiento de energía renovable, como la fotovoltaica, eólica e hidráulica. El Año Meteorológico Típico, AMT, constituye una alternativa para caracterizar el clima, mediante la identificación del mes que mejor representa las características medias de ese mes a partir de registros de varios años. Se estableció el AMT para el Ecuador continental, mediante el análisis de registros meteorológicos de precipitación, velocidad del viento, temperatura máxima, media y mínima; provenientes de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Las estaciones fueron seleccionadas considerando la disponibilidad de 5 registros al día, al menos durante diez años consecutivos. Se identificaron cuatro estaciones en la Sierra, tres en la Costa y tres en el Oriente; que cumplieron con este requisito. En la Sierra se seleccionaron las estaciones ubicadas en Pichincha y Cotopaxi en el período 1986–1996; para la Costa se seleccionaron las estaciones ubicadas en Los Ríos, El Oro y Santo Domingo de los Tsáchilas en el período 1982–1992 y para el Oriente se tomaron las estaciones ubicadas en Orellana y Morona Santiago en el periodo 1988–1998. Los registros faltantes fueron estimados mediante el Método Sandía Revisado. Se obtuvieron configuraciones diferentes del AMT, una para cada región. El enfoque aplicado puede servir para generar un AMT de mayor representatividad, incluyendo registros de años recientes y de estaciones adicionales.

Palabras clave: Año Meteorológico Típico, Ecuación estadística de Finkelstein-Schafer, Frecuencia acumulada.

Abstract

Climatological information is key to the use of renewable energy, such as photovoltaic, wind and hydraulic. Typical Meteorological Year, TMY, is an alternative to characterize the climate, by identifying the month that best represents the average characteristics of that month from records of several years. TMY was established for continental Ecuador, through the analysis of meteorological records of precipitation, wind speed, temperature maximum, medium and minimum; from stations of the National Institute of Meteorology and Hydrology. The stations were selected considering the availability of five records per day, for at least ten consecutive years. There were identified four stations in the highlands, three in the coast and three in the Amazon region that comply with this requirement. In the highlands were selected

stations located in Pichincha and Cotopaxi in the period 1986-1996, to the coast were selected stations in Los Ríos, El Oro and Santo Domingo de los Tsáchilas in the period 1982-1992, and to the Amazon were taken stations in Orellana and Morona Santiago in the 1988-1998 period. The missing records were estimated by the Sandia Revised Method. There were obtained different TMY configurations, one for each region. The approach can be used to generate a more representative TMY, including records of recent years and additional stations.

Keywords: Cumulative Frequency, Finkelstein-Schafer Statistical Equation, Typical Meteorological Year.

I. Introducción

El Ecuador se localiza al noroccidente de América del Sur, junto al Océano Pacífico. Es atravesado por la Cordillera de Los Andes y recibe la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), por lo que recibe masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad (Valverde & Cano, 2005).

Estas y otras condiciones han provocado la presencia de tres regiones naturales en la zona continental del Ecuador: Costa, Sierra y Amazonia u Oriente; con características climáticas propias y bien diferenciadas (Calderón, 2010).

Según Vargas (2008), Ecuador tiene diez zonas climáticas, cuatro en la Región Sierra: Ecuatorial Mesotérmico Semi húmedo, Ecuatorial Mesotérmico Seco, Ecuatorial de Alta Montaña y Nieval; cuatro en la Región Costa: Tropical Húmedo, Tropical Monzón, Tropical de Sabana y Tropical Seco; y dos en la Región Oriental: Amazónico Húmedo y Amazónico Semi-húmedo.

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); con la colaboración de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), monitorea parámetros como: temperatura, humedad, precipitación, heliofanía, radiación, presión, dirección y velocidad del viento, los cuales pueden provocar cambios climáticos en diferentes lugares del territorio ecuatoriano (INAMHI, 2009).

Estos parámetros pueden ser aplicados en sistemas de gestión ambiental. En estudios de impacto ambiental, por ejemplo, se requiere conocer el comportamiento climático de una zona en particular. Los registros de periodos calurosos o fríos, de lluvia o de sequía, son necesarios para planificar diferentes actividades humanas, controlar emisiones atmosféricas y gestionar cuencas hidrográficas (Ruiz de Adana, 2002).

