

ESTUDIO DE LOS POSIBLES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ZONAS CERCANAS AL VOLCÁN CITLALTÉPETL

Carlos Manuel WELSH RODRÍGUEZ¹, Carolina Andrea OCHOA MARTÍNEZ¹, Marco Aurelio MORALES MARTÍNEZ¹

¹ *Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana*
cwelsh@uv.mx, caochoa@uv.mx

RESUMEN

Se evaluaron variables climáticas en puntos cercanos al volcán pico de Orizaba (Citlaltépetl) con el propósito encontrar una posible señal de cambio climático en la zona, utilizando imágenes satelitales y cartas temáticas a fin de correlacionar las variables climatológicas con efectos locales en el glaciar. Además se integraron variables biofísicas con aspectos sociales del cambio global, mediante entrevistas en las comunidades en el entorno del volcán a fin de analizar mediante un proceso participativo, la percepción de la vulnerabilidad del sistema social y económico ante los posibles impactos del cambio climático en la zona.

Palabras clave: Cambio Climático, Impactos Locales, Sistemas de Información Geográfico, Percepción del Cambio Climático

ABSTRACT

Climatic variables were evaluated on several points close to the Orizaba Volcano (*Citlaltépetl*) to find any climatic change signal on the zone, satellite images and maps were used to correlate climatic data to the impacts on the glacier. Beside that, some social aspects were integrated with the climatic data as a tool to asset the perception of the local vulnerability to climatic change on the economic and social system.

Key words: Climatic Change, Local Impacts, Geographic Information System, Climatic Change Perception

1. CAMBIO CLIMATICO

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en su cuarto reporte de evaluación señala que el clima de la tierra está cambiando debido principalmente a la actividad humana el uso de combustibles fósiles y de tecnologías altamente contaminantes, que emiten enormes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Con un nivel de confianza del 90% el efecto neto de las actividades humanas desde 1750 han provocado un aumento de la temperatura” (IPCC, 2007).

Además menciona que las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI's) y aerosoles, así como las variaciones de la cubierta terrestre y la radiación solar provocan alteraciones en el sistema climático. Si bien el dióxido de carbono (CO₂) es el GEI

antropógeno más importante, sus emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2004 a nivel global (IPCC, 2007).

Las concentraciones de los GEI's CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado notablemente por el efecto de las actividades humanas. De manera detallada los aumentos se deben principalmente: para el caso del CO₂ a la utilización de combustibles de origen fósil y a los cambios de uso de la tierra; para el metano a la agricultura y a la utilización de combustibles fósiles; mientras que el aumento de la concentración de N₂O procede principalmente de la agricultura (IPCC, 2007).

1. 1. Impactos del Cambio Climático

Desde su reporte del 2001, el IPCC mencionaba que existía la evidencia de cambios en el comportamiento climático, entre los cambios observados puede mencionarse como ejemplos la contracción de los glaciares, el deshielo anticipado de las superficies de ríos y lagos, el alargamiento de las estaciones de crecimiento a latitudes medias a altas, entre otros. Hay muchos documentos que prueban la existencia de la asociación entre los cambios de temperaturas regionales y los cambios observados de sistemas físicos y biológicos en muchos entornos acuáticos, terrestres y marinos (IPCC, 2001), para el presente trabajo se hará mención del glaciar en el Citlaltépetl.

El aumento de la temperatura media global trae también como consecuencia migraciones de especies animales y vegetales a lugares de mayor altitud de su hábitat normal (IPCC, 2002). Para el caso específico de México, se han hecho modelos del impacto del calentamiento global en ecosistemas, en ellos se menciona que los bosques de coníferas y encinos, seguidos del matorral xerófilo, el bosque mesófilo de montaña, la vegetación acuática y subacuática, el pastizal, serán los tipos de vegetación más afectados (INE-SEMARNAT, 2007).

1.2. Los glaciares

Los glaciares son grandes reservas de agua dulce para los ecosistemas que dependen de su deshielo, si llegaran a desaparecer se perderían reservas de agua así como los ecosistemas circundantes con todo lo que depende de ello (Gore, 2007) y son directamente afectados por el calentamiento global; si bien el IPCC declara que la temperatura media global se incrementó en 2.0 °C en el período 1950-2000, entonces los glaciares están en alerta roja y aún más los glaciares de los trópicos, pues son especialmente sensibles a la elevación de las temperaturas (Thompson, 2000).

