



Restauración parcial del Lago de Texcoco como medida de adaptación al cambio climático y mejoramiento de la calidad del aire en el Valle de México

Por:

Agustín García Reynoso*, Arón Jazcilevich Diamant, Erika Danaé López Espinoza, Jorge Zavala Hidalgo, Rosario Romero Centeno, Williams Vázquez Morales, Emmanuel Díaz Nigenda,

Robert Bornstein, John Tatarko, Gerardo Ruiz Suárez

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

*Coordinador del proyecto: agustin@atmosfera.unam.mx

Tel: 56 22 40 73

Índice

APLICACIÓN PRELIMINAR DEL MODELO MCCM-WEPS PARA DETERMINAR IMPACTO EN CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN EL VALLE DE MÉXICO	1
INTRODUCCIÓN	1
METODO	2
RESULTADOS.....	3
CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO	11
REFERENCIAS	11
II. RESULTADOS PRELIMINARES DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS CON EL MODELO WRF PARA MEDIR EL IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AIRE POR LA RESTAURACIÓN PARCIAL DEL LAGO DE TEXCOCO	12
INTRODUCCIÓN	12
CONFIGURACIÓN DEL EXPERIMENTO NUMÉRICO.....	12
SIMULACIÓN DEL LAGO DE TEXCOCO.....	14
RESULTADOS.....	15
VALIDACIÓN.....	20
TRABAJO EN CURSO.....	24
REFERENCIAS	25

APLICACIÓN PRELIMINAR DEL MODELO MCCM-WEPS PARA DETERMINAR IMPACTO EN CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN EL VALLE DE MÉXICO

Por:

**Emmanuel Díaz Nigenda
Agustín García Reynoso
Williams Vázquez Morales
Arón Jazcilevich**

INTRODUCCIÓN

Durante la temporada de secas, fría (noviembre-enero) y caliente (febrero-abril), las actividades agrícolas inician en espera de las primeras precipitaciones pluviales. Estas acciones consisten en quitar toda la cobertura vegetal del suelo para el barbecho de los terrenos. Una vez que el suelo ya no cuenta con protección, la incidencia de vientos intensos provoca que estas áreas sean propensas al fenómeno de la erosión eólica al encontrarse las condiciones favorables para desencadenar el proceso erosivo sobre la superficie del suelo (Díaz-Nigenda, 2010).

Debido a la cantidad de partículas que son emitidas por los suelos agrícolas durante esta temporada, altos niveles de concentración de PM₁₀ se reportan en la Ciudad de México, sobre todo cuando la velocidad media del viento es cercana a 8m/s. Otra de las áreas que impactan considerablemente la calidad del aire de la zona noreste de la ciudad, es el vaso del antiguo Lago de Texcoco (Vega *et al.*, 2002; Díaz-Nigenda, 2005; Díaz-Nigenda, 2010), el cual posee un área aproximada de 70km². Aproximadamente el 43% está desprovista de vegetación (Fernández-Buces, 2006).

METODO

Para estudiar el impacto que tienen las emisiones de partículas provenientes de la región del vaso del antiguo Lago de Texcoco, se empleó el modelo de calidad del aire y erosión del suelo MCCM-WEPS (Díaz-Nigenda, 2010) sobre el Valle de México. Tomando como consideración concentraciones superiores a $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ y vientos intensos del noreste, este y sureste observados en las estaciones San Agustín (SAG) y Xalostoc (XAL), se seleccionó el evento ocurrido el 29 de Noviembre del 2008, donde la RAMA reporta un evento de las 14:00hrs a las 18:00hrs, alcanzando una concentración máxima $642\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 15:00hrs en SAG. Según reportes de la estación, los vientos provenían del sur y sureste, los cuales presentaban intensidades cercanas a 7m/s sobre áreas rurales y semiurbanas.

