

Perspectivas del Cambio Climático a Nivel Global y Local¹

Alfonso Pino Graell (Universidad de Panamá)²

Resumen.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el actual Cambio Climático ha sido causado por nuestra Civilización Tecnológica. Su alta tasa de avance se debe al aumento en la concentración de CO₂, en la estratosfera, como resultado de la utilización, a gran escala, de los combustibles fósiles, así como también de un mal uso de los suelos y de la deforestación masiva. Este trabajo describe la evolución del Cambio Climático tanto a escala global como local. Para estudiar el avance de este fenómeno en Panamá se estudiaron series temporales (30 años de datos) de temperatura mínima correspondientes a cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en la península de Azuero. Las estaciones cuyos datos fueron analizados son las de Pedasí, Tonosí, Chepo y Divisa. El análisis de la serie temporal de temperatura mínima de dichas estaciones muestra una tendencia de aumento sostenido de esta variable meteorológica.

Palabras Claves: Cambio Climático, efecto invernadero, dióxido de carbono, serie temporal, tendencia de temperatura

Abstract: According with the Intergovernmental Panel of Climate Change, the ongoing Climate Change has been caused by our own Technological Civilization. Its high rate of progress is due to the increase in the concentration of CO₂, in the stratosphere, as a result of the large-scale use of fossil fuels, as well as the misuse of soils and massive deforestation. This work describes the evolution of Climate Change both globally and locally. In order to study the progress of this phenomenon in Panama, temporary minimum temperature series (30 years of data) were studied, corresponding to four meteorological stations located in the Azuero Peninsula. The stations whose data were analyzed are those of Pedasi, Tonosi, Chepo and Divisa. The analysis of the temporary temperature series of those stations shows a tendency of sustained increase of this meteorological variable.

Keywords: Climate Change, greenhouse effect, carbon dioxide, time series, temperature trend

1. Recepción 1/9/2017 Aprobación 28/10/2018

2. Profesor e investigador, Universidad de Panamá

Introducción

La atmósfera terrestre desempeña un papel fundamental en el clima de nuestro planeta. El **dióxido de carbono**, uno de los gases que forman parte de dicha atmósfera, **absorbe** gran parte de la **radiación infrarroja térmica o de onda larga** (calor) emitida por la Tierra y la **reenvía** hacia la **superficie del planeta**. Este fenómeno se conoce con el nombre de **efecto invernadero**. Los gases que poseen esta capacidad de absorción y reemisión de radiación infrarroja térmica se conocen como **gases de invernadero**. Entre ellos, los más importantes son el **dióxido de carbono**, el **vapor de agua**, el **metano** y el **óxido nítrico**. Si en la atmósfera terrestre no hubiese gases de invernadero, la temperatura promedio de la superficie de nuestro planeta sería, en promedio, de **- 18°C**. Sería una **temperatura tan baja** que sería **poco probable la existencia de organismos multicelulares**. Durante millones de años, la concentración de gases de invernadero y, particularmente, de dióxido de carbono, se había mantenido estable, de forma tal que la temperatura media de la superficie de nuestro planeta se había conservado dentro de límites tolerables para la vida multicelular. El Grupo Internacional de Química Atmosférica de la ONU (IGAC, por sus siglas en inglés) ha formulado el siguiente comentario (Mitra, 2010):

“La historia de la importancia de la química atmosférica se inicia con el origen y evolución de la vida sobre la Tierra. La acumulación de gases de invernadero en la atmósfera de la Tierra pre-biótica permitió que las temperaturas superficiales se mantuviesen por encima del punto de congelamiento del agua. Las reacciones químicas entre compuestos de carbono, hidrógeno y nitrógeno en la “sopa primordial” de la que se originó la vida, condujeron a la formación de moléculas auto-replicas y, hace unos 400 millones de años, la elevación de la concentración de oxígeno atmosférico condujo a la formación de la capa de ozono estratosférico, la cual comenzó a proteger, de la letal Radiación Ultravioleta B, a los organismos vivientes que emergían de los océanos”.

Nuestro planeta ha experimentado numerosos cambios climáticos a lo largo de su historia geológica. El astrofísico serbio Milutin Milankovich encontró una correlación entre tales cambios climáticos y diversos parámetros astronómicos relacionados con los movimientos de rotación y de traslación de la Tierra, tales como la excentricidad de la órbita terrestre, la inclinación del eje de rotación de la Tierra y la precesión de los equinoccios. Entre dichos cambios climáticos también se encuentran los períodos glaciares e interglaciares que ha experimentado nuestro planeta. A estos procesos cíclicos de variaciones del clima terrestre, los cuales ocurren en intervalos de tiempo de centenares de miles de años, se les ha denominado **Ciclos de Milankovich**.