Por otro lado, el IPCC menciona que ha tenido lugar una retirada generalizada de los glaciares montañosos en regiones no polares durante el siglo XX y se espera que los glaciares y las cubiertas de hielo continúen su retirada generalizada durante el siglo XXI (IPCC, 2002). Del mismo modo, Delgado (1996) señala que existen testimonios científicos del retroceso y adelgazamiento de las grandes masas de hielo del mundo se verán afectados por el calentamiento global y las variaciones climáticas locales.

Chanco, en el 2004 menciona algunas causas de la fusión acelerada de los glaciares Andinos y consecuentemente su retroceso se deben a: (1) El calentamiento global de las últimas décadas; (2) El fenómeno de El Niño; (3) La disminución de la capa de ozono (O₃); (4) La actividad volcánica regional; (5) El transporte asociado a la industria minera de Casapalca,

Morococha, La Oroya, Cerro de Pasco que causa acumulación de polvo en zonas glaciares y (6) La venta de hielo extraído directamente del glaciar.

1.3 Los glaciares en México

El primer trabajo formal sobre glaciares mexicanos fue el realizado por Lorenzo (1959), considerando de este a oeste, en el eje volcánico algunos volcanes activos, así como otros grandes edificios volcánicos extinguidos; de ellos, Citlaltépetl, Popocatépetl e Iztaccihuatl, siguen teniendo áreas cubiertas por la congesa (nieve amontonada en los ventisqueros y de la que se forman las lenguas glaciáricas en los países donde hay glaciares) y el hielo, y Cofre de Perote, Malinche de Tlaxcala, Sierra Negra, Tlaloc, Ajusco, Nevado de Toluca y Nevado de Colima muestran huellas claras de haber estado sometidos a fenómenos glaciales en épocas recientes. Tanto unos como otros quedan dentro de la zona tropical, al sur del Trópico de Cáncer; la razón por la cual todavía existen glaciares en territorio Mexicano y se encuentran precisamente en la gran altura de los edificios volcánicos sobre los que se hallan, pasando todos ellos de los 5,000 metros de altura sobre el nivel de mar.

Las investigaciones en glaciares han demostrado una alta importancia en la obtención de recursos hídricos, para los sistemas de montaña y para los valles. Los glaciares de México son relativamente pequeños en comparación con los del resto del mundo, pero eso no quiere decir que estén exentos de la problemática que representa el calentamiento global, el cual causa retroceso y adelgazamiento de estos, su naturaleza de desplazamiento y de fusión se ve afectada por estar en volcanes. En México hay tres lugares que contienen glaciares, a continuación se presentan por orden de tamaño de sus glaciares son: El Citlaltépetl, el Iztaccihuatl y el Popocatépetl (Delgado, 1996). Los estudios realizados para el glaciar tropical en el volcán Popocatépetl mencionan la vulnerabilidad debido a su tamaño y los procesos eruptivos. La extinción de estos glaciares se produjo a finales de 2000 después de una intensa fase eruptiva. Entre los procesos eruptivos que contribuyeron a la extinción del glaciar son: el entierro de cenizas (en grandes cantidades, aunque conserva el hielo de la radiación), los impactos de proyectiles balísticos, y flujo de calor volcánico (Delgado, 2007). Todo lo anterior no representa una simple pérdida de agua en estado sólido, “Las tierras bajas dependen de las altiplanicies y de tal modo; la vida del 40% de la población del mundo es influenciada por las montañas, y el 10% son directamente dependientes” (Korner, 2000)

2. EL CITLALTÉPETL

El Citlaltépetl o Pico de Orizaba, es el más alto estrato volcánico en México, con una altitud de 5675 m.s.n.m. pasando a través de una topografía asimétrica de unos 2900 m al Oeste, y 4300 m al Este. Constituye un fuerte cono que está cubierto por flujos de lava y cenizas provenientes de erupciones en 1566 y 1687. El volcán Citlaltépetl se localiza al extremo este de la Faja Volcánica en México o Sistema Tarasco-Nahua, de 800 km. de longitud y 130 km de anchura promedio, con orígenes en el Plio-Cuaternario, en esta faja que atraviesa la parte central de México, aún están activos varios volcanes incluidos Ceboruco, Colima, Popocatépetl y Citlaltépetl. (CARDI-UNAM, 2008).