Considerando lo anterior, se plantearon los siguientes experimentos para estudiar el impacto que tendría la regeneración del vaso del Lago:

Experimento 1. Realizar la simulación del evento considerando las condiciones del suelo en la región de interés.

Experimento 2. Realizar la simulación del evento considerando la regeneración total del vaso del Lago.

El modelo MCCM-WEPS fue implementado utilizando tres dominios anidados. El primero de ellos incluye la mayor parte de la República Mexicana además del Océano Pacífico y el Golfo de México con una resolución de 27km en cada una de sus celdas; el segundo dominio abarca la región central del país con resolución de 9km. El tercer dominio se enfoca a la región de la cuenca de México con una resolución espacial de 3km.

Así mismo, la técnica de análisis objetivo (asimilación de datos) fue utilizada durante la simulación del escenario, esto mediante la incorporación de variables observadas por las estaciones de la RAMA para mejorar el análisis meteorológico en la malla del modelo. Las variables que fueron incorporadas son la intensidad y dirección del viento,

temperatura superficial y humedad relativa. Dicha técnica fue aplicada solamente en el segundo y tercer dominio.

RESULTADOS

Se compararon los resultados de la implementación del modelo con los datos reportados por las estaciones de monitoreo. En la Figura 1, Figura 2 y Figura 3 se comparan las temperaturas, intensidades y direcciones de los vientos respectivamente en las estaciones que se encuentran en las cercanías del vaso del Lago.

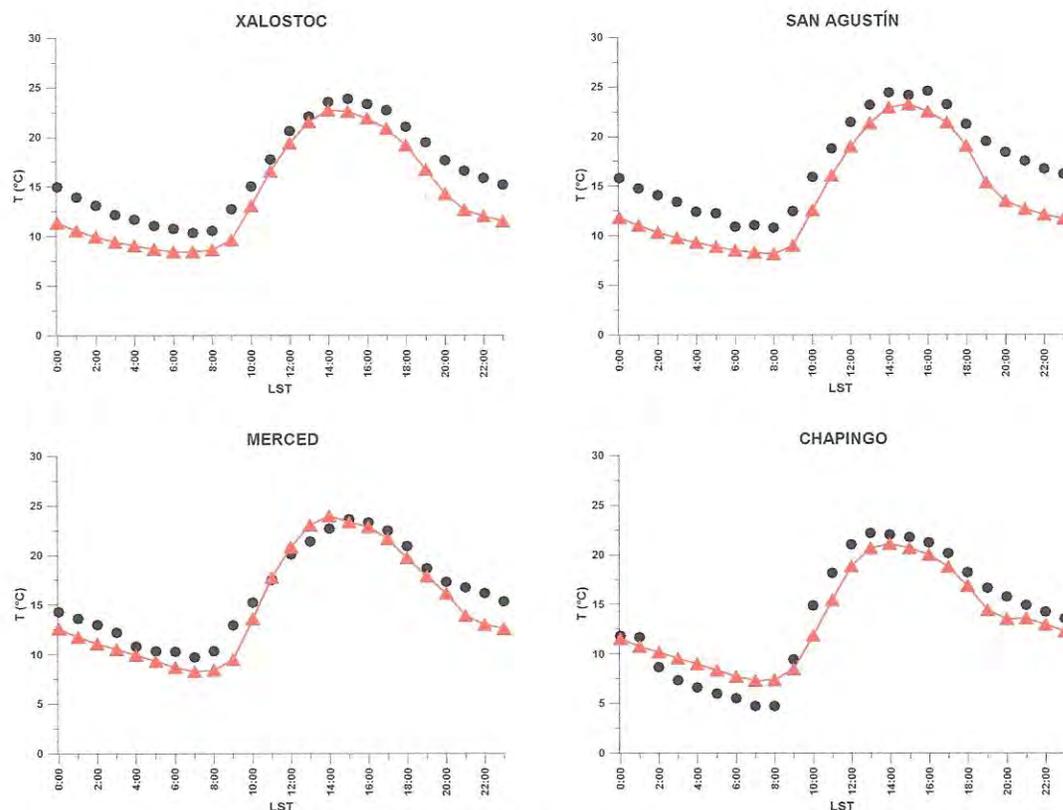


Figura 1. Variación horaria de temperatura superficial (°C) entre los datos reportados por las estaciones de la RAMA (●) y los generados por el modelo (▲) durante la simulación.