En la actualidad, se utilizan los registros de las variables meteorológicas para obtención de energía por fuentes renovables, como la fotovoltaica, eólica e hidráulica (Kalogirou, 2003 y Kamal & Abdul, 2009). Diversos estudios (Skeiker & Ghani, 2008; Vertacnik, 2008) señalan que la información climática es clave para proyectos de eficiencia energética y definen el diseño energético de edificios adaptados que buscan aprovechar la energía solar

Para aprovechar el potencial de la información climática, se han creado varias herramientas. Una de ellas es la generación del Año Meteorológico Típico, AMT, el mismo que, originalmente, fue un conjunto de valores de la radiación horaria correspondiente a un año hipotético que se construye eligiendo, para cada mes, un año real, cuyo valor medio mensual de la irradiación global diaria horizontal, coincida o sea representativo de todos los años (Lerum, 2008). El AMT, que inicialmente fue enfocado solo a la radiación solar, ha sido modificado; incluyendo otros parámetros meteorológicos (Kalogirou, 2003). La generación del AMT es de gran importancia para cálculos relativos a muchas aplicaciones en el campo de la ingeniería térmica, y para otras aplicaciones de energías renovables (Kamal & Abdul, 2009).

La presente investigación generó un AMT para cada una de las tres regiones naturales del Ecuador continental, Costa, Sierra y Oriente, en base a los registros meteorológicos del INAMHI, considerando las variables de temperatura máxima, media y mínima, precipitación y velocidad del viento, identificando las estaciones meteorológicas más representativas para cada mes del año en cada una de las regiones naturales antes mencionadas.

II. Metodología

Se utilizó el “Método Sandia Revisado”, que sirve para establecer el AMT de una zona en particular (Hall, Prairie, Anderson, & Boes, 1978).

Se realizó una recopilación de información primaria y secundaria, de las variables de temperatura mínima, media y máxima, precipitación y velocidad del viento, analizando alrededor de 180 estaciones meteorológicas disponibles en la base de datos del INAMHI, para las tres regiones naturales, Costa, Sierra y Oriente. Solamente se seleccionaron las estaciones meteorológicas que cumplieron los requerimientos de: diez años consecutivos de mediciones, al menos cinco datos por cada día de cada mes, según la metodología descrita por Janjai & Deeyai (2009).

En la Sierra se seleccionaron solo cuatro estaciones que cumplían estos requisitos, La Tola-Pichincha (M002), Izobamba-Pichincha (M003), Rumipamba-Salcedo-Cotopaxi (M004) e Iñaquito-Pichincha (M024); tres en la Costa, Pichilingue-Los Ríos (M006), Arenillas-El Oro (M179) y Alluriquín INECEL-Santo Domingo de los Tsáchilas (M209); y tres estaciones en el Oriente: Nuevo Rocafuerte-Orellana (M007), Yanzatza-Zamora Chinchipe (M190) y Gualaquiza Inamhi-Morona Santiago (M189), como indica la Tabla 1.

La localización de las estaciones meteorológicas seleccionadas se muestra en la Figura 1.

Tabla 1. Estaciones y períodos seleccionados por región

Región	Sierra		Costa		Oriente	
Rango de años	1986-1996		1982-1992		1988-1998	
Estación 1	La Tola (M002)	Pichincha	Pichilingue (M006)	Los Ríos	Nuevo Rocafuerte (M007)	Orellana
Estación 2	Izobamba (M003)	Pichincha	Arenillas (M179)	El Oro	Yanzatza (M190)	Zamora Chinchipe
Estación 3	Rumipamba-Salcedo (M004)	Cotopaxi	Alluriquín INECEL (M209)	Santo Domingo de los Tsáchilas	Gualaquiza Inamhi (M189)	Morona Santiago
Estación 4	Iñaquito (M024)	Pichincha	-	-	-	-

