



Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.gesig-proeg.com.ar> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 9, Número 9, 2017, Sección I: Artículos. pp. 104-123

VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA AMBIENTE EN UNA ZONA DE TRANSICIÓN ECOLÓGICA: FACTORES Y PROCESOS QUE DETERMINAN SU COMPORTAMIENTO

Raúl Camacho Sanabria¹ - Miguel Ángel Balderas Plata² - José Manuel Camacho Sanabria¹ - Carlos Constantino Morales Méndez² - Marcela Sánchez López³

¹Facultad de Química, UAEM, México

r_3camacho@hotmail.com / jmanuelcs@live.com.mx

²Facultad de Geografía, UAEM, México

mabalderasp@uaemex.mx / carmomen2006@yahoo.com.mx

³Centro de Enseñanza de Lenguas (CELe), UAEM, México

marce_sl@yahoo.com

RESUMEN

El área de estudio se localiza al sur del municipio de Villa Guerrero, Estado de México. Es una localidad rural-campesina ubicada en una zona de transición ecológica. La presente investigación tiene por objetivo analizar la variabilidad espacio-temporal de la temperatura ambiente en el sur de Villa Guerrero (en la localidad de Progreso Hidalgo), así como los factores y procesos que determinan su comportamiento. Esto a través de la medición de fenómenos atmosféricos registrados durante trabajo de campo sobre las diferentes coberturas y usos del suelo que caracterizan a dicha localidad, y mediante datos mensuales y anuales de temperatura obtenidos de la estación meteorológica "Vivero La Paz". Los resultados muestran que durante el periodo 1961-2000 la temperatura media anual en la porción sur de Villa Guerrero incrementó 1.4 °C, mientras que las temperaturas medias mensuales máximas y mínimas aumentaron 1.2 y 1.9 °C, respectivamente. En Progreso Hidalgo las temperaturas máximas más altas se ubicaron en: a) la porción sur donde las altitudes son menores a 1 480 msnm, y b) en la porción noreste donde se concentra la mayor superficie de invernaderos (entre los 1 740 y 1 780 msnm). La variabilidad espacio-temporal en el sur de Villa Guerrero está condicionada por las actividades económicas que practican sus habitantes, principalmente la floricultura, y por el gradiente térmico vertical.

Palabras clave: Coberturas y usos del suelo, gradiente térmico, tasas anuales de cambio, variabilidad espacial, variabilidad temporal.

ABSTRACT

The area of study of this research is located in a region in the south of Villa Victoria, a town in the State of Mexico. This place is a rural land located in a zone of ecological transition. The main objective of this work is to analyze space-time variability of environment temperature in the south zone of Villa Guerrero (specifically in a community called Progreso Hidalgo), as well as the factors and processes that influence those changes. This was carried out by measuring different phenomena of certain covers and land usage that are typical in that region which were under study. In addition to this, monthly and annual temperatures from the meteorological station "Vivero La Paz" were used. The results of this study show that from 1961-2000 the annual temperature rate in the south area of Villa Guerrero had an increase of 1.4 °C, whereas the maximum and minimum temperatures raised between 1.2 and 1.9 °C respectively. The maximum temperatures registered in Progreso Hidalgo come from the following sectors: a) an area located in the south where altitude is below 1 480 masl and b) an area located in the north where there is a great number of greenhouses (between 1 740 and 1 780 masl). The space-time variability in the south of Villa Guerrero is determined by those activities performed by its inhabitants, mainly flower growing, and a vertical thermic gradient.

Key words: Covers and land usage, thermal gradient, annual rates of change, spatial variability, temporal variability.

INTRODUCCIÓN

La temperatura, indicador por antonomasia del estado del sistema climático, ha experimentado variaciones a lo largo de la existencia de nuestro planeta, presentando con ello derivas que han determinado vastos cambios del clima global (Sigró, 2004). Los cambios o diferencias (variabilidad) que registra la temperatura ambiente son resultado de múltiples factores. Su estudio requiere de la inclusión de las dimensiones espacial y temporal, razón por la cual conviene realizar investigaciones que consideren ambas dimensiones, sobre todo de manera conjunta. En este sentido, se puede hablar de variabilidad espacio-temporal de la temperatura ambiente.

Sarochar (2012) establece que existen distintos factores que condicionan o determinan la variabilidad en la temperatura, como la diferenciación diurna, la distribución latitudinal, la variación estacional, los tipos de superficie terrestre y la variación altitudinal. Por su parte, Morales et al. (2007), documentan que existen diversos problemas ambientales que están estrechamente relacionados con las variaciones climáticas, entre los cuales destacan la pérdida de la cobertura vegetal, producto de los cambios de uso del suelo¹; el abatimiento de los mantos freáticos; la expansión de la mancha urbana, a causa del crecimiento de la población que demanda espacios para vivienda y servicios; y la contaminación atmosférica, entre otros.

Las actividades económicas que practican las distintas sociedades del mundo juegan un papel importante en el deterioro ambiental. México, a partir del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) se insertó en una dinámica de competitividad económica, con la finalidad de impulsar un sistema agrícola comercial. En este contexto, a partir del año 2000 comenzó a ser notoria la presencia de sistemas agrícolas tecnificados controlados (invernaderos) con fines comerciales (orientados a la producción de hortalizas y flor de corte) en el Estado de

¹ Los cambios de cobertura y uso del suelo ocasionan variaciones en algunos elementos del clima, principalmente en la temperatura y precipitación. Esto conduce a cambios en los microclimas que caracterizan a un determinado espacio geográfico, y desde una perspectiva global, coadyuvan al cambio climático.

México (Vallejo et al., 2013). Esta actividad económica ha ocasionado severos cambios o transformaciones en los paisajes naturales y coberturas vegetales que caracterizan a esta entidad.

La instalación y funcionamiento de los invernaderos que se localizan en el Estado de México se ha llevado a cabo mediante la implementación de distintos programas gubernamentales. La Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO), por medio de la Dirección General de Agricultura y la Dirección de Cultivos Intensivos, implementó el programa construcción de invernaderos en la entidad mexiquense. Dicho programa en 2011 brindó apoyo para la construcción de 1 600 invernaderos, principalmente para la producción de flor de corte (Vallejo et al., 2013).

En algunas regiones del Estado de México, el desarrollo e implementación de sistemas agrícolas tecnificados controlados ya tenía precedentes. En el año de 1970, en la región poniente del territorio mexiquense se registró un incremento en la distribución espacial de invernaderos con fines comerciales, enfocados principalmente a la floricultura, viverismo y producción de hortalizas. De forma paralela, comenzaron a establecerse empresas especializadas en esta actividad económica, sobre todo en Villa Guerrero y otros espacios del país (FAO, 2000).

Actualmente, en Progreso Hidalgo, localidad del municipio de Villa Guerrero, la pérdida de la rentabilidad y la capacidad productiva agrícola está ocasionando un proceso de conversión en los sistemas de cultivo que caracterizan a este espacio geográfico, principalmente de agricultura tradicional a agricultura tecnificada controlada (invernaderos). Dicha transformación está enfocada al establecimiento, desarrollo y mecanización de productos con fines comerciales, provocando con ello severos impactos en los componentes del ambiente, sobre todo en el aire. Este proceso de conversión ha ocasionado variaciones en la temperatura ambiental.

Al considerar que la temperatura ambiente en Progreso Hidalgo es variable, es fundamental analizarla desde la perspectiva espacial y temporal. La primera es consecuente del proceso de conversión de los sistemas agrícolas que se ubican en la zona de estudio y la relación inversa que establece la altura sobre el nivel del mar y la temperatura del aire. Esto permite a las personas del común diferenciar las temperaturas más bajas a mayor altitud y las temperaturas más altas en zonas de menor altitud (Pabón et al., 2001). La segunda está relacionada con los diferentes factores, elementos y fenómenos atmosféricos (globales, regionales y locales) que ocurren, y de cierta forma, influyen y determinan las condiciones climáticas del área de estudio.