La vegetación de la zona más cercana al glaciar es el páramo de altura, la cual comienza a partir de los 4000 m.s.n.m. hasta el límite que puede alcanzar la vegetación, que para México se considera cerca de los 4203 m.s.n.m. (Rzedowski, 1978). Mientras que el uso de suelo en

las faldas del volcán es agrícola y forestal, principalmente se produce maíz, frijol y papa (INE, 2005).

3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para poder cubrir el objetivo general se trabajo por etapas: (1) selección de las variables sociales; (2) la selección de la información climática y (3) la información para el modelo cartográfico. Toda la información obtenida debía cubrir los requisitos necesarios para su incorporación al modelo cartográfico.

Para la selección de las comunidades utilizadas en la primera etapa, se seleccionaron 4, fueron tomadas por su cercanía al glaciar y por estar en los principales accesos al volcán, se procedió a entrevistar a los habitantes bajo dos premisas *a)* percepción sobre la variabilidad climática en la comunidad y *b)* de existir tal, ¿cómo ha impactado o influido en su vida? (Schmidt-Verkerk, 2008). En el caso de la información climática, se tomaron las estaciones que estuvieran en los municipios más cercanos a la zona de estudio, en esta etapa se realizó un análisis de tendencias para el período 1965-1985 para las variables: temperatura máxima, mínima y precipitación y comparándola con el comportamiento normal de la zona de forma que fuera posible distinguir una posible anomalía (Se usó ese periodo por ser la única fuente de datos en estaciones que operaban). De la misma manera para determinar el comportamiento del glaciar se realizó tomando los años máximos contra la serie de datos observados y restando el gradiente térmico.

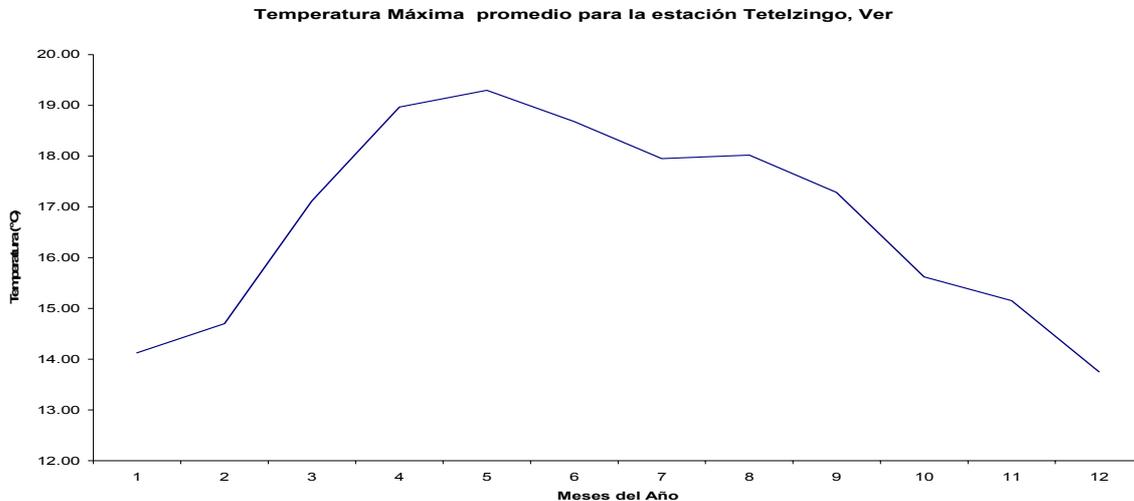


Figura 1. Comportamiento de la temperatura máxima promedio para la estación Tetezingo, Veracruz (1965-1985).

Se utilizaron funciones polinómicas del tipo

$$f(x) = ax^n + bx^{n-1} + \dots + jx + h$$

en donde n es un entero positivo, llamado, grado del polinomio; se ajustaron los modelos para cada estación en cada una de las variables de estudio.