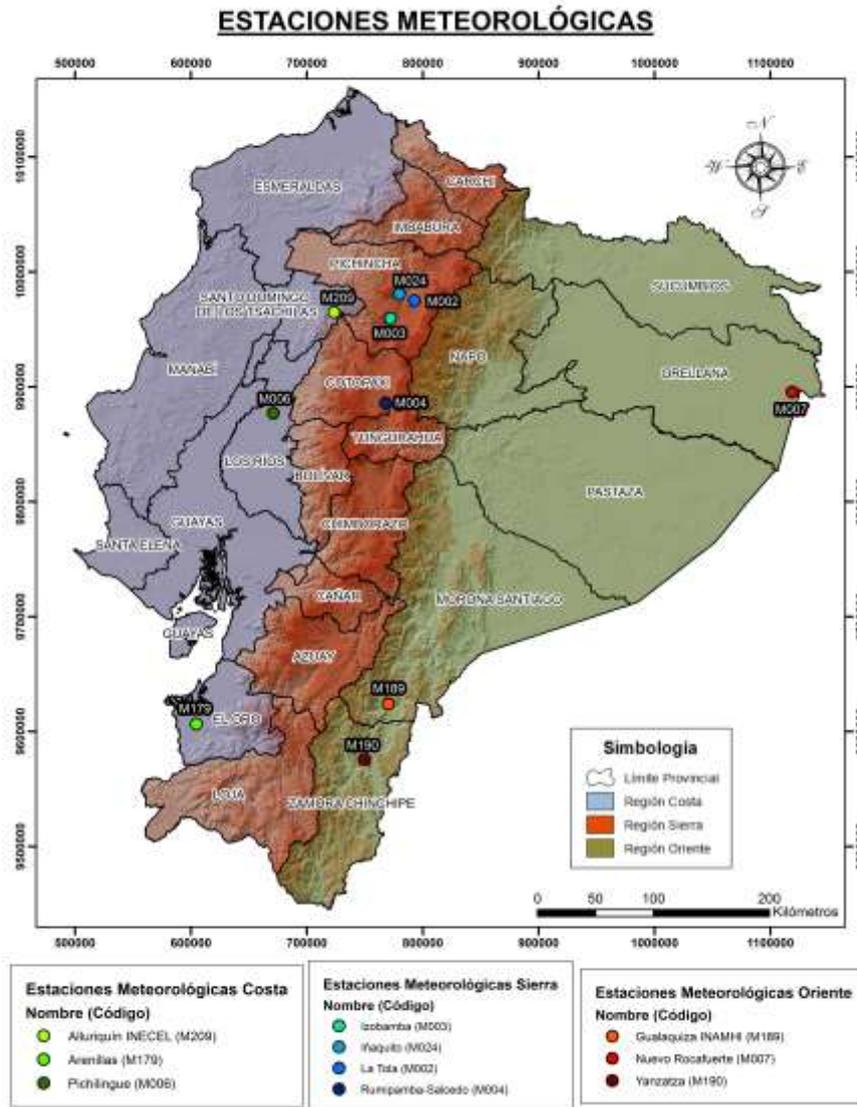


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas analizadas

Se procedió a estimar datos faltantes, mediante el cálculo de medias de datos intermedios y un suavizado exponencial, tomando en cuenta todos los registros disponibles de cada mes (Alvarado, 2008).

Para acoplar los datos en la distribución común durante el mes analizado ($p \leq 0,05$), se realizó un cálculo de regresión cúbica como lo indica la metodología de Alea (2001). Se obtuvieron rangos específicos para establecer frecuencias acumuladas en cada parámetro analizado (Ruiz de Adana, 2002).