En la localidad de Progreso Hidalgo se han realizados distintas investigaciones, entre las cuales destacan: Manejo del agua en una comunidad de transición ecológica del Estado de México (Juan y Madrigal, 2004); Manejo del ambiente y riesgos ambientales en la región fresera del Estado de México (Juan, 2006); Agricultura tradicional y comercial en una zona de transición ecológica (Juan, 2007); Utilización del chapulxtle (*Dodonae viscosa*) en los procesos agrícolas de la comunidad de Progreso Hidalgo, Estado de México (Ramírez y Juan, 2008); La mujer campesina y el manejo de huertos. Una estrategia para la alimentación de las familias mexicanas (Juan et al., 2009); Grupos de ayuda mutua juvenil en la región fresera del subtrópico mexicano. Una estrategia para la subsistencia de las familias campesinas (Juan et al., 2011); Cambio de uso de suelo en una comunidad de transición ecológica. Progreso Hidalgo, Estado de México: impactos y consecuencias 2005-2010 (Ballesteros, 2013); Subsistencia familiar sustentada en el manejo de los recursos naturales y procesos agrícolas. El caso de una comunidad campesina del subtrópico mexicano (Juan, 2013); entre otros.

A pesar de que la comunidad de Progreso Hidalgo ha sido objeto de estudio de múltiples y diversas investigaciones, aún no existen estudios asociados con la variación climática y su relación con las actividades económicas que practican los habitantes de esta localidad, principalmente con la agricultura. El presente estudio tiene como principal propósito analizar la variabilidad espacio-

temporal de la temperatura ambiente en Progreso Hidalgo, así como los factores y procesos que determinan su comportamiento. Esto mediante la recopilación de datos de temperatura obtenidos in situ, principalmente de las coberturas y usos del suelo que caracterizan a este territorio. También se consideraron datos anuales y mensuales de temperatura, obtenidos de la estación meteorológica “Vivero la Paz”, ubicada al sur del municipio de Villa Guerrero (aproximadamente a 6 km de la localidad de Progreso Hidalgo).

MATERIALES Y MÉTODOS

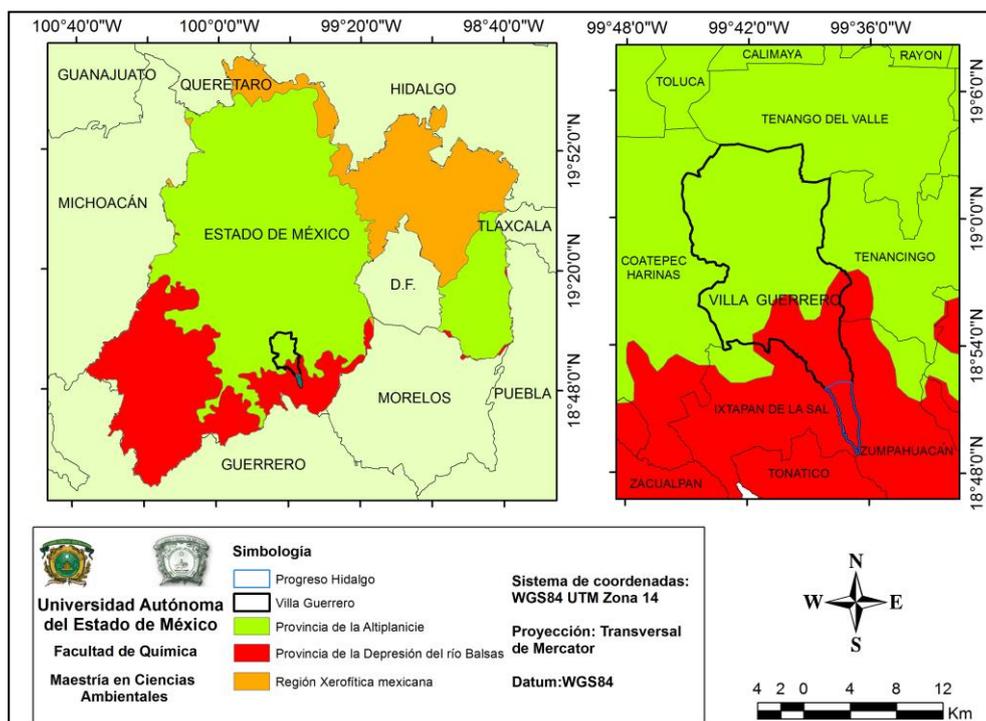
Área de estudio

Progreso Hidalgo se localiza al sur de Villa Guerrero en el Estado de México, entre las coordenadas 18° 49' 34" y 18° 52' 30" de latitud norte y 99° 36' 30" y 99° 37' 32" de longitud oeste. Se ubica en una zona de ecotono² o de transición ecológica que se caracteriza por una amplia diversidad biológica. Además, las condiciones ambientales que la describen favorecen la presencia de diversos sistemas agrícolas (Figura No. 1).

Progreso Hidalgo es una comunidad rural-campesina con una superficie de 826 hectáreas aproximadamente. Limita al norte y oriente con localidades de Zumpahuacán; al sur, con las barrancas formadas por los ríos Calderón, Nenetzingo, San Jerónimo y Tenancingo, y con algunos espacios del municipio de Tonicato; y al poniente, con barrancas y comunidades del municipio de Ixtapan de la Sal (Ramírez y Juan, 2008).

² El ecotono es considerado como la zona de transición entre dos biomas, caracterizada por la presencia de especies de ambos (Morán, 1993). Para Gliessman (2002) el ecotono, es una zona de transición entre ecosistemas, comunidades o hábitats, caracterizado por su mayor diversidad. Por su parte, González (2003) define al ecotono como la zona de confluencia de dos o más biomas, que ha sido utilizada por las sociedades humanas por la diversidad biológica que posee y por los recursos naturales que tiene y que son importantes para la supervivencia de las comunidades que los utilizan. El territorio del Estado de México tiene una zona de transición ecológica denominada Provincia de las Serranías Meridionales que divide al territorio en otras dos provincias: 1) al norte, la Provincia de la Altiplanicie y 2) al sur, la Provincia de la Depresión del río Balsas (Juan y Madrigal, 2004). Entre estas dos provincias se ubica la comunidad de Progreso Hidalgo.

Figura No. 1. Ubicación geográfica de Progreso Hidalgo en el contexto estatal



Fuente: Elaboración propia con base en Halffter (1964), CONABIO (2015), INEGI (2015).

Desde el punto de vista geomorfológico, esta comunidad rural se caracteriza por la presencia de mesetas, lomeríos y barrancas. Su altitud oscila entre 1 480 y 1 780 metros sobre el nivel del mar (msnm). De acuerdo con Ramírez y Juan (2008) el clima es A(C) w1 (w), que de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen es considerado como tropical lluvioso semicálido (de transición entre el clima templado “C” y cálido “A”), con temperaturas elevadas durante primavera y verano.

La temperatura del mes más caluroso se muestra antes del solsticio de verano, la temperatura media anual en la zona norte de la localidad representa una temperatura de 17.5 °C y en la zona sur se presenta una temperatura media anual de 18.5 °C. Se registra una precipitación media anual de 1 050 milímetros, las primeras lluvias se presentan entre la segunda y tercera semana del mes de mayo, con una duración aproximada de 170 días. En cuanto a la humedad se presenta una distribución desigual durante el año, la cual se divide en dos estaciones, la lluviosa y la seca (Atlas del Estado de México, 1995).

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de las unidades edáficas (suelo vertisol pélico de color negro y gris) y su interacción con las condiciones geográficas, topográficas, ecológicas, climáticas e hidrográficas generan un ambiente favorable para el crecimiento de diversos cultivos agrícolas comerciales y de autoconsumo familiar durante las cuatro estaciones del año (tomate, chile, jitomate, zarzamora, pepino, cebolla, diversas variedades de flores, fresas, maíz, frijol, calabaza, entre otros). También favorece el desarrollo de distintos tipos de vegetación: bosque de pino, bosque de encino y selva baja caducifolia (Ramírez y Juan, 2008).