Una vez obtenida la información, se incorporó al modelo cartográfico utilizado para evaluarla. Aisladamente, el componente temático de la información geoespacial se analiza mediante la realización de operaciones estadísticas sobre los datos, mientras que las características espaciales de la información se describen mediante técnicas de análisis espacial (UAH, 2008). Esta técnica usada en un Sistemas de Información Geográfica (SIG, utilizó ARCGIS en su versión 9.2) ubica la descripción dinámica del glaciar del pico de Orizaba.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Los resultados preliminares por etapa se muestran a continuación:

Etapa 1: Se realizaron 250 entrevistas con personas de las cuatro comunidades antes mencionadas, el objetivo era establecer una posible relación empírica entre los cambios en el entorno del volcán con su vulnerabilidad entorno al cambio climático.

	Percepción de la variabilidad del clima	Influencia en su vida		Percepción de la variabilidad del clima	Influencia en su vida
Comunidad 1	La mayoría de las personas señalan que la presencia de remos se ha intensificado, ue existe una disminución muy la temperatura en invierno y el no es mucho mayor.	Han sufrido fuertes afectaciones en su economía, pues las cosechas se ven afectadas y en algunos casos han tenido que cambiar las fechas de cosecha para reducir el impacto	Comunidad 3	La gente menciona que el aumento de las lluvias ha sido considerable; así como la presencia de eventos extremos también se ha intensificado.	Esto ha traído consigo una baja en los cultivos, provocada por la erosión del suelo.
Comunidad 2	En esta comunidad la mayoría de las personas señala que existe un aumento en las precipitaciones.	Esto los ha llevado a tener afectaciones en sus viviendas. Además debido a que es una comunidad dedicada a la agricultura, un cambio en los patrones de precipitación también les afecta.	Comunidad 4	Existe un cambio drástico (adelanto o atraso) en los patrones de precipitación	La comunidad ha tenido que cambiar sus fechas de cosecha, con tal de reducir el impacto en su economía.

Tabla 1. RESUMEN DE LA PERCEPCIÓN POR COMUNIDAD

Esto hace evidente que la variabilidad climática en la zona de estudio, por lo que se procedió a evaluar la información climática correspondiente en la etapa 2.

Etapa 2: Después de analizar la calidad de cada una de las estaciones de estudio y obtener las normales climatológicas de cada municipio, se realizaron los comparativos correspondientes. La Figura 2 muestra los resultados obtenidos, la línea azul es la tendencia de los datos observados mientras que la línea verde hace mención a los datos mensuales obtenidos de las normales climatológicas y por último la línea negra es el modelo ajustado para esta estación en particular.

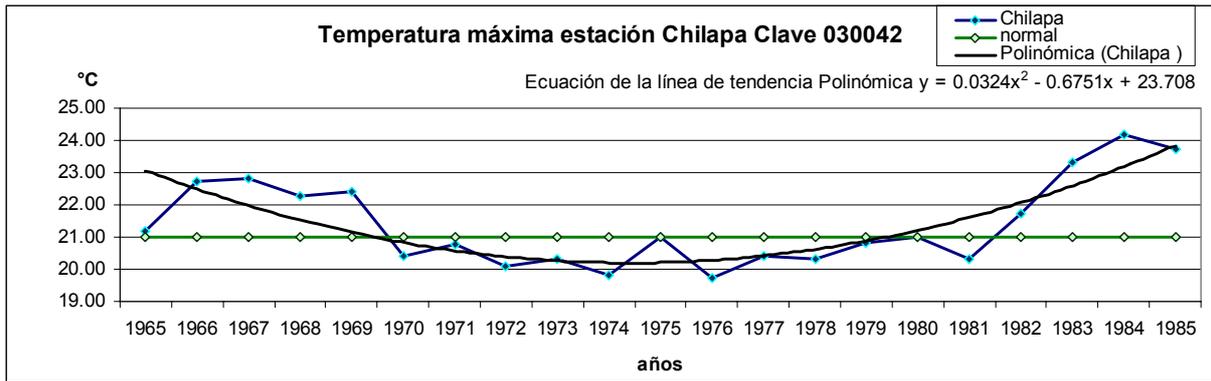


Figura 2. Temperatura máxima promedio para la estación Chilapa, Veracruz (1965-1985).