En el modelo de Milankovich, las variaciones que sufren esos parámetros astronómicos

a lo largo de centenares de miles de años, dan origen a cambios en la irradiación solar que recibe nuestro planeta. Dichas fluctuaciones de irradiación solar generan modificaciones en el clima terrestre. El Cambio Climático que se encuentra en pleno curso, actualmente, se inició hace unos 250 años, aproximadamente, con el devenir de la Revolución Industrial. Esta última modificación del clima terrestre no ha sido causada por variaciones en parámetros astronómicos, cuya evolución es muy lenta. Como ya fue señalado, anteriormente, el actual Cambio Climático es de origen antropogénico.

La rápida evolución del actual Cambio Climático se encuentra ligada al hecho de que el origen de este fenómeno es antropogénico. Durante todo el período Holoceno, la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se mantuvo estable en 280 ppm. A partir de la Revolución Industrial, que se inició en la segunda mitad del siglo XVIII, la concentración de este gas inició un ciclo de vertiginoso crecimiento, generando un gradual incremento en la temperatura global. Dicho incremento de temperatura afecta tanto a la atmósfera como a los océanos del planeta. Sin embargo, se ha observado que el calentamiento oceánico es superior al atmosférico. Este comportamiento posee múltiples efectos negativos, no sólo en lo concerniente a la afectación de los recursos pesqueros sino también en lo relativo al propio avance del Cambio Climático. Al aumentar la temperatura de los océanos del planeta, aumenta la evaporación. Por tanto, mayor cantidad de vapor de agua es transferida a la atmósfera (particularmente a la troposfera superior y de allí a la estratosfera). Pero sucede que el vapor de agua es también un gas de invernadero cuyo potencial de calentamiento es muy superior al del dióxido de carbono. En consecuencia, el vapor de agua que pasa a la estratosfera contribuye a incrementar aún más la temperatura del planeta. Este fenómeno se conoce como ciclo de retroalimentación positiva.

De acuerdo con el **Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)**, por sus siglas en inglés), organismo creado por la Organización Meteorológica Mundial y por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, los términos “**Cambio Climático**”, se refieren a **cualquier modificación, en el comportamiento, a largo plazo, de los parámetros meteorológicos**. Dicha modificación puede ser causada tanto por una variabilidad natural como por el resultado de la actividad humana.

Como ya ha sido señalado, el acelerado Cambio Climático que experimenta nuestra civilización tecnológica es de origen **antropogénico**. Nosotros, los seres humanos, somos los responsables de este grave fenómeno.

Causa del Cambio Climático

La concentración atmosférica global de dióxido de carbono ha aumentado desde **280 partes por millón** (ppm), valor de referencia antes de la **Era Industrial**, hasta **410**

partes por millón (ppm), que, de acuerdo con la **Administración Atmosférica y Oceanográfica Nacional** de los Estados Unidos (**NOAA**, por sus siglas en inglés), es el valor registrado en su Laboratorio de referencia ubicado en el Mauna Loa, Hawai, en mayo de 2017. Estas cifras indican que la concentración de dióxido de carbono ha experimentado un incremento de **46,4 %** desde la Era Pre-Industrial. El desmesurado incremento que sufre este gas de invernadero, a causa de la actividad humana, está generando un rápido crecimiento de la temperatura tanto a nivel de la atmósfera como a nivel de los océanos de nuestro planeta. A este aumento de temperatura se le ha denominado “**calentamiento global**”. El **V Informe de Evaluación** presentado por el **Panel Intergubernamental de Cambio Climático**, en marzo de 2014, concluye “más allá de toda duda razonable, que el clima de la Tierra se está calentando” (Quinto Informe de Evaluación del IPCC, 2014). Desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos milenios. Desde mediados del siglo XIX, el aumento promedio de la temperatura de la superficie terrestre ha sido de 0,85 °C. Sin embargo, en el caso de América Latina, se ha logrado establecer que el aumento de temperatura ha sido aún más dramático. A lo largo de toda la región, con excepción de Chile, se registró un aumento de temperatura que fluctúa entre 0,7°C y 1,0°C desde la década de 1970. Se ha observado un aumento en las temperaturas extremas en América Central, así como también en la mayor parte de la zona tropical y subtropical de América del Sur. El citado informe del IPCC también señala que se ha logrado cuantificar una tendencia en lo referente al aumento en la precipitación anual para el sureste de América del Sur, mientras que en América Central se ha observado un descenso en la precipitación anual. Estos cambios en los patrones de precipitación que se registran en este vasto continente, tendrán un impacto negativo en lo concerniente a la producción de granos y, como consecuencia de ello, en la **seguridad alimentaria** para los habitantes de esta región del planeta.