Materiales

Para analizar la variabilidad temporal de la temperatura ambiente se utilizaron datos anuales y mensuales de temperatura correspondientes al periodo 1961-2000. Esta información se obtuvo de la estación meteorológica automatizada (EMA) “Vivero La Paz”, la cual está a cargo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El estudio de la temperatura espacial se llevó a cabo mediante datos de temperatura máxima registrados durante los recorridos de campo, principalmente en las coberturas y usos del suelo que caracterizan a Progreso Hidalgo: asentamientos humanos, agricultura, invernaderos y bosque (selva baja caducifolia). El registro de estos datos se realizó a través del uso de termómetros grome de mercurio, debido a que son instrumentos que miden las temperaturas mínima y máxima de un determinado espacio geográfico.

También se utilizaron mapas de cobertura y uso del suelo (CUS), derivados de la clasificación de ortofotos digitales de los años 2000 y 2007 (escala 1:10 000, con resolución espacial de 1 metro), proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); además de una imagen de satélite del año 2015, obtenida a partir del software SASPlanet. Estos insumos cartográficos se emplearon para describir los procesos de cambio que ocurren entre las coberturas y usos del suelo que caracterizan a Progreso Hidalgo, e identificar si existe alguna relación con la variabilidad espacial de la temperatura ambiente registrada en campo durante el mes de abril de 2016.

Variabilidad temporal de la temperatura

Los datos anuales y mensuales de temperatura correspondientes al periodo 1961-2000 fueron procesados, depurados y organizados para construir la matriz general de temperatura. La ausencia de datos a causa de fallas técnicas u operacionales en la estación meteorológica “Vivero La Paz”, se complementó mediante la aplicación del método estadístico promedios móviles (Valencia et al., 2007), que consiste en promediar el conjunto de datos anteriores o posteriores (hasta un máximo de 10) para pronosticar la información faltante. En este caso se consideraron los cinco datos de temperatura posteriores y los resultados obtenidos se integraron en cada uno de los espacios vacíos.

Con base en los datos que comprenden a la matriz general de temperatura se elaboraron gráficos que representan: a) la tendencia (exponencial) de la temperatura media anual del periodo 1961-2000; b) la temperatura media anual por década (1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000); y c) la temperatura media mensual por década. También se elaboraron mapas de temperatura media anual por década, producto de la relación que establecen las diferencias altitudes que caracterizan al área de estudio con el gradiente térmico vertical³. Progreso Hidalgo se ubica entre los 1 400 y 1 800 msnm. Sin embargo, se consideró como máxima altitud 1 900, debido a que la estación meteorológica “Vivero La Paz” se ubica en esta cota. La representación espacial de la temperatura media anual por década se llevó a cabo mediante el software Arc Map 10.2.2, principalmente con la herramienta Interpolation del módulo Spatial Analyst Tools.

³ Todas las variables climáticas cambian en función de los factores geográficos que determinan a un territorio. En el caso de la temperatura, está experimenta un descenso alrededor de 0.65 °C por cada 100 metros de elevación, pero ese valor promedio puede variar (Mayer, 2005; Linares et al., 2007). A esta disminución se le denomina *gradiente térmico vertical*. En ocasiones, esta variación puede ser inversa, es decir, la temperatura en lugar de disminuir con la altitud, aumenta, dando lugar a lo que se conoce como *inversión térmica* (Melendo et al., 2002; Mayer, 2005).

Variabilidad espacial de la temperatura en Progreso Hidalgo

La variabilidad espacial de la temperatura en Progreso Hidalgo se obtuvo mediante la medición in situ de la temperatura máxima. El registro de esta variable ambiental se llevó a cabo en ocho sitios de muestreo, a partir de las 10:00 y 13:00 horas, cada 15 minutos (Sarricolea et al., 2008), durante los días 02, 09, 16 y 23 de abril de 2016. En cada sitio de muestreo se instalaron los termómetros grome de mercurio, a una altura de 1.5 metros en relación al piso y, principalmente, en zonas de umbría. (Romero et al., 2011).

Previo a la medición y registro de la temperatura máxima, los termómetros se calibraron (dejándolos ambientar 30 minutos) para obtener datos más precisos y confiables. Su registro se llevó a cabo de forma simultáneamente por especialistas en el área (Figuras No. 2 y 3).

Figura No. 2. Medición en agricultura



Fuente: Trabajo de campo (2016)

Figura No. 3. Medición en invernaderos

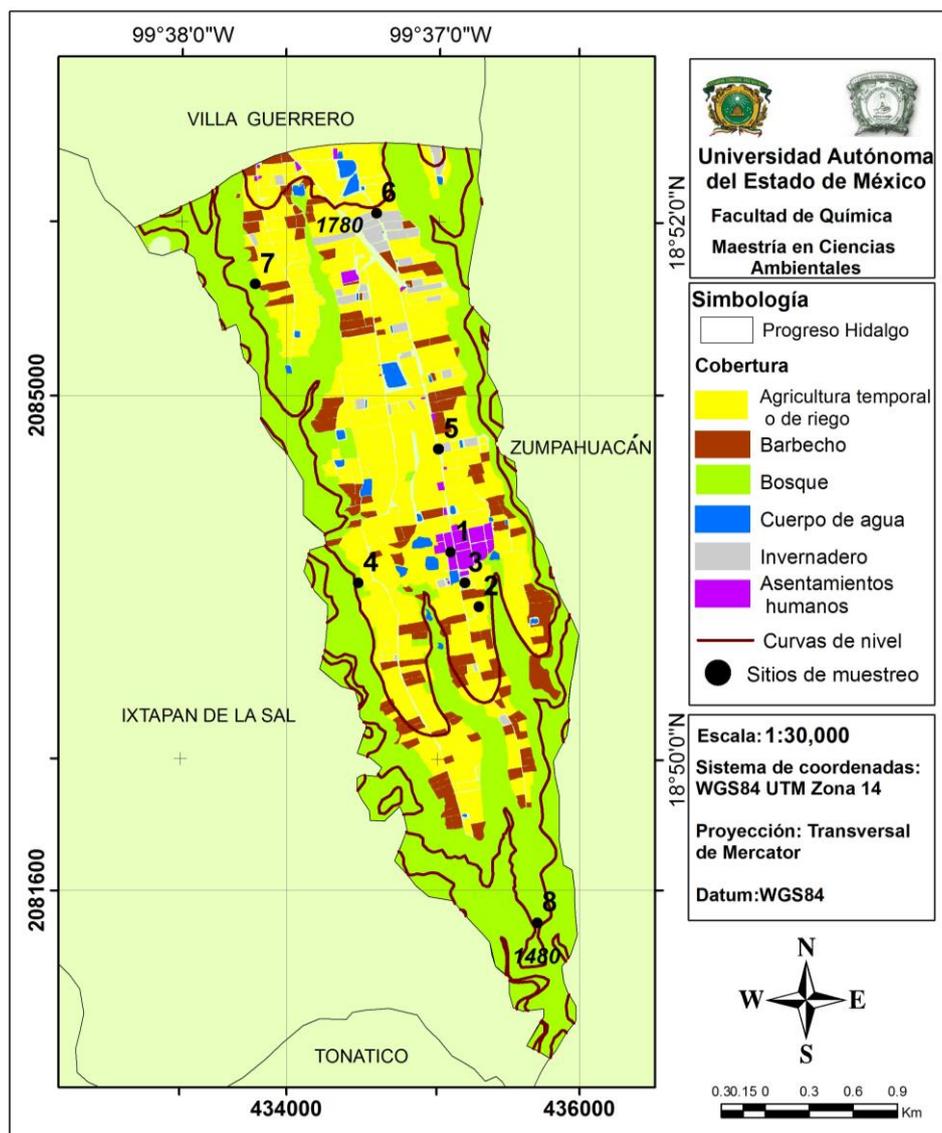


Fuente: Trabajo de campo (2016)

La selección de los sitios de muestreo se determinó con base en los siguientes criterios: a) la distribución y aglomeración espacial de las coberturas y usos del suelo que caracterizan al área de estudio (agricultura, asentamientos humanos, bosque e invernaderos), y b) las diferencias altitudinales en las que se ubican dichas coberturas y usos del suelo, sobre todo en el rango de 1 620 y 1 780 msnm. Cada sitio de muestreo se representó espacialmente con base en sus coordenadas y su altitud (Figura No. 4). El registro de estos elementos geográficos se realizó mediante el uso y manejo de un sistema de posicionamiento global (GPS), considerando el sistema de referencia UTM (Universal Transversal de Mercator), con datum WGS84 (World Geodetic System 1984).