Este mismo procedimiento se realizó para cada estación y para cada variable meteorológica utilizada. Una vez obtenidos los modelos ajustados, se tomaron los años máximos y mínimos en cada una de las variables y estaciones, con ellos se procedió a estimar las condiciones óptimas del glaciar. Esto se realizó bajo la siguiente fórmula:

$$\text{Glaciar} = \text{Año máximo vs serie de datos diarios} - \text{gradiente térmico.}$$

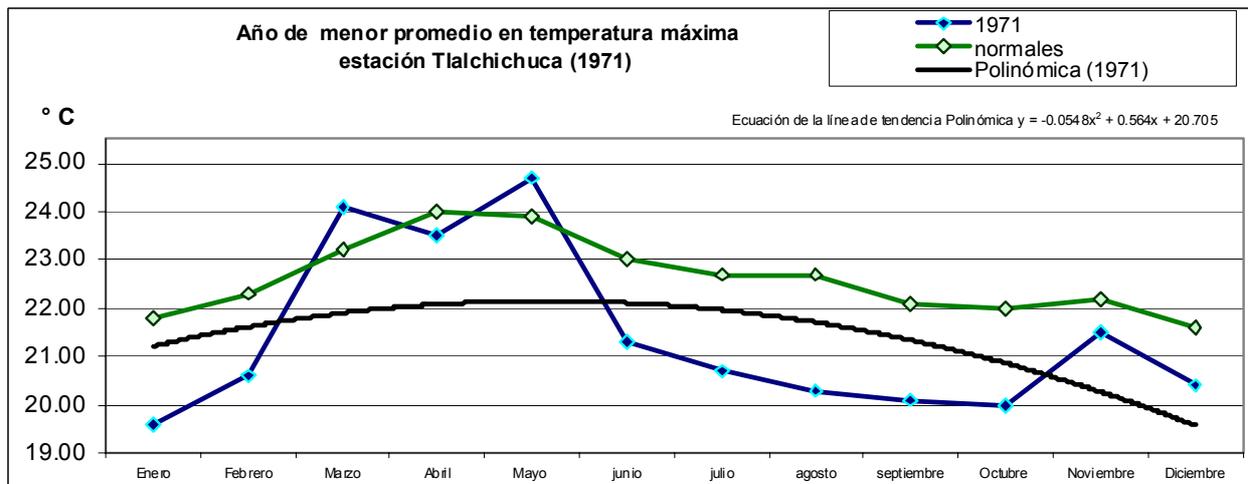


Figura 3. Año de menor temperatura máxima para la estación Tlalchichuca, Veracruz

Etapa 3: El análisis del modelado cartográfico, permitió estimar el área del glaciar en 1995 y 2007, así como las diferencias existentes entre 2007 y 1959, 1995 y 1959. En 1995 el área calculada aproximada es de 0.917 Km^2 , esta representa tan solo el 9.66% del área existente en 1959, la cual era de 9.5 Km^2 (Lorenzo, 1959), y el área perdida es de 8.5823 Km^2 durante 36 años.

En comparación con 1959, hasta el año de 2007 el glaciar a perdido 8.8617 Km^2 , en porcentaje esto representa cerca del 2 % anual. Sin embargo si se comparan los porcentajes de las áreas de 1995 y 2007, tomando como base 1995, se observa una perdida de área glaciar

equivalente a 30.504 % en 12 años o lo que es lo mismo el 2.5% anual, lo que hace suponer que entre más pequeña se hace el área glaciaria, más rápido disminuye.

El SIG también señala, que la orientación del glaciar es hacia el noroeste y que pequeñas lenguas, alcanzan hasta la cota de los 5000 m.s.n.m. en 1995 mientras que el 2007 rebasa ligeramente la cota de los 5100 m.s.n.m. esto contrasta con lo reportado por Lorenzo que dice que lenguas del glaciar descendían hasta la cota de los 4500 m.s.n.m (Figura 4)