Posteriormente, con los datos de frecuencias acumuladas, se aplicó la ecuación estadística de Finkelstein-Schafer, para todos los datos (ecuación 1) (Kalamees & Kurnitski, 2005).

$$FS = \sum_{i=1}^m |f_i - \bar{f}_i| \quad [1]$$

Donde,

f_i = función de distribución acumulada (entre 0 y 1) hasta la clase i ,

m = número de clases

Se multiplicaron los valores obtenidos de la ecuación 1, de todos los parámetros, con los valores del sistema de ponderación de la Tabla 2, para obtener una suma ponderada, (Weighted Sum, WS), según lo indica la ecuación 2. (Oko & Ostel., 2011)

$$WS = k_T FS_T + k_G FS_G \quad [2]$$

Donde,

FS_T o FS_G = valor encontrado con Finkelstein-Schafer (dependiendo del parámetro analizado)

k_T o k_G = valores del sistema de ponderación por parámetro meteorológico

Tabla 2. Valores del sistema de ponderación adaptados para cada variable

Esquema de ponderación para el Año Meteorológico Típico										
Tmax	Tmin	Tprom	RHmax	RHmin	RHprom	Viento	Heliofania	Precip	Evap	R global
0,04	0,05	0,09	0,04	0,04	0,08	0,08	0,04	0,01	0,04	0,5

Fuente: (Oko & Ostel., 2011)

Se obtuvieron valores de WS entre 0 y 1. Para configurar el AMT se seleccionaron los meses con el WS más cercano a 0; es decir, aquellos valores que presentaron un comportamiento más semejante al global de los datos mensuales analizados para cada región en particular.

Adicionalmente se hizo un análisis visual de las curvas de frecuencia acumulada (Facum) de las variables meteorológicas desde enero a diciembre de la Costa, Sierra y Oriente, por cada parámetro, para comprobar así la similitud entre el mes escogido y el comportamiento global meteorológico, como lo describe la metodología de Kalogirou (2003).

III. Evaluación de Resultados y Discusión

Los años seleccionados para el análisis de cada región, se definieron de acuerdo a la disponibilidad de registros en la base de datos meteorológicos del INAMHI. La ausencia importante de datos obligó a la selección de periodos diferentes para cada región. Además se trabajó con períodos anteriores al año 2000, ya que para años recientes solamente se pudo conseguir información incompleta de varios meses.

En las Tablas 3, 4 y 5, se presentan los valores WS mensuales con los que se generó el AMT para cada región.

La Tabla 3 indica el AMT para la Sierra. La estación M024 Ñaquito-Pichincha se repite durante seis meses del año, enero, febrero, abril, junio, noviembre y diciembre, mientras que la estación M004 Rumipamba-Salcedo-Cotopaxi, representa las características típicas de agosto. La estación M002 La Tola-Pichincha representa a mayo, julio y agosto; y la estación M003 Izobamba-Pichincha, representa a marzo y septiembre.

La Tabla 4 indica el AMT para la Costa. La estación M179 Arenillas representa a las condiciones climáticas de enero, junio, agosto, septiembre y octubre, la estación M006 Pichilingue-Los Ríos, representa a febrero, marzo, julio y noviembre; y la estación M209 Alluriquín INECEL- Santo Domingo de los Tsáchilas, representa a abril, mayo y diciembre.

La Tabla 5 presenta el AMT para el Oriente. La estación M007 Nuevo Rocafuerte-Orellana, representa a las condiciones climáticas de enero, marzo, abril, junio, octubre y diciembre, mientras que la estación M189 Gualaquiza Inamhi- Morona Santiago, representa a febrero, mayo, julio, agosto, septiembre y noviembre. Se excluyó a la estación Yanzatza-Zamora Chinchipe (M190), ya que al tener características climáticas diferentes, comparadas con las otras dos estaciones seleccionadas, no tuvo la representatividad deseada para ser incluida en el AMT del Oriente. Un enfoque similar

fue utilizado por Zang, Xu, Du, e Ichiyanagi (2012), al seleccionar solo ciertas estaciones para la generación del AMT, debido a la falta de representatividad de los datos.