En lo relativo a los ecosistemas de América Latina, también se observa una grave afectación y degradación de los mismos, lo cual ejerce un impacto negativo directo sobre la biodiversidad. Cabe señalar que América Latina alberga las mayores zonas de diversidad biológica del planeta, incluida la Amazonía. “La degradación de los ecosistemas naturales es la principal causa de pérdida de la biodiversidad en la región y es el segundo factor responsable del Cambio Climático inducido por el hombre ya que representa de 17% a 20% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero durante la década de 1990. El Cambio Climático también está alterando los ecosistemas costeros y marinos. Un ejemplo de ello es la degradación de los manglares como consecuencia del Cambio Climático, que se observa en la costa norte de América del Sur” (Quinto Informe de Evaluación del IPCC, 2014).

Efectos del Cambio Climático a Escala Global

De acuerdo con el Quinto informe presentado por el IPCC, en marzo de 2014, los efectos más significativos del Cambio Climático, algunos de los cuales ya comienzan a observarse, son los siguientes:

- Aumento en la temperatura global de los océanos, hasta profundidades de, por lo menos, 3000 metros.
- En el caso de América Latina, las proyecciones climáticas indican aumentos de temperatura para 2100. En el caso de escenarios de emisiones de CO₂, medias y altas, el calentamiento varía de +1,6°C a +4,4°C, en América Central y de +1,7°C a 6,7°C en América del Sur.
- Retiro generalizado de los glaciares pertenecientes a las cadenas montañosas tanto en el hemisferio norte como en el sur.
- **Disminución** en el espesor y en la **extensión** de los **casquetes polares**. Desde 1992 hasta el 2005, los casquetes polares redujeron su espesor en un **40 %** y su extensión, en un **20 %**.
- Aumento en el nivel de los océanos, a escala global. El nivel medio de los océanos se ha incrementado a un ritmo promedio de **3,1 milímetros por año** entre 1993 y 2003. Esta tasa de crecimiento podría acelerarse a **5 milímetros por año**, lo cual representaría un aumento global en el nivel de los océanos, del orden de **25 centímetros** para el año **2050**.
- **Intensas y prolongadas sequías** en las regiones tropicales y subtropicales. El aumento en la frecuencia de los episodios de sequía en estas regiones, el cual ha sido observado desde 1970, es causado por el incremento en la temperatura superficial del mar y por cambios en los patrones de viento. Se pronostica una **disminución significativa** en los **niveles de precipitación pluvial**, en las zonas ubicadas en los **trópicos**.
- Aumento en la frecuencia de intensas precipitaciones en las regiones correspondientes a latitudes medias y altas.
- Aumento en la frecuencia e intensidad de inviernos rigurosos en el hemisferio norte. Ello se debe al debilitamiento del vórtice polar estratosférico en el ártico, a causa del aumento de las temperaturas superficiales en dicha región. El debilitamiento del vórtice en mención permite irrupciones gélidas en Europa durante el invierno.
- Aumento en la actividad de los ciclones tropicales en el Caribe y en el Atlántico. Este fenómeno se encuentra correlacionado con el incremento en la temperatura superficial del mar.
- Aumento de la **variabilidad climática**. Este efecto implica un crecimiento en la frecuencia de **eventos extremos** tales como lluvias de gran intensidad, con las consiguientes **inundaciones**.
- Aumento en la concentración atmosférica de **metano**, gas, cuyo **potencial de in-**

vernadero es 23 veces superior al del **dióxido de carbono**. Bajo los suelos árticos y boreales se encuentran vastas reservas de carbono orgánico, en forma de metano (CH₄). Al empezar a derretirse el “**permafrost**” de dichos suelos, el metano, que se encontraba atrapado bajo la capa en mención, está siendo liberado, paulatinamente, a la atmósfera terrestre. De este modo, se ha iniciado un ciclo de **retroalimentación positiva** que agravará aún más el calentamiento oceánico y atmosférico.

- Aceleración del ritmo de reproducción de los insectos. Los insectos portadores de enfermedades infecciosas (dengue, malaria, fiebre amarilla) tenderán a propagarse hacia latitudes más altas y hacia sitios de mayor elevación.
- Desaparición de numerosas especies vegetales y animales.