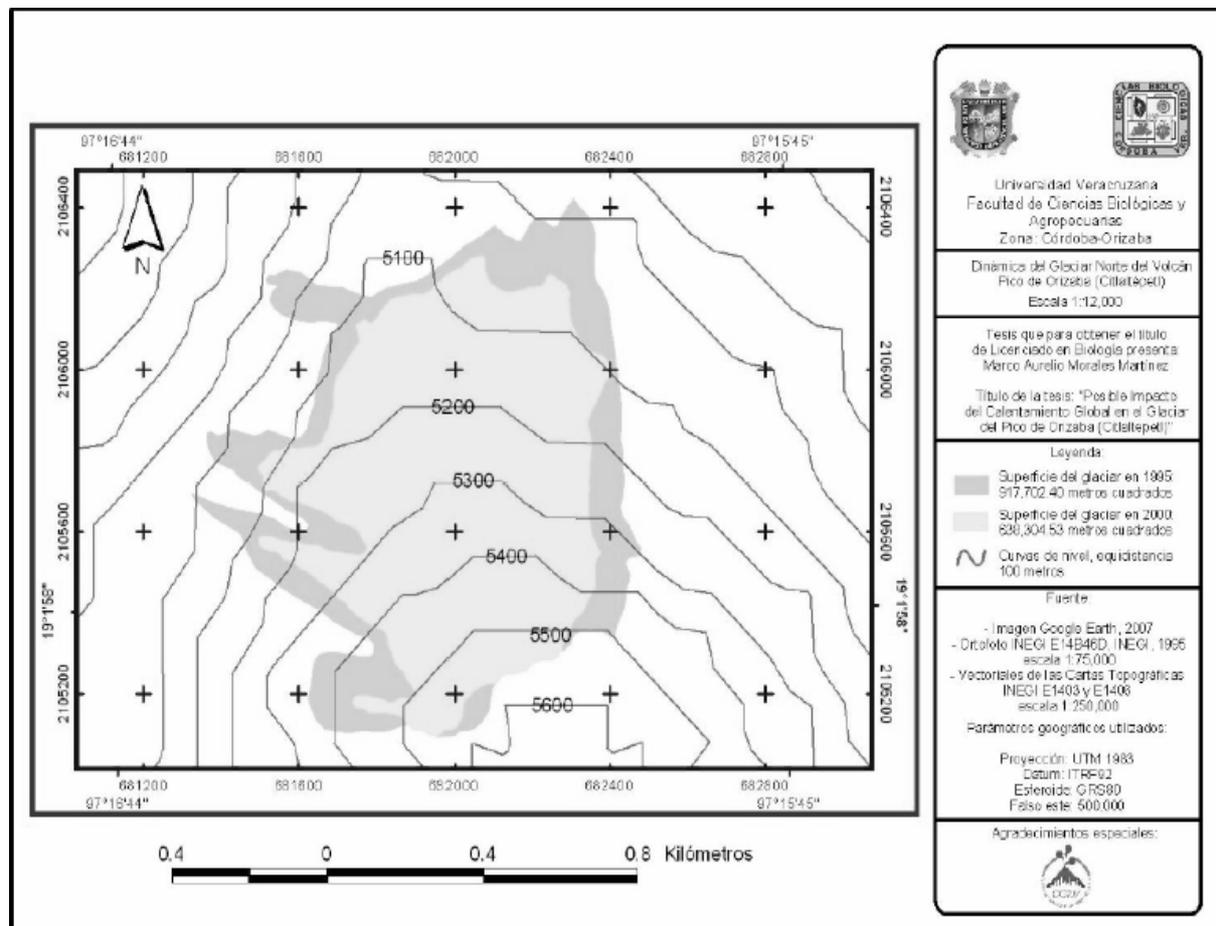


Figura.4. Retroceso del glaciar del Citlaltépetl.

De la figura 3 es posible observar que existe una variabilidad alta en la anomalía de temperatura como para poder establecer que existe un comportamiento de incremento, las otras tres estaciones no muestran una variabilidad tan grande, es necesario evaluar otras variables del entorno antes de poder establecer la posible correlación con el cambio climático, sobretodo por que en esos años los cambios en el uso de suelo y las actividades agropecuarias sufrieron un incremento, el cambio de forestal a agrícola fue prácticamente exponencial en la zona, tal como se observa de los datos espaciales del Instituto Nacional de Ecología

La precipitación en la zona sufre pequeños cambios en este período, mientras que su mayor intensidad se centra en los meses de junio y julio, en la estación que se encuentra ubicada en el estado de Puebla se observa un ligero incremento de 1.5% anual, mientras que en las estaciones del estado de Veracruz permanecen casi sin cambio en el valor anual, y sólo se observa un cambio en su distribución mensual.