Con base en los datos de temperatura obtenidos en campo (sitios de muestreo) se elaboró el mapa de variabilidad espacial de la temperatura ambiente de Progreso Hidalgo. Su construcción fue producto de la interpolación espacial de los datos correspondientes a la temperatura promedio que se registró en cada una de los sitios de muestreo durante los días que se realizaron las mediciones de esta variable atmosférica. El mapa se realizó en el software Arc Map 10.2.2, con la herramienta Interpolation del módulo *Spatial Analyst Tools*.

Figura No. 4. Distribución espacial de los sitios de muestreo



Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2015), INEGI (2015) y trabajo de campo (2016).

Mapas de cobertura y uso del suelo de Progreso Hidalgo

Se elaboraron tres mapas de cobertura y uso del suelo de Progreso Hidalgo correspondientes a los años 2000, 2007 y 2015, mediante el método de interpretación visual interdependiente (FAO, 1996) y a través del software ArcMap 10.2.2. Estos insumos cartográficos fueron validados mediante el proceso de evaluación de la confiabilidad temática (Mas et al., 2003). Las coberturas y usos del suelo que se encuentran representadas en cada uno de los mapas referidos corresponden a: cuerpos de agua, barbecho (terrenos en descanso), bosque, asentamientos humanos, agricultura de temporal-riego y agricultura tecnificada controlada (invernaderos).

Tasas anuales de cambio

Para analizar los procesos de cambio ocurridos en las coberturas y usos del suelo de Progreso Hidalgo, se determinaron tasas anuales de cambio que comprenden los periodos 2000-

2007 y 2007-2015; esto a partir de las superficies correspondientes a las coberturas y usos del suelo que se encuentran representadas espacialmente en los mapas y con base en la ecuación de la FAO (1996):

$$t = (S_2 / S_1)^{1/n} - 1$$

Donde:

t = Tasa de cambio (se multiplica por 100 para expresarse en porcentaje)

S₁ = Superficie de un tipo dado de cobertura/uso del suelo en la fecha 1

S₂ = Superficie de la misma cobertura/uso del suelo en la fecha 2

n = Número de años transcurridos entre las dos fechas

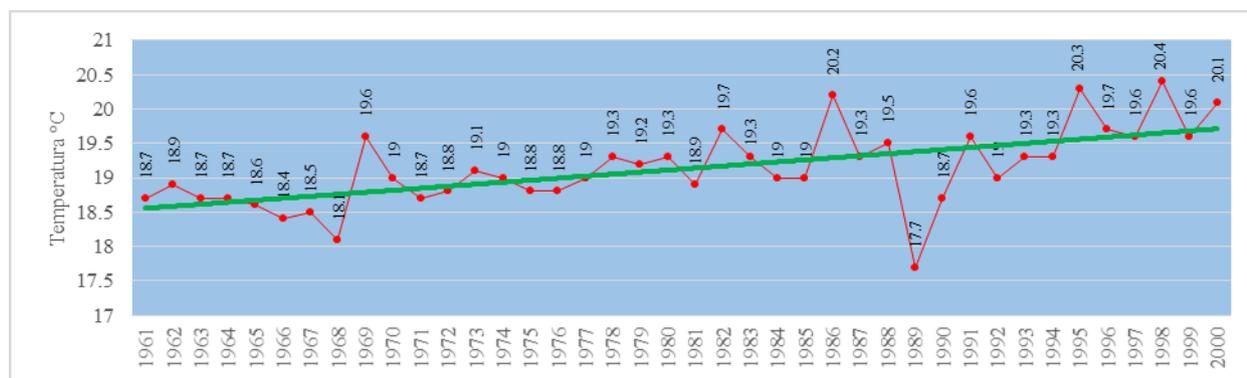
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabilidad temporal de la temperatura

Durante el periodo 1961-2000, se observó que la temperatura media anual de la estación “Vivero La Paz” muestra una tendencia ascendente, pues en el año 1961 se registró una temperatura de 18.7 °C y para el año 2000 ésta se incrementó a 20.1 °C (Figura No. 5). Este comportamiento se atribuye a la producción de plantas de ornato que ha tenido lugar durante décadas en el municipio de Villa Guerrero. De acuerdo con Sánchez y García (2007), la explotación comercial de plantas ornamentales en la región de Villa Guerrero, inició en la década de los 60 con cultivos de clavel, gladiolo y otras flores a campo abierto. Fue hasta 1980 cuando realmente comenzó la producción de flores de corte en invernaderos para satisfacer la demanda del mercado nacional.

Por otra parte, se observa que 1989 fue el año que registró la temperatura media anual más baja (17.7 °C) durante el periodo 1961-2000, situación que se asocia a la influencia de fenómenos meteorológicos globales, como el caso de La Niña que ocurrió en los años 1988-1989 (Harring, 2000). Dicho fenómeno suele ir acompañado del descenso de las temperaturas. Por su parte, Pérez et al (2016) afirman que los factores que determinan o condicionan la variabilidad espacio-temporal de la temperatura se asocian a la altitud y a la ocurrencia y frecuencia de fenómenos atmosféricos locales, regionales, nacionales o globales (El Niño y La Niña).

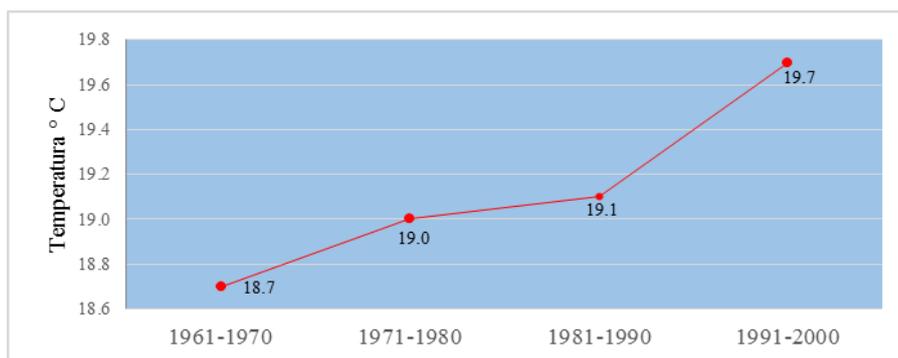
Figura No. 5. Tendencia de la temperatura media anual de la estación Vivero La Paz, Villa Guerrero, Estado de México (1961-2000)



Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2016).

En la Figura No. 6 se observa que la temperatura media anual por década de la estación meteorológica “Vivero La Paz” aumentó 1 °C, considerando que para el periodo 1961-1970 se registró una temperatura media anual de 18.7 °C, mientras que para la década 1991-2000 ésta se incrementó a 19.7 °C. Este comportamiento se relaciona con el inicio de la floricultura en Villa Guerrero, pues durante la década de 1980 los comerciantes de este territorio comenzaron aplicar métodos y técnicas especializados en la producción intensiva de la flor, sobre todo en invernaderos (Fenner, 1992). De acuerdo con Martínez (2015), en las últimas décadas la superficie de los invernaderos que se localizan y se distribuyen espacialmente en el municipio de Villa Guerrero se incrementó exponencialmente. En 1989 se registraron 109.08 ha de esta cobertura/uso del suelo, mientras que para el año 2000 aumentó a 1 068.02 ha.