Tabla 3. Estaciones escogidas para el Año Meteorológico Típico de la Región Sierra

Año Típico Meteorológico de la Región Sierra												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Estación	M024	M024	M003	M024	M002	M024	M002	M004	M003	M002	M024	M024
Año	1990	1996	1990	1989	1991	1989	1992	1988	1993	1988	1989	1996
Valor WS	0,148	0,136	0,146	0,128	0,146	0,131	0,151	0,143	0,141	0,125	0,135	0,178

Tabla 4. Estaciones escogidas para el Año Meteorológico Típico de la Región Costa

Año Típico Meteorológico de la Región Costa												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Estación	M179	M006	M006	M209	M209	M179	M006	M179	M179	M179	M006	M209
Año	1983	1986	1986	1991	1991	1992	1982	1984	1989	1982	1992	1991
Valor WS	0,251	0,178	0,214	0,243	0,237	0,191	0,216	0,231	0,270	0,254	0,180	0,214

Tabla 5. Estaciones escogidas para el Año Meteorológico Típico de la Región Oriente

Año Típico Meteorológico de la Región Oriente												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Estación	M007	M189	M007	M007	M189	M007	M189	M189	M189	M007	M189	M007
Año	1991	1995	1994	1998	1990	1991	1990	1990	1998	1990	1996	1998
Valor WS	0,159	0,180	0,177	0,185	0,167	0,163	0,143	0,154	0,161	0,143	0,150	0,142

Se procedió a realizar una comparación visual de las frecuencias acumuladas (Facum) de todos los parámetros analizados desde enero a diciembre tanto de la Costa, Sierra y Oriente, obteniéndose un total de 180 curvas comparativas (no mostradas).

Se observó que existe una Facum específica que se acerca más a la Facum global para cada curva analizada. En la Figura 2, la estación M003 (Facu90-M003), se asemeja al comportamiento de la Facum global de la temperatura media en la Sierra. En la Figura 3, la estación M179 (Facu83M179), se asemeja al comportamiento de la Facum global del viento en la Costa. En la Figura 4, la estación M189 (Facu95M189), se asemeja al comportamiento de la Facum global de la precipitación en el Oriente.

Las estaciones identificadas visualmente son las mismas que se definieron mediante el método Sandía Revisado, lo que se comprueba que la Facum más cercana al comportamiento global mensual corresponde al WS más cercano a 0.

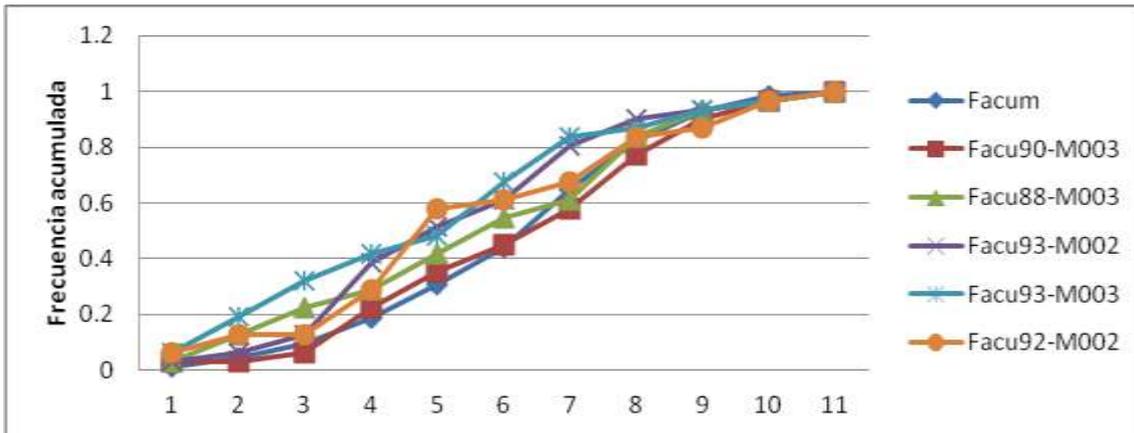


Figura 2. Comparación de las frecuencias acumuladas de marzo con la temperatura media en la Sierra