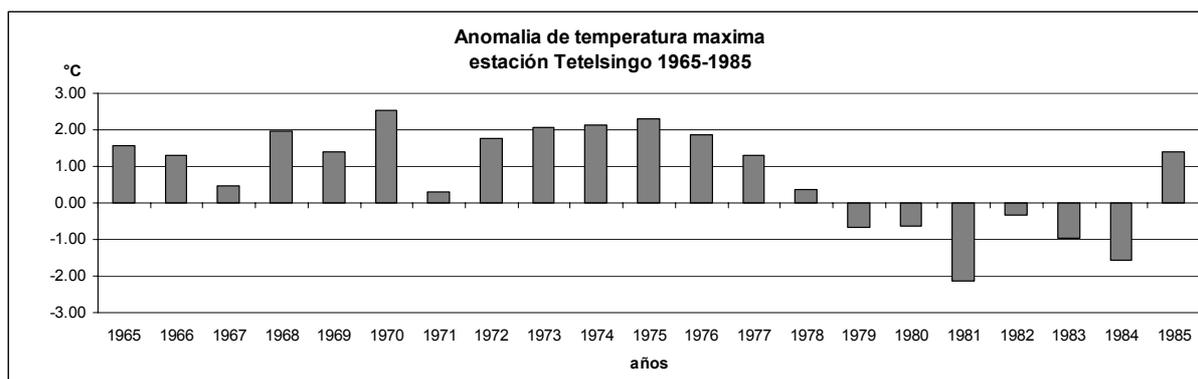


Figura 4. Anomalía de temperatura máxima.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo intentó integrar de manera visible variables climatológicas y socio-ambientales con el fin de propiciar un análisis de la vulnerabilidad del cambio climático o de los posibles impactos del cambio climático en un área altamente sensible como lo es el Citlaltépetl, dado que en él existe un glaciar que provee de recurso hídrico a las comunidades que le rodean en los estados de Veracruz y Puebla.

De la integración de datos en un sistema de información geográfico es posible señalar que permite manejar variables cualitativas y cuantitativas estableciendo comportamientos o patrones territoriales, de los datos climatológicos disponibles no es posible concluir que la disminución del glaciar sea un efecto directo del cambio climático global y se pueda correlacionar con los datos locales, la falta de series temporales largas y de calidad no permitieron realizar un diagnóstico más estricto, por otro lado las variables ambientales (uso de suelo) y económicas (actividades agropecuarias) coinciden con el comportamiento a nivel global, un patrón exponencial en el cambio de uso de suelo es un ejemplo de ello.

Uno de los problemas más graves fue encontrar series largas de buena calidad para hacer una análisis estadístico, de los datos obtenidos para un período de 20 años, de 1965 a 1985, en cuatro estaciones cercanas al glaciar y dentro del parque nacional Pico de Orizaba se encontró que la temperatura máxima sufrió un incremento en su valor promedio anual cercano al 0.33%, la temperatura máxima mensual se presenta en el mes de mayo y dependiendo de la estación se puede estar hablando de una anomalía entre 1 y 1.5°C para ese periodo de tiempo.

Existe una alta sensibilidad en la percepción de eventos extremos como granizadas o lluvias intensas, señalan que de 2004 a 2008 su frecuencia fue constantes (al menos una vez por año) y los impactos se traducen en pérdidas en la infraestructura de comunicación, caminos rurales, rutas de equinos, que les han dejado incomunicados por varios días, mientras que en el pasado aún cuando ocurrían en menor intensidad nunca quedaban totalmente incomunicados. Además el impacto en la economía local es alto dado la subsistencia con cultivos como maíz, haba y papa, que han sido perdidos al 100%.

Aunque es necesario señalar que el proyecto necesita más tiempo, más datos, más recursos humanos para poder determinar si los efectos que se perciben en el glaciar son potencialmente causados por el calentamiento global o efecto local de los patrones locales del cambio global, es una aproximación que puede ser utilizada de base.

6. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado gracias al apoyo del proyecto PROMEP/103.5/07/2753 "Contribución de Veracruz al Cambio Global" que permitió el trabajo de campo en la zona de estudio, adquisición del SIG, cartografía y datos para evaluar los efectos del cambio global para el estado de Veracruz.