Figura No. 6. Temperatura media anual del Vivero La Paz, Villa Guerrero, Estado de México

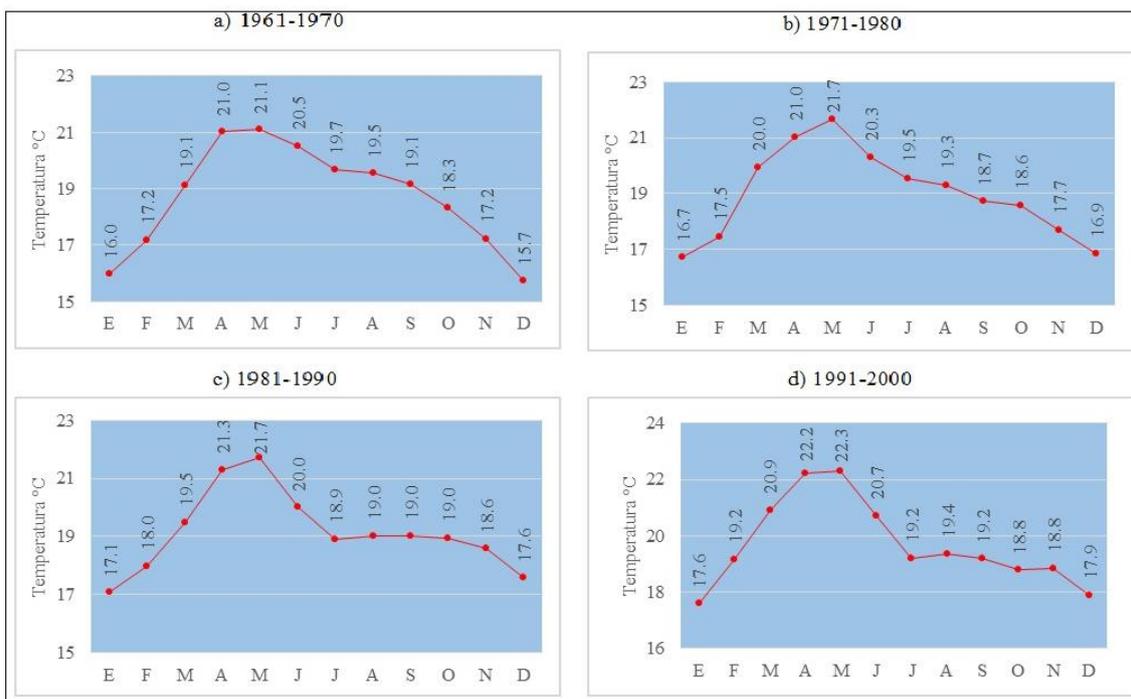


Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2016).

Respecto a la temperatura media mensual, se observa que para las décadas 1961-1970, 1971-1980 y 1981-1990 los meses que registraron las temperaturas más bajas corresponden a noviembre, diciembre, enero y febrero; mientras que marzo, abril, mayo y junio fueron los meses que reportaron las temperaturas más altas. Las temperaturas medias se manifestaron en julio, agosto, septiembre y octubre. Para la última década (1991-2000), los meses que registraron las temperaturas más bajas fueron octubre, noviembre, diciembre y enero; mientras que marzo, abril, mayo y junio presentaron las temperaturas más altas. Las temperaturas medias corresponden a los meses de febrero, julio, agosto y septiembre (Figura No. 7).

También se muestra que la temperatura media mensual más baja de la década 1961-1970 se registró en el mes de diciembre con 15.7 °C, mientras que para el periodo 1991-2000 la temperatura más baja se presentó en el mes de enero con 17.6 °C. Por otra parte, la temperatura media mensual más alta de la década 1961-1970 se registró en el mes de mayo con 21.1 °C, mientras que para el periodo 1991-2000 la temperatura más alta se presentó en el mismo mes con 22.3 °C. Es resaltar que para cada una de las décadas que comprenden al periodo 1961-2000, las temperaturas medias mensuales más altas corresponden al mes de mayo; mientras que las más bajas pertenecen al mes de enero, excepto la década de 1961-1970 que registró la temperatura media mensual más baja en diciembre (Figuras No. 7a, 7b, 7c y 7d).

Figura No. 7. Temperatura media mensual del Vivero la Paz, Villa Guerrero, Estado de México



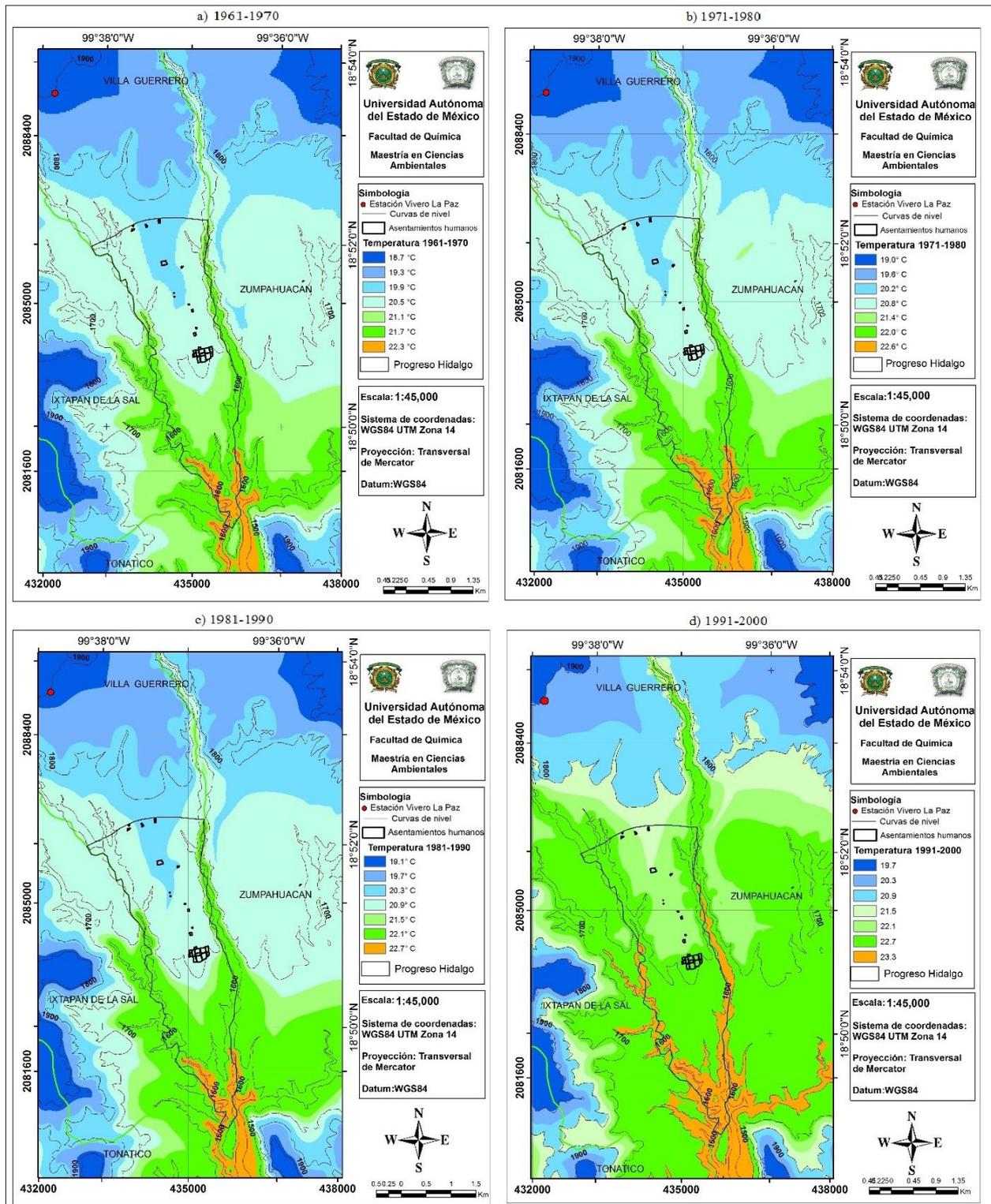
Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2016).

La Figura No. 8 representa la variabilidad espacio-temporal de la temperatura media anual de la estación meteorológica “Vivero La Paz” durante el periodo 1961-2000. Para la década 1961-1970, las temperaturas medias anuales más altas (22.3 °C) se localizan al sur del área de estudio, donde las altitudes son menores a 1 500 msnm; mientras que las temperaturas más bajas (18.7 °C) se ubican en la porción norte, a altitudes mayores a 1740 msnm (Figura No. 8a). Este mismo comportamiento espacial se presentó en la década 1971-1980, sólo que la temperatura media anual más baja fue de 19 °C y la más alta de 22.6 °C. Además, se observa que a partir de la cota 1 600 (de forma ascendente, dentro del área de estudio) comienzan a registrarse temperaturas medias anuales a 22 °C (Figura No. 8b).