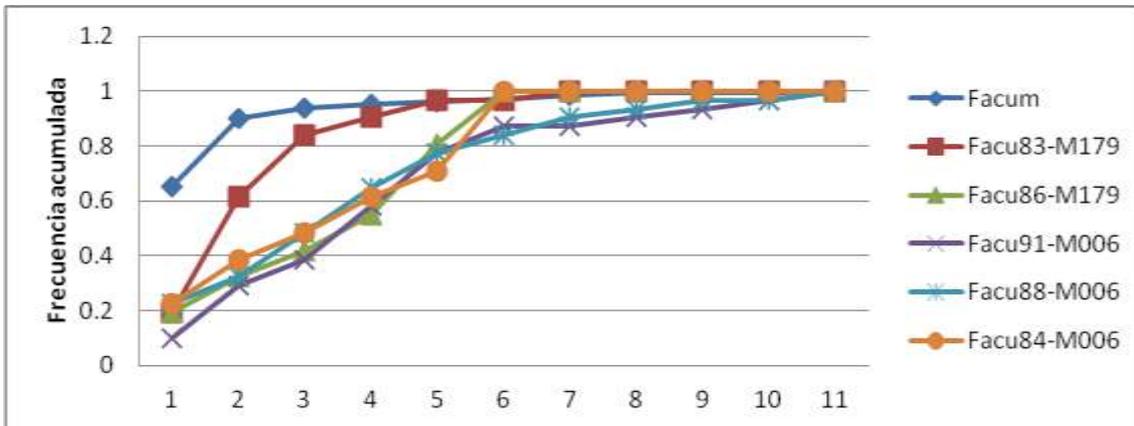


Figura 3. Comparación de las frecuencias acumuladas de enero con el viento en la Costa

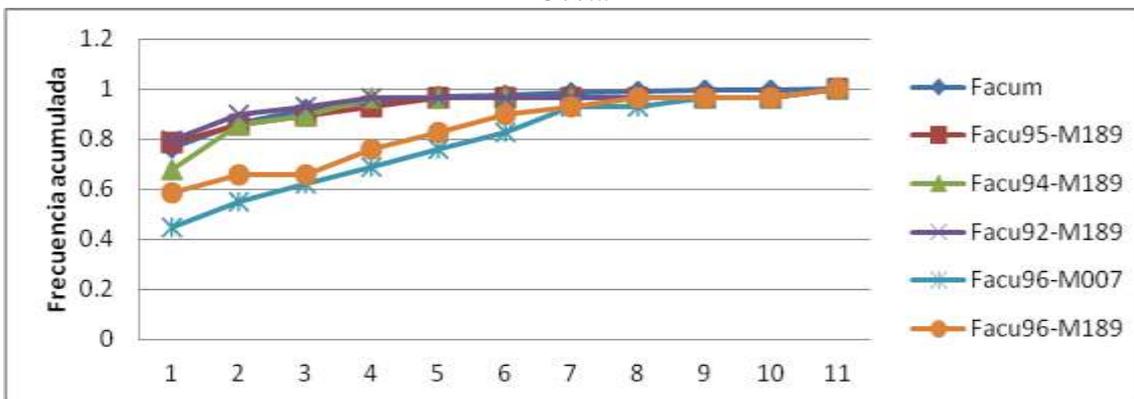


Figura 4. Comparación de las frecuencias acumuladas de febrero con la precipitación en el Oriente

Trabajos relacionados

Hall, I., Prairie, R., Anderson, H., & Boes, E. (1978). Generation of a typical meteorological year. California.

Janjai, S., & Deeyai, P. (2009). Comparison of methods for generating typical meteorological year using meteorological data from a tropical environment. *Applied Energy*, 86, 528-537.

Kalamees, T., & Kurnitski, J. (2005). Estonian test reference year for energy calculations. *Estonian Journal of Engineering*, 12, 40-58.

Kalogirou, S. (2003). Generation of typical meteorological year (TMY-2) for Nicosia, Cyprus. *Renewable Energy*, 28, 2317–2334.

Kamal, S., & Abdul, B. (2009). A software tool for the creation of a typical meteorological year. *Renewable Energy*, 34, 544–554

Oko, C., & Ostel., O. (2011). Generation of a typical meteorological year for port harcourt zone. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2, 204 – 214.

Skeiker, K., & Ghani, B. (2008). A software tool for the creation of a typical meteorological year. *Renewable Energy*, 34, 544-554.