7. REFERENCIAS

B. Trewin. 2007 Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Programa mundial de datos y vigilancia del clima, Organización Meteorológica Mundial (OMM) [consultado 15 abril 2009] disponible en: www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/wcdmp_series/documents/Theoleofclimatologicalnor_malsinachangingclimateSp.doc

CARDI-UNAM, 2008, Laboratorio de Cartografía Digital. [consultado 16 diciembre 2009] disponible en: <http://cardi.igeofcu.unam.mx/>

Chancos J. 2004. Retroceso Glaciar e Impacto Ambiental en los Montes Andinos del Perú. Publicado en Revista electrónica Cantuta [consultado 13 de agosto 2008] disponible en: <http://runapacha.iespana.es/paginas/4geografia/pdf/geografia007.pdf>

Delgado H. 1986. Los glaciares de México: Metodología para su estudio. Serie Docencia y Divulgación N°. 7, UNAM México D.F. [consultado 13 de mayo 2008] Disponible en: <http://www.geofisica.unam.mx/popoc/colaboracion/GTNH/files/mexico/Delgado-1986.pdf>

Delgado H. 1996. Los glaciares del Popocatepetl: Huéspedes efímeros de las montañas. Ciencias N° 41 UNAM, México D. F. Enero-Marzo 1996

Delgado H. 2005, Study of Ayoloco Glacier at Iztaccíhuatl Volcano (Mexico): hazards related to volcanic activity – ice cover interactions. [consultado 15 noviembre 2008] Julio 2005 Publicado en: <http://www.geofisica.unam.mx/popoc/colaboracion/GTNH/publicaciones.html>

Delgado H. 2007, Chronicle of a death foretold: Extinction of the small-size tropical glaciers of Popocatepetl volcano (Mexico), Publicado en Global and Planetary Change en febrero 2007, [consultado 15 noviembre 2008] disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VF0-4M33W65->

ESRI, 2006, Arc Gis 9 Using ArcGIS Desktop, impreso en The United States of America.

INE (Instituto Nacional de Ecología), Sistema de consulta de mapas digitales sobre planificación territorial y biodiversidad, [consultado agosto 25 2008], disponible en: <http://mapas.ine.gob.mx/temas.html?seleccion=Vegetación>

IPCC, 2001. Cambio Climático Impactos, Adaptación y vulnerabilidad, consultado [consultado 20 Septiembre 2007], <http://www.ipcc.ch/languages/spanish.htm>

IPCC, 2002. (Panel Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático) Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo II, 2002. CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD, Documento técnico V del IPCC. Ginebra, Suiza.

IPCC. 2007. Cambio climático 2007, Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

Martínez J., Fernández A. compiladores, 2007. "Cambio climático : Una visión desde México INE-SEMARNAT, tercera reimpresión Mexico D.F.

Korner, C. 2000 EL CAMBIO GLOBAL Y LOS ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA. *Publicado en Gayana Bot*, vol.57, [consultado 20 Septiembre 2007], p.1-17. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432000000100001&lng=es&nrm=iso

Lorenzo J. L. 1959, Los glaciares de México, UNAM, Instituto de Geofísica, Monografías México D. F.

Lorenzo J. L. ., 1964, Los glaciares de México segunda edición, UNAM, Instituto de Geofísica, Monografías México D. F.

Martínez, J. 1988 La Vegetación de la Zona Noreste del Pico de Orizaba, Veracruz, México. Tesis Licenciatura, Universidad Veracruzana, Facultad de Biología zona Xalapa, [Biblioteca INECOL A. C Xalapa]

Schmidt-Verkerk, 2008. Climate Change and Migration: Improving Methodologies to Estimate Flows, Sussex University, Brighton, UK, International Organization for Migration (IOM), [consultado 20 enero 2009] disponible en: http://www.iom.cz/files/Climate_Change_and_Migration_MRS_331.pdf

SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1998. México Ante el Cambio Climático, primera edición México, D.F.

Thompson L., Evidence from Observations of Glaciers and Ice Sheets, The Ohio State University, [consultado 20 agosto 2007] disponible en: <http://www.ametsoc.org/atmospolicy/documents/Thompson%20senate307.pdf>