Metodología

Una serie temporal es un conjunto de observaciones de una variable, las cuales son efectuadas de forma secuencial en el tiempo. En dicho conjunto, el orden de observación es importante. Los valores de una serie temporal van ligados a instantes de tiempo, de forma tal que el análisis de una serie implica el manejo conjunto de dos variables: a) la variable de estudio, propiamente dicha; b) la variable tiempo. Las series pueden poseer una periodicidad anual, semestral, trimestral, mensual, etc., según los períodos de tiempo en que sean recogidos los datos que la componen.

El análisis de series temporales presenta un conjunto de técnicas estadísticas que permiten, además de estudiar y modelar el comportamiento de un fenómeno que evoluciona a lo largo del tiempo, efectuar predicciones de los valores que se alcanzarán en el futuro.

Con el análisis de una serie temporal se pretende extraer las regularidades que se observan en el comportamiento pasado de la variable, de forma tal que se logre obtener el mecanismo que genera dicha serie y, de este modo, predecir la evolución de tal variable con el tiempo (Wilks, 2006).

Una de las variables meteorológicas que presenta una mayor sensibilidad a la evolución del Cambio Climático es la temperatura mínima. La tendencia que experimente dicha variable, a lo largo del tiempo, permite cuantificar la tasa o ritmo de avance de este grave fenómeno. Por tal razón se analizaron series temporales de temperatura mínima correspondientes a cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en la península de Azuero. Dichas estaciones se encuentran en Chepo (Herrera), Pedasí, Tonosí y Divisa. De acuerdo con normativas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el estudio de series temporales de variables meteorológicas, de las cuales se puedan obtener tendencias que permitan efectuar predicciones, requiere un mínimo de 30 años de datos. Por tal razón, se llevó a cabo un análisis estadístico de la variable temperatura mínima en las estaciones antes mencionadas con series temporales de datos obtenidos de 1980 a

2009 (30 años de datos). Dichos datos fueron proporcionados por el Departamento de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA). Se eligió el análisis de la variable en mención para estaciones de ETESA ubicadas en las provincias de Herrera y Los Santos por cuanto que estas provincias forman parte del denominado Arco Seco, el cual, hasta el momento, constituye la zona del país más impactada por el avance del Cambio Climático, así como también por episodios de sequía causados por sucesivos eventos El Niño.

Dependiendo del fenómeno que se esté estudiando, es posible notar comportamientos en la variable que se repiten a intervalos cortos y, en ocasiones, más extensos. Esto implica que es factible descomponer la serie y modelar sus componentes mediante métodos descriptivos o bien, mediante técnicas inferenciales. La forma clásica de descomponer las variaciones en una serie temporal es mediante su tendencia (T_t), su estacionalidad (S_t), sus cambios cíclicos (C_t) y un remanente constituido por un componente aleatorio (I_t), (Rodríguez y LLasat, 1994).

En una serie temporal, la tendencia es la componente que muestra cómo evoluciona el comportamiento de la misma. La tendencia tiene que ver con la variación, a largo plazo, del promedio de la serie. La serie temporal podría tener una tendencia ascendente, descendente o estacionaria, de forma lineal o curva. Es importante enfatizar que para estudiar dicho comportamiento, es necesario utilizar un intervalo de tiempo extenso, cuyo mínimo corresponda a 30 años, según el criterio establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). De no adoptarse tal criterio, los resultados no serían representativos y podrían estar sesgados.

En toda serie temporal, la estacionalidad se encuentra constituida por las oscilaciones o fluctuaciones en torno a una tendencia, con una periodicidad inferior a un año. La estacionalidad (S_t) de la serie se encuentra representada por el desarrollo periódico de la misma. En climatología, dicho desarrollo es un efecto de las estaciones del año. En términos generales, si el dominio temporal de la serie se encuentra dado en meses, su estacionalidad estará dada por períodos menores o iguales a 12 meses.

Existen diversos métodos que permiten obtener la tendencia de una serie temporal. Entre ellos se encuentran el uso de filtros tales como el de Hodrick – Prescott o el de Medias Móviles (Urriola, A., Lucero, E., 2011), así como también el uso de ajustes de tipo lineal, polinomial o logarítmico. Para la determinación de la tendencia en las series temporales de temperatura mínima correspondientes a las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente, se utilizó un ajuste lineal, el cual fue obtenido mediante el método de los mínimos cuadrados.

Resultados y Discusión

Las series temporales de temperatura mínima correspondientes a las estaciones de Chepo, Pedasí, Tonosí y Divisa fueron analizadas a fin de obtener el comportamiento de la temperatura mínima y las tendencias de dicha variable meteorológica.