Para la década 1981-1990 se observa que las temperaturas medias anuales más altas manifiestan un comportamiento espacial ascendente (en comparación con las dos décadas anteriores), sobre todo de la porción sur al centro del área de estudio. La temperatura media mensual más alta para este periodo fue de 22.7 °C, mientras que la más baja corresponde a 19.1 °C. Esta última se localiza a altitudes mayores a los 1740 msnm (Figura No. 8c).

Para la década 1991-2000 comienza a ser más notorio el ascenso espacial de las temperaturas medias mensuales, al grado que se observan temperaturas de 22.7 °C en la porción centro del área de estudio, principalmente donde se ubica la mayor superficie de asentamientos humanos (a una altitud mayor a 1 700 msnm). La temperatura media mensual más alta para este periodo (23.3 °C) se registró en la porción sur de la zona de estudio (entre los 1 500 y 1 600 msnm); mientras que la temperatura más baja (19.7 °C) se observa a partir de la cota 1 900 en adelante (Figura No. 8.d).

Figura No. 8. Temperatura media anual del Vivero La Paz, Villa Guerrero, Estado de México



Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2016)

Variabilidad espacial de la temperatura

En términos generales, en Progreso Hidalgo las temperaturas máximas más bajas se registraron en los puntos de muestreo que comprenden a la agricultura (sitios 5 y 2, con 26.0 y 27.1 °C, respectivamente) y a los asentamientos humanos (sitio 1, con 27.4 °C); mientras que las temperaturas máximas más altas se presentaron en los sitios de muestreo 6 y 3 (con 30.2 y 29.1 °C, respectivamente), correspondientes a los invernaderos. Para el caso de las temperaturas máximas medias, éstas se registraron en los sitios de muestreo 4, 7 y 8 (con 28.7, 27.8 y 29.2 °C, respectivamente), propios del bosque (Cuadro No. 1).

Los resultados descritos difieren con lo establecido por Capelli et al. (2005), quienes documentan que las zonas con presencia de asentamientos humanos son generalmente más cálidas en comparación con su entorno inmediato de carácter natural y rural, puesto que las condiciones de infraestructura de las viviendas y vialidades son significativamente diferentes a las condiciones naturales y rurales. Para el caso de este estudio, los invernaderos fueron los que registraron las máximas temperaturas, situación que se atribuye al tipo de materiales con que están construidos. Además, las temperaturas máximas que se presentaron en el bosque (selva baja caducifolia) se encuentran por encima de las temperaturas máximas correspondientes a los asentamientos humanos. Este comportamiento se asocia al gradiente térmico vertical.

Cuadro No. 1. Temperatura máxima en las coberturas y usos del suelo de Progreso Hidalgo

Sitios de muestreo	Sitio 1 (Asentamiento)	Sitio 2 (Agricultura)	Sitio 3 (Invernadero)	Sitio 4 (Bosque)	Sitio 5 (Agricultura)	Sitio 6 (Invernadero)	Sitio 7 (Bosque)	Sitio 8 (Bosque)
Altitud	1722 msnm.	1705 msnm.	1710 msnm.	1695 msnm.	1740 msnm.	1780 msnm.	1740 msnm.	1620 msnm.
Coordenadas geográficas	18°50'46.22" N	18°50'38.04" N	18°50'40.18" N	18°50'37.83" N	18°51'13.24" N	18°52'01.83" N	18°51'48.14" N	18°49'39.12" N
	99°36'57.07" O	99°36'54.49" O	99°36'54.98" O	99°37'18.39" O	99°37'01.42" O	99°37'14.39" O	99°37'44.00" O	99°36'49.35" O
-----°C-----								
10:00	25.5	25.5	27.4	25.4	25	28.0	25.0	26.0
10:15	25.3	25.1	27.2	25.8	25.5	29.0	26.0	26.5
10:30	25.4	25.7	27.3	26.4	26.5	20.0	27.0	27.0
10:45	25.5	26.1	27.9	26.9	25.5	29.5	26.0	27.5
11:00	25.8	26.4	28.4	28.0	25	30.5	27.5	28.5
11:15	26.4	26.9	28.9	28.9	25.5	31.0	28.0	29.0
11:30	26.9	27.3	29.0	29.4	26	31.5	28.0	29.5
11:45	27.6	27.4	29.5	29.8	26.5	32.0	29.0	30.0
12:00	28.6	27.8	30.1	29.9	26	32.5	29.0	30.0
12:15	29.0	28.0	30.6	30.4	25.5	31.5	28.5	30.5
12:30	29.3	28.5	30.3	30.8	26	32.0	29.0	31.0
12:45	30.4	28.5	31.0	30.8	27	32.0	29.0	31.5
13:00	30.9	29.0	31.5	31.0	28	33.0	30.0	32.0
Total	27.4	27.1	29.1	28.7	26.0	30.2	27.8	29.2

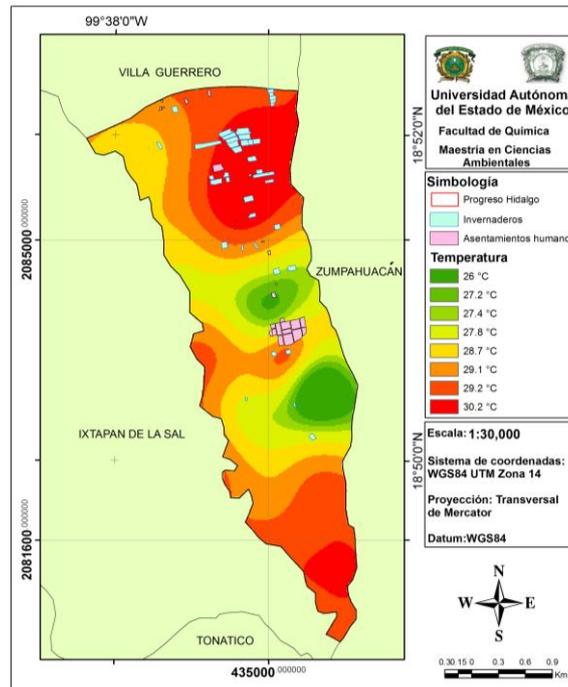
Fuente: Elaboración propia con base a trabajo de campo (2016)

En la Figura No. 9 se observa que las temperaturas máximas más altas se localizan en las porciones sur y noreste del área de estudio (oscilan entre 29.2 °C y 30.2 °C), mientras que las temperaturas máximas más bajas se ubican en la zona centro-este, con valores que fluctúan entre 26 °C y 27.4 °C. Para el caso de las temperaturas máximas medias, éstas se presentan en las porciones centro-oeste y noroeste, entre el rango 27.4 °C y 29.2 °C. Además, cabe resaltar que en la porción noreste del área de estudio (altitudes mayores en comparación con la porción sur) se concentra la

mayor superficie de invernaderos (conglomerado), situación que influye espacialmente en el incremento de las temperaturas máximas.

Lo anterior difiere con lo documentado por Pabón et al. (2001), quienes asocian la relación inversa entre la altura sobre el nivel del mar y la temperatura del aire, lo que permite diferenciar las temperaturas más bajas a mayor altitud y las temperaturas más altas en zonas bajas, pero a su vez dicha relación, puede estar condicionada por otros factores y ser inversa.