Vertacnik, G. (2008). Test reference year. Eslovenia: Environmental Agency of the Republic of Slovenia.

Zang, H., Xu, Q., Du, P., & Ichiyanagi, K. (2012). A Modified Method to Generate Typical Meteorological Years from the Long-Term Weather Database. *International Journal of Photoenergy*, 2012(10), 1-9.

Los trabajos nombrados anteriormente ayudaron a una mejor comprensión del método a utilizarse.

IV. Conclusiones

La estación que mejor representa a la Sierra es la M024 que corresponde a Ñaquito, durante el período 1986-1996, ubicada en la provincia de Pichincha, ya que tiene las características climáticas más similares a esta región.

En la Costa, durante el período 1982-1992, la estación que mejor representa las características climáticas de dicha región es la M179 que corresponde a Arenillas, ubicada en la provincia de El Oro, en cambio que en el Oriente, durante 1988-1998, la estación más representativa es la M189 que corresponde a Nuevo Rocafuerte, ubicada en la provincia de Orellana.

Se obtuvieron configuraciones diferentes del AMT, una para cada región.

El enfoque aplicado puede servir para generar un AMT de mayor representatividad, incluyendo registros de años recientes y de estaciones adicionales.

La aplicación de los AMT para cada región, permitirá aplicar a futuro modelos numéricos meteorológicos más avanzados, para obtener mapas de alta resolución espacial de las variables atmosféricas, que sean representativas para cada región ecuatoriana.

Agradecimientos

El agradecimiento de los maestrantes hacia el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), por el uso de sus datos, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial por patrocinar el presente estudio y al Dr. René Parra, director de la investigación.

Referencias Bibliográficas

Alea, M. (2001). *Estadística con SPSS v10.0*. Barcelona: Universitat Barcelona.

Alvarado, J. (2008). *Fundamentos de inferencia estadística*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Calderón, M. (2010). *Modelo Conceptual del Acuífero del Río de Olón*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Hall, I., Prairie, R., Anderson, H., & Boes, E. (1978). *Generation of a typical meteorological year*. California.

INAMHI. (2009). *Meteorología Básica*. Recuperado el 08 de 10 de 2012, de <http://186.42.174.237/educativa/meteorologia.htm>

- Janjai, S., & Deeyai, P. (2009). Comparison of methods for generating typical meteorological year using meteorological data from a tropical environment. *Applied Energy*, 86, 528-537.
- Kalamees, T., & Kurnitski, J. (2005). Estonian test reference year for energy calculations. *Estonian Journal of Engineering*, 12, 40-58.
- Kalogirou, S. (2003). Generation of typical meteorological year (TMY-2) for Nicosia, Cyprus. *Renewable Energy*, 28, 2317–2334.
- Kamal, S., & Abdul, B. (2009). A software tool for the creation of a typical meteorological year. *Renewable Energy*, 34, 544–554.
- Lerum, V. (2008). *High-performance building*. California: John Wiley and Sons.
- Oko, C., & Ostel, O. (2011). Generation of a typical meteorological year for port harcourt zone. *Journal of Engineering Science and Technology*, 204 – 214.
- Ruiz de Adana, M. (2002). *Aplicación de la dinámica de fluidos computacional al control de las mermas de vino en naves de crianza climatizadas*. Logroño: Universidad de la Rioja.
- Skeiker, K., & Ghani, B. (2008). A software tool for the creation of a typical meteorological year. *Renewable Energy*, 34, 544-554.
- Valverde, T., & Cano, Z. (2005). *Ecología y Medio Ambiente*. Mexico: Pearson Educación.
- Vargas, M. (2008). *Ecología y Biodiversidad Del Ecuador*. Quito: BPR Publishers.
- Vertacnik, G. (2008). *Test reference year*. Eslovenia: Environmental Agency of the Republic of Slovenia.
- Zang, H., Xu, Q., Du, P., & Ichiyanagi, K. (2012). A Modified Method to Generate Typical Meteorological Years from the Long-Term Weather Database. *International Journal of Photoenergy*, 2012(10), 1-9.