La estación de Chepo se encuentra ubicada en la provincia de Herrera. Sus coordenadas geográficas son: 7° 11' de latitud norte, 80° 50' de longitud oeste, 680 msnm de elevación. Dicha estación pertenece a una zona climática Ami la cual se define como clima tropical húmedo con una precipitación anual superior a los 2500 mm (clasificación de Köppen; Ahrens 2009).

En la fig. 1 se presenta el comportamiento de la Temperatura Mínima vs Tiempo, a lo largo de 30 años de medición (1980 - 2009) correspondiente a la estación de Chepo. Superpuesta a la gráfica antes mencionada se observa la gráfica de la tendencia de la mencionada variable meteorológica. La tendencia de la temperatura mínima, obtenida mediante un ajuste lineal, es positiva, lo cual indica que en el intervalo de tiempo considerado, dicha variable ha ido aumentando. En la parte superior de la gráfica se indican los valores de las constantes de la función lineal.

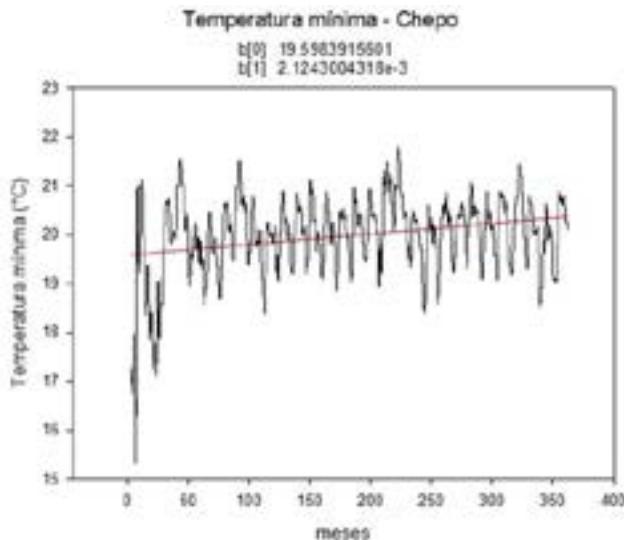


Fig. 1: Comportamiento de la Temperatura Mínima – Chepo

La estación de Pedasí se encuentra ubicada en la provincia de Los Santos. Sus coordenadas geográficas son 7 ° 31' de latitud norte, 80° 01' de longitud oeste y 47 msnm de

elevación. Dicha estación pertenece a una zona climática Awi, la cual se define como clima tropical de sabana con una precipitación anual inferior a 2500 mm (clasificación de Köppen). La precipitación anual media (media de 30 años) en la mencionada estación es muy inferior a la cota máxima de 2500 mm que corresponde a una zona climática Awi. En la fig. 2 se presenta el comportamiento de la Temperatura Mínima vs Tiempo, a lo largo de 30 años de medición (1980 - 2009) correspondiente a la estación de Pedasí. Superpuesta a la gráfica antes mencionada se observa la gráfica de la tendencia de la mencionada variable meteorológica. La tendencia de la temperatura mínima, obtenida mediante un ajuste lineal, es positiva, lo cual indica que en el intervalo de tiempo considerado, dicha variable ha ido aumentando. En la parte superior de la gráfica se indican los valores de las constantes de la función lineal.