Figura No. 9. Variabilidad espacial de la temperatura máxima en Progreso Hidalgo

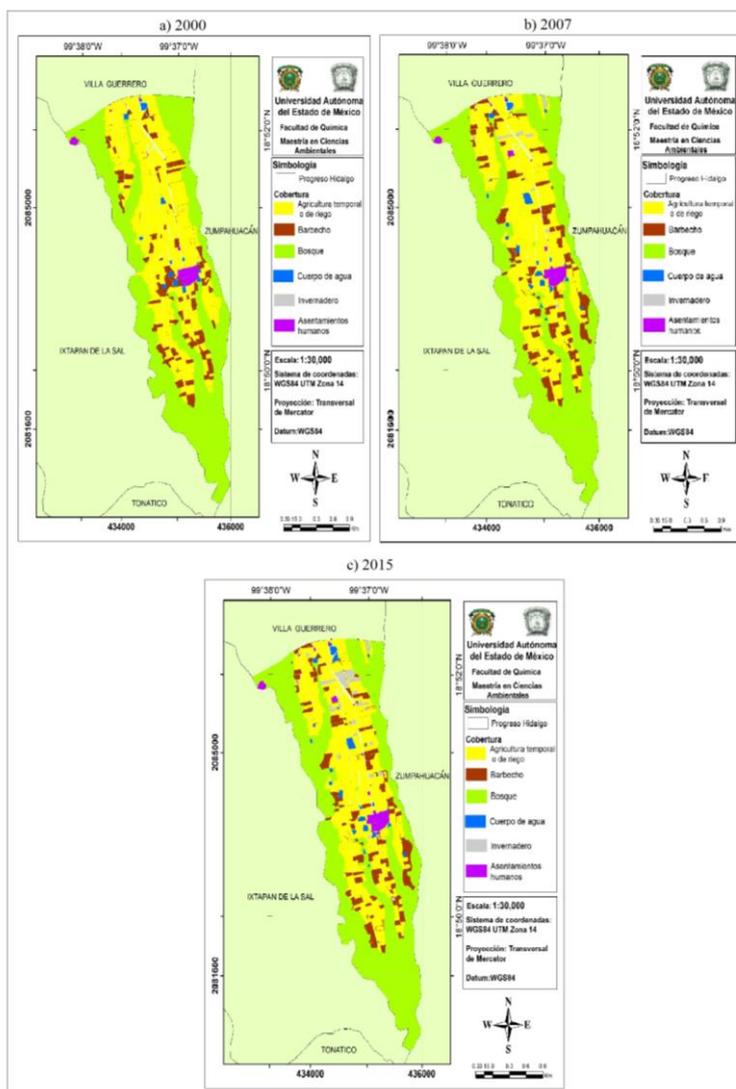


Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo (2016).

Mapas de cobertura y uso del suelo de Progreso Hidalgo

Se obtuvieron tres mapas de cobertura y uso del suelo de Progreso Hidalgo de los años 2000, 2007 y 2015. La leyenda de estos mapas corresponde, para el primer año, cinco coberturas/ usos del suelo: agricultura de temporal o de riego, barbecho, bosque (selva baja caducifolia), cuerpos de agua y asentamientos humanos (Figura No. 10a). Para el segundo y tercer año, se incluyó la cobertura/ uso del suelo invernaderos (Figura No. 10b y 10c). La fiabilidad global de estos insumos cartográficos fue mayor a 90 %, valor que excede el porcentaje mínimo permisible (80 %) para la validación cartográfica (Lesschen et al., 2005; Franco et al., 2006).

Figura No. 10. Mapas de cobertura y uso del suelo de Progreso Hidalgo



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2015).

Tasas anuales de cambio

Durante el periodo 2000-2007, en Progreso Hidalgo se registraron tasas anuales de cambio que expresan un proceso de reducción en cuanto a la superficie de ciertas coberturas/ usos del suelo, como el caso de la agricultura de temporal y riego y el bosque (selva baja caducifolia) que registraron tasas anuales de cambio de -0.99% y -0.06% , respectivamente. Por otra parte, existen coberturas y usos del suelo que indican un proceso de expansión en relación a su superficie, como los cuerpos de agua, el barbecho y los asentamientos humanos que registraron tasas anuales de cambio de 8.85% , 3.43% y 0.08% , respectivamente. En este mismo periodo se observó que para el año 2000 no existían los invernaderos, fue hasta 2007 cuando los habitantes de dicho territorio establecieron este tipo de cobertura/ uso del suelo, ocupando una superficie de 5.18 ha.

Para el periodo 2007-2015 se registraron tasas anuales de cambio de -0.63% y -0.04% en las coberturas y usos del suelo agricultura de temporal y riego y en el bosque, respectivamente. En ambos casos se muestra un proceso de reducción en cuanto a su superficie. En contraste, las coberturas y usos del suelo que manifestaron un proceso de expansión con respecto a su área fueron

los invernaderos (34.19 %), los cuerpos de agua (1.73 %), los asentamientos humanos (0.40 %) y el barbecho (0.10 %) (Cuadro No. 2). Según Ballesteros (2013), la agricultura comercial tecnificada (invernaderos) en Progreso Hidalgo registró un aumento de 6.1 ha en un periodo de 5 años, es decir, en el año 2005 se establecieron 7.86 ha y para 2010 esta superficie se incrementó a 13.96 ha.

Cuadro No. 2. Superficies y tasas anuales de cambio de las coberturas y usos del suelo de Progreso Hidalgo

Cobertura / Uso del suelo	Superficie del año 2000 (ha)	Superficie del año 2007 (ha)	Tasa anual de cambio: Periodo 2000 -2007 (%)	Proceso de cambio	Superficie del año 2015 (ha)	Tasa anual de cambio: Periodo 2007 -2015 (%)	Proceso de cambio
Agricultura de temporal y riego	324.68	302.12	-0.99	Reducción	286.79	-0.63	Reducción
Agricultura tecnificada controlada (invernaderos)	0	5.18		Expansión	19.37	34.19	Expansión
Bosque (Selva baja caducifolia)	420.09	418.18	-0.06	Reducción	416.88	-0.04	Reducción
Cuerpos de agua	6.21	10.06	8.85	Expansión	11.44	1.73	Expansión
Asentamientos humanos	10.13	10.18	0.08	Expansión	10.51	0.40	Expansión
Barbecho (terrenos en descanso)	64.44	79.90	3.43	Expansión	80.52	0.10	Expansión

Fuente: Elaboración propia con base en la FAO (1996).

CONCLUSIONES

En un periodo de 40 años (1961-2000) la temperatura media anual en el sur de Villa Guerrero se incrementó 1.4 °C, así como las temperaturas medias mensuales máximas y mínimas que aumentaron 1.2 y 1.9 °C, respectivamente. Desde el punto de vista espacial, las temperaturas medias anuales máximas manifestaron un comportamiento ascendente en relación a las diferencias altitudinales, es decir, para la década 1961-1970 se registró una temperatura media anual máxima de 22.3 °C en la porción sur del área de estudio, donde las altitudes son menores a 1 500 msnm, y para el periodo 1991-2000 esta misma temperatura se registró por encima de la cota 1 700.

En Progreso Hidalgo las temperaturas máximas más altas se ubicaron en la porción sur donde las altitudes son menores a 1 480 msnm y en la porción noreste donde se concentra la mayor superficie de invernaderos (entre los 1 740 y 1 780 msnm). Durante el periodo 2007-2015 el área correspondiente a la agricultura tecnificada controlada (invernaderos) aumentó 14.19 ha, producto de un proceso de conversión agrícola, es decir, los espacios destinados a la agricultura de temporal o riego fueron reemplazados por invernaderos para la producción de flor.

La variabilidad espacio-temporal de las temperaturas que caracterizan al sur de Villa Guerrero está condicionada, principalmente, por las actividades económicas que practican los habitantes de este territorio, sobre todo la floricultura que han implementado e intensificado en las últimas tres décadas bajo condiciones controladas y tecnificadas, para satisfacer las demandas de los mercados nacionales e internacionales. Esto ha conducido a la ocurrencia de procesos de cambio en las coberturas y usos del suelo que describen a este espacio geográfico. Otro factor que juega un papel importante en la variabilidad espacio-temporal de las temperaturas son las diferencias altitudinales que caracterizan al área de estudio.

Este trabajo coadyuva a ampliar el conocimiento sobre la importancia que deben adquirir las problemáticas ambientales locales en el contexto global, regional y nacional. Actualmente la crisis ambiental que nos acontece y se ubica en el centro de la investigación ambiental, es producto de la relación e interacción que establecen las múltiples y diversas problemáticas ambientales que ocurren en las distintas escalas de análisis.

BIBLIOGRAFÍA

Ballesteros, A. (2013). **Cambio de Uso de Suelo en una comunidad de transición ecológica. Progreso Hidalgo, Estado de México: impactos y consecuencias (2005-2010)**. [Tesis de licenciatura]. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. México.