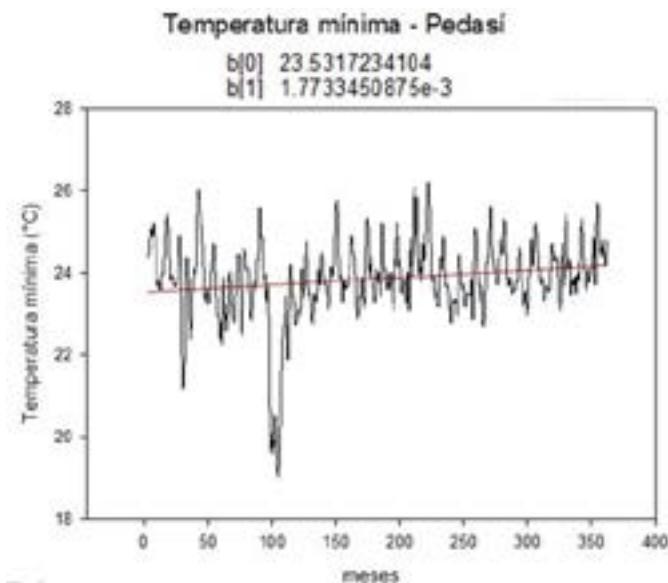


Fig. 2: Comportamiento de la temperatura mínima – Pedasí

La estación de Tonosí se encuentra ubicada en la provincia de Los Santos, al sureste de la península de Azuero. Sus coordenadas geográficas son 7° 24' de latitud norte, 80° 27' de longitud oeste y 12 msnm de elevación. La mencionada estación pertenece a una zona climática Awi, que, como ya fue planteado, es característica de un clima tropical de sabana, de acuerdo con la clasificación de Köppen. Al igual que la estación de Pedasí, la precipitación anual media (media de 30 años) en Tonosí es muy inferior a la cota máxima de 2500 mm que corresponde a una zona climática Awi.

En la fig. 3 se presenta el comportamiento de la Temperatura Mínima vs Tiempo, a lo

largo de 30 años de medición (1980 - 2009) correspondiente a la estación de Tonosí. Superpuesta a la gráfica antes mencionada se observa la gráfica de la tendencia de la mencionada variable meteorológica. Al igual que en las estaciones de Chepo y de Pedasí, la tendencia de la temperatura mínima, obtenida mediante un ajuste lineal, es positiva, lo cual indica que en el intervalo de tiempo considerado, dicha variable ha ido aumentando. En la parte superior de la gráfica se indican los valores de las constantes de la función lineal.

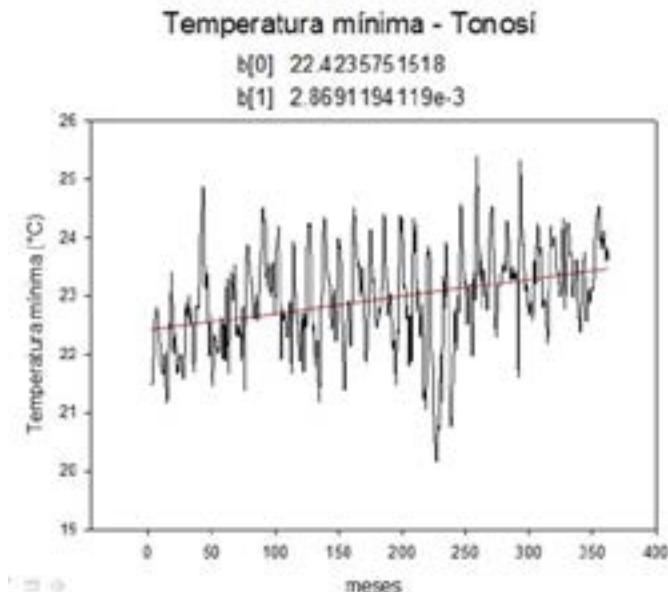


Fig. 3: Comportamiento de la temperatura mínima – Tonosí

La estación de Divisa se encuentra ubicada al norte de la provincia de Herrera. Sus coordenadas geográficas son 8° 06' de latitud norte, 80° 41' de longitud oeste y 12 msnm. La estación en mención pertenece a una zona climática Ami.

En la fig. 4 se presenta el comportamiento de la Temperatura Mínima vs Tiempo, a lo largo de 30 años de medición (1980 - 2009) correspondiente a la estación de Divisa. Al igual que en las estaciones de Chepo, Pedasí y Tonosí, la tendencia de la temperatura mínima correspondiente a la estación de Divisa, obtenida mediante un ajuste lineal, es positiva, lo cual indica que en el intervalo de tiempo considerado, dicha variable ha ido aumentando. En la parte superior de la gráfica se indican los valores de las constantes de la función lineal.