Capelli, A., M. C. Píccoli y A. Campo (2005). **Clima urbano de Bahía Blanca**. Buenos Aires, Argentina, 197 pp.

Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2015). **Portal de Geoinformación**. Obtenida el 29 de septiembre de 2015 de <http://www.conabio.gob.mx>

Fenner, J. (1992). **Las flores de la muerte: ensayo sobre la floricultura mexicana**. Grupo de estudios ambientales. México.

Franco, S., H. Regil y J. Ordóñez (2006). **Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca**. Madera y Bosques 12(1):17-28.

Gliessman, S. R. (2002). **Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible**. Costa Rica.

Gobierno del Estado de México. (1995). **Atlas del Estado de México**. Coordinación General de Comunicación Social. s/a. Universidad Autónoma del Estado de México.

González, J.A. (2003). **The social and cultural conversión: from tradicional agricultura as seen in México**. In: Making the conversion to sustainable agriculture: principles, processes and practices. S.R. Gliessman. USA

Halfpter, G. (1964). **La entomofauna americana, ideas acerca de su origen y distribución**. Folia Entomológica Mexicana, 1, 1–108. Obtenido de <http://www.sea-entomologia.org/>.

Harring, D. (2000). **Dry times in North América**. Feature articles. Earth Observatory. USA.
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). **Marco Geoestadístico Nacional**. Obtenida el 29 de septiembre de 2015 de <http://www.inegi.org.mx>.

Juan, J. y D. Madrigal (2004). **Manejo del agua en una comunidad de transición ecológica del Estado de México**. Revista Perspectivas Latinoamericanas. Núm 1. Japón. 144 – 157p.

Juan, J. (2006). **Manejo del ambiente y riesgos ambientales en la región fresera del Estado de México**. Eumed.Net. España. 155 pp.

Juan, J. (2007). **Multifuncionalidad de los Sistemas de Barrancas en México**. Editorial Dunken. Argentina.

Juan, J., J. G. Gutiérrez, M. A. Balderas y X. Antonio (2009). **La mujer campesina y el manejo de huertos, una estrategia para la alimentación de las familias mexicanas**. LEISA revista de agroecología. Vol. 25. Núm. Perú. 31-33p.

Juan, J., J. G. Gutiérrez, R. Franco, J. Monroy, M. A. Balderas y X. Antonio (2011). **Grupos de ayuda mutua juvenil en la región fresera del subtrópico mexicano: una estrategia para la subsistencia de las familias campesinas**. LEISA Revista de agroecología. Vol. 27. Núm 1. Perú. 15-18p.

Juan, J. (2013). **Subsistencia familiar sustentada en el manejo de recursos naturales y procesos agrícolas. El caso de una comunidad campesina del subtrópico mexicano**. Observatorio de la Economía Latinoamericana. Revista académica de economía. ISSN 1696-8352. México.

Lesschen, J., P. Verburg y S. Staal (2005). **Statistical methods for analysing the spatial dimension of change: Land use and farming systems**. LUCC Report Series No. 7. Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) Project. Netherlands: The International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya & Wageningen University.

Linares, J. C., B. Viñegla y J. A. Carreira (2007). **Factores climáticos determinantes de la dinámica poblacional en Abies pinsapo**. Iniciación a la investigación, nº A6, 1-9.

Martínez, M. E. (2015). **Estimación del cambio de usos de suelo en el municipio de Villa Guerrero, Estado de México, y la influencia de dicho cambio por la expansión de invernaderos en el periodo 1989-2014, a través de la percepción remota**. [Tesis de licenciatura]. Facultad de Planeación Urbana y Regional. Universidad Autónoma del Estado de México. México.

Mas, J. F., J. R. Díaz y A. Pérez (2003). **Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: Una revisión**. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 51, 53–72. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/569/56905105.pdf>

Mayer, P. (2005). **El clima de la isla de La Palma**. Tomo 1, 49-60.

Melendo J., N. Arbonés, L. Cancer, P. Maza y F. Lampre (2002). **Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza**. Editorial Paidotribo. Barcelona.

Morales, C., D. Madrigal, L. González (2007). **Isla de calor en Toluca, México**. Ciencia Ergo Sum, 14:307-316.

Morán, F. E. (1993). **La ecología humana de los pueblos de la Amazonia**. Fondo de Cultura Económica. México.

Moscoso, C. (2006). **Expansión física y cambios de coberturas y usos de suelo en el Área Metropolitana de Valparaíso, V Región, Chile: período 1975-2004**. [Informe Práctica Profesional, Laboratorio de Medio Ambiente y Territorio Departamento de Geografía]. Universidad de Chile.

Myers, N. (1998). **Global biodiversity priorities and expanded conservation policies**. In: G.M. Mace, A. Balmford y B.R. Ginsberg, eds. Conservation in a changing world. Cambridge University Press. p:273-285.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1996). **Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes.** FAO Forestry Paper, vol. 130.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2000). **Programas de fomento agrícola, fomento ganadero, sanidad agropecuaria y transferencia de tecnología.** México.
- Pabón, J., J. Eslava y R. Gómez (2001). **Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia.** Meteorología Colombiana, núm. 4, pp. 47-59.
- Pauleit, S., R. Ennos & Y. Goldingy (2005). **Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change: a study in Merseyside, UK.** In Landscape and Urban Planning. N°71.
- Pérez E. P., V. H. Ramírez y A. J. Peña (2016). **Variabilidad espacial y temporal de la temperatura del aire en la zona cafetera colombiana.** Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 89, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 23-40, dx.doi.org/10.14350/rig.38707
- Ramírez J. y J. Juan (2008). **Utilización del chapulixtle (Dodonae viscosa) en los procesos agrícolas de la comunidad de Progreso Hidalgo, Estado de México.** Revista de Geografía Agrícola, núm. 40. pp. 19-25 Universidad Autónoma Chapingo Texcoco, México.
- Romero, H. (2006). **Análisis espacial del crecimiento urbano y de sus efectos sobre la sostenibilidad ambiental de las metrópolis y ciudades intermedias Chilenas.** [Tesis Doctoral]. España.
- Romero S., C. Morales y X. Antonio (2011). **Identificación de las islas de calor de verano e invierno en la ciudad de Toluca, México.** Revista de climatología, Vol. 11, pp.1-10 ISSN 1578-8768.
- Sánchez, A. y T. García (2007). **Evaluación nutrimental para el cultivo de rosa (rosa sp. l) en Villa Guerrero, Estado de México.** [Tesis de licenciatura]. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Sarochar, H. (2012). **Introducción a la meteorología general.** Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Sarricolea P., E. Aliste, P. Castro y C. Escobedo (2008). **Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana-nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos.** Revista de Climatología, 8:71-84.
- Sigró, F.J. (2004). **Variabilidad espacio temporal de la temperatura del aire en Cataluña.** Ph. D. Thesis, Universidad Rovira i Virgili, Barcelona.
- Valencia, A. L., C. A. Lozano y C. A. Moreno (2007). **Modelo de promedios móviles para el pronóstico horario de potencia y energía eléctrica.** Universidad del Valle, Cali, Colombia. El Hombre y la Máquina No. 29

Vallejo, L., J. Arriaga, S. Adame y E. Cadena (2013). **Reconversión productiva agrícola y resignificación del ambiente. El caso de Jalmolonga, en Malinalco, Estado de México.** México: Facultad de Antropología, Universidad Autónoma del Estado de México, pp. 6-31.

© Raúl Camacho Sanabria, Miguel Ángel Balderas Plata, José Manuel Camacho Sanabria, Carlos Constantino Morales Méndez y Marcela Sánchez López.

Camacho Sanabria, R; Balderas Plata, M. A.; Camacho Sanabria, J. M.; Morales Méndez, C. C.; Sánchez López, M. 2017. Variabilidad de la temperatura ambiente en una zona de transición ecológica: factores y procesos que determinan su comportamiento. ***Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)***. 9(9)Sección I:104-123

On-line: www.gesig-proeg.com.ar

Recibido: 04 de septiembre de 2016

Aceptado: 17 de noviembre de 2016