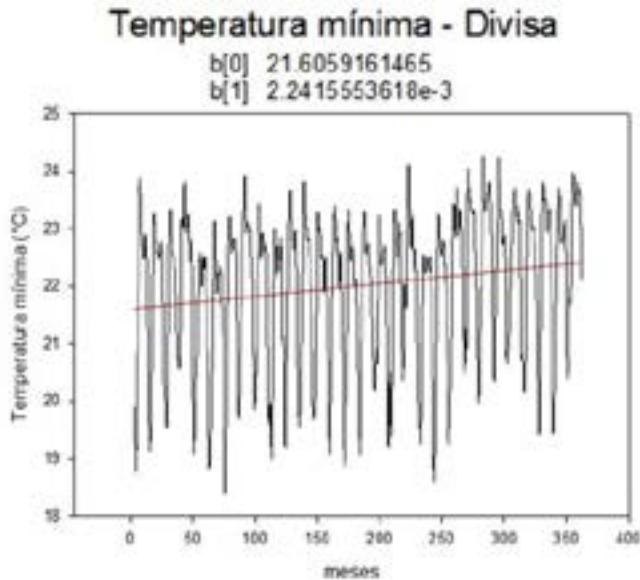


Fig. 4: Comportamiento de la temperatura mínima – Divisa

Utilizando las pendientes correspondientes a las tendencias lineales de las temperaturas mínimas registradas en las estaciones del Arco Seco, cuyos datos fueron analizados en el presente estudio, se puede efectuar una extrapolación que nos permite estimar el aumento de temperatura mínima en dicha región, durante las próximas décadas. La **Tabla N° 1**, muestra las proyecciones de la temperatura mínima para las décadas de **2020, 2030, 2040 y 2050**.

TABLA N° 1: PROYECCIONES DE TEMPERATURA MÍNIMA

Aumento de temperatura mínima dentro de 10 a 40 años (en °C)				
Estaciones	2020	2030	2040	2050
Chepo	+0,25	+0,49	+0,74	+0,99
Divisa	+0,25	+0,49	+0,74	+0,98
Pedasi	+0,27	+0,53	+0,80	+1,06
Tonosí	+0,35	+0,70	+1,05	+1,40

Mediante el análisis de las tasas de incremento de la temperatura mínima, las zonas de la península de Azuero en las cuales el Cambio Climático avanza con mayor celeridad, en lo relativo a la variación de temperatura mínima, son Pedasí y Tonosí. No obstante, toda

la región de la península de Azuero está siendo afectada por un incremento de temperatura. Para el año 2010, en la península de Azuero se proyecta un aumento promedio en la temperatura mínima, de 1,11° C. Por otro lado, los niveles de precipitación acumulada anual media (promedio de 30 años) en las estaciones de Azuero cuyos datos fueron analizados son inferiores a la cota máxima de 2500 mm anuales que corresponden a una zona climática Awi (clima tropical de sabana). El caso más crítico se observó en las estaciones de Pedasí y Tonosí. En estas dos estaciones, la precipitación acumulada anual media, evaluada de 1980 a 2009 fue de sólo 1200 mm, lo cual representa un 48% de la cota máxima.

Cabe señalar que el área del Arco Seco representa el 51,5 % de la superficie de tierras secas y degradadas de la República de Panamá. “Las áreas identificadas como críticas, sujetos a procesos de degradación de suelos y sequía en la República de Panamá son: el Arco Seco, la Sabana Veragüense, el Corregimiento de Cerro Punta y la Comarca Ngöbe-Buglé, las cuales, en total, comprenden una superficie de 20 787,57 km²” (ANAM, 2004). Las altas temperaturas que se proyectan para el Arco Seco, así como también los bajos niveles de precipitación que se registran, históricamente, en esta región, contribuirán a profundizar la condición de tierras secas y degradadas que ya se observan en ella.

La tendencia positiva en la temperatura mínima no es homogénea en todas las regiones del planeta. No obstante, la tasa de incremento de esta variable atmosférica, obtenida en las estaciones de la península de Azuero que fueron estudiadas, es comparable a la que se ha registrado en otras latitudes. Se discutirá, como ejemplo, las tendencias observadas en la India, Vietnam y Malasia. El estudio de la tendencia en la temperatura mínima efectuado en la India, con los registros de temperatura de 90 años (1900 – 1989), dio como resultado una tendencia ascendente. Durante este período, la temperatura mínima en la India, ha ascendido +0,4° C. En Vietnam, del análisis de 60 años de datos (1926 – 1985) correspondiente a seis (6) estaciones meteorológicas, representativas de las dos zonas climáticas de dicho país, se obtuvo que en el norte del país no existe una tendencia estadísticamente significativa, mientras que en el sur, la tendencia es de +0,3 °C, en las dos últimas décadas. En Malasia, del análisis de los datos de temperatura mínima de once (11) estaciones meteorológicas, durante un período de 100 años (1900 – 1999) se encontró una tendencia ascendente de +0,8°C (O’Brian et al, 2004).

En el caso del Arco Seco, de continuar las tendencias observadas, las temperaturas mínimas aumentarán, en promedio, a razón de **+0,2 °C por década**.

La fig. 5 muestra el mapa de tierras secas y degradadas de la República de Panamá.

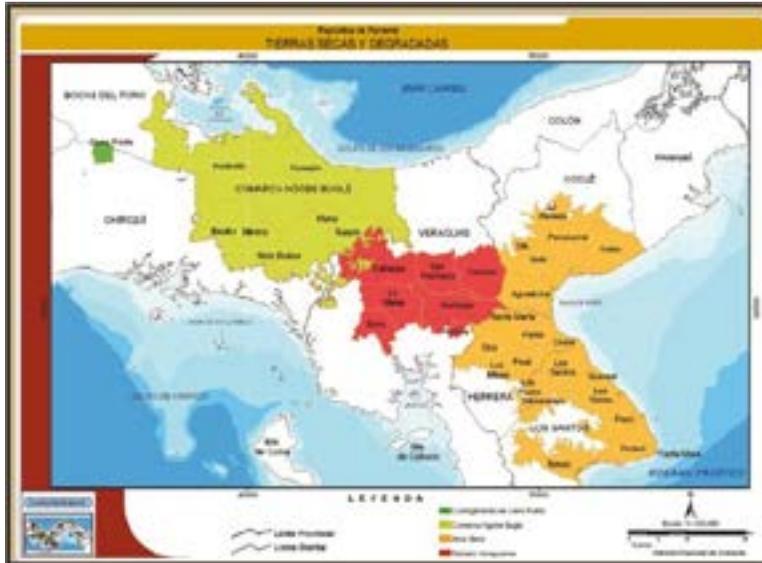


Fig. 5: mapa de tierras secas y degradadas

Conclusiones

- De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), la reforestación es el mecanismo más eficiente de mitigación del Cambio Climático, debido a la captura de CO₂ que efectúan las plantas.
- Los datos de temperatura mínima correspondientes a las estaciones de la península de Azuero ubicadas en Chepo, Tonosí, Pedasí y Divisa muestran que en el período comprendido entre 1980 y 2009, dicha variable meteorológica ha estado aumentando. Este hecho podría estar vinculado al avance del Cambio Climático en dicha región.
- Mediante las pendientes correspondientes a las tendencias lineales de las temperaturas mínimas registradas en las estaciones de Azuero mencionadas en el presente estudio, se efectuó una extrapolación, con el fin de estimar el aumento de temperatura mínima en dicha península para las décadas de 2020, 2030, 2040 y 2050. Los resultados se observan en la siguiente Tabla:

Aumento de temperatura mínima dentro de 10 a 40 años (en °C)	
2020	0,28
2030	0,55
2040	0,83
2050	1,11

- El aumento en las temperaturas que se proyecta para el Arco Seco en las próximas décadas, aunado a los bajos niveles de precipitación que se registran en esta región, agravarán las condiciones de tierras secas y degradadas que la caracterizan. Ello incidirá negativamente y, de modo significativo, en lo concerniente a la producción agropecuaria de esta zona y, por consiguiente, en la seguridad alimentaria de la República de Panamá.
- La tendencia ascendente en la temperatura mínima que se registra en las estaciones del Arco Seco que fueron analizadas es comparable a la que se ha observado en la India y en Vietnam, aunque con una pendiente ligeramente menor. El incremento en la temperatura mínima que se proyecta para el 2020 en el Arco Seco es de +0,28 °C mientras que, actualmente, para Vietnam existe un aumento en la temperatura mínima de 0,30 °C y para la India, actualmente, es de 0,40 °C.

Referencias

1. AHRENS, D., 2009. *Meteorology Today*. Brooks/Cole Cengage Learning, ninth Edition, 549 pp.
2. AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE, programa de Acción Nacional de Lucha contra la Sequía y la Desertificación, 2004.
3. MITRA, A.P., SHARMA, C., 2010. *Global Environmental Changes in South Asia: A Regional Perspective*. Capital Publishing Company, 257 pp.
4. O'BRIAN, K., LEICHENKO, R., KELKAR, U., VENEMA, H., AANDHAL, G., TOMPKINS, H., JAVED, A., BHADWAL, S., BARG, S., NYAARD, L., WEST, J. 2004. Mapping Vulnerability to Multiple Stressors: climate change and globalization in India. *Global Environmental Change*, Vol. 14, N° 4, pp. 303-313.
5. QUINTO INFORME DE EVALUACIÓN DEL PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC), 2014.
6. RODRÍGUEZ, R., LLASAT, M.C., 1994. Análisis de Series de Variables Meteorológicas, *Revista Perfiles Actuales de la Geografía Cuantitativa*, pp. 177 – 183.
7. URRIOLA, A., LUCERO, E., 2011. Caracterización de los Parámetros Atmosféricos en la Península de Azuero y su Posible Afectación a Causa del Cambio Climático. Tesis de grado para la Licenciatura en Física. Universidad de Panamá.
8. WILKS, D., 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press, 627 pp.