En la Figura 1 se observa que las temperaturas reportadas por las estaciones de monitoreo y los resultados generados por el modelo, muestran una buena correlación entre los datos para el escenario seleccionado. Las series de tiempo correspondientes

a intensidades de vientos (Figura 2) muestran una buena aproximación a los datos reportados por las estaciones.

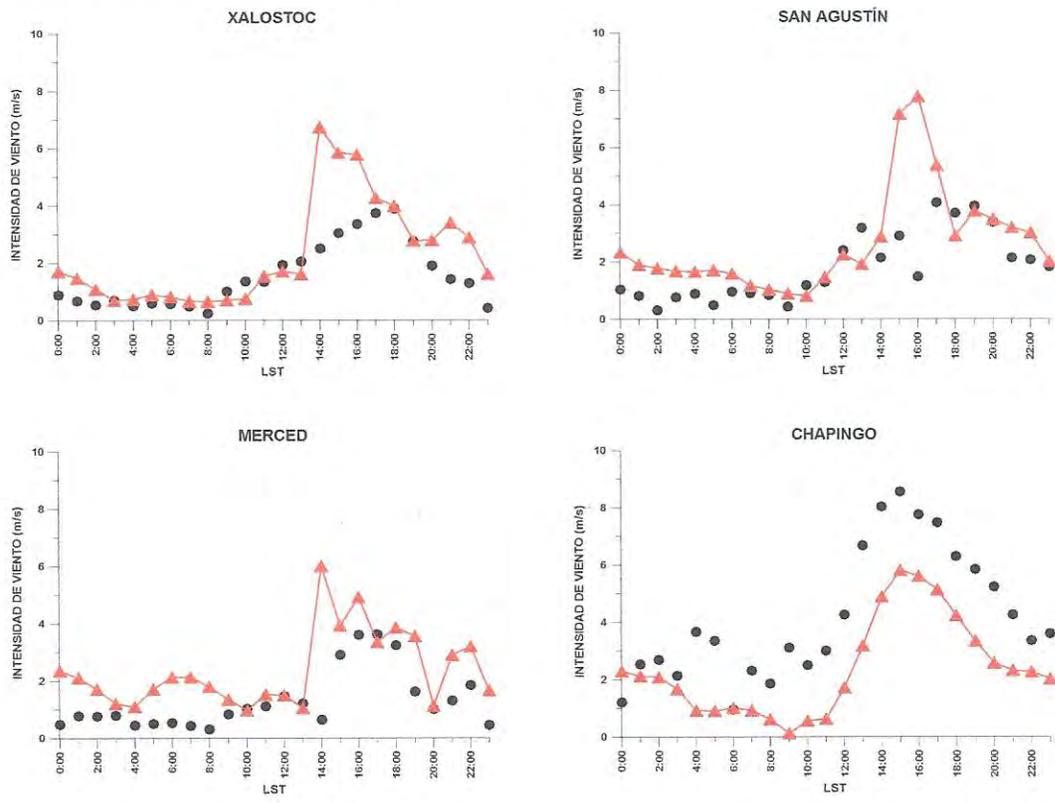


Figura 2. Variación horaria de intensidades de vientos (m/s) entre los datos reportados por las estaciones de la RAMA (●) y los generados por el modelo (▲) durante la simulación.

En la Figura 3 se muestran series de tiempo de direcciones de viento. Como se observa, los resultados del modelo presentan diferencias significativas a los datos reportados por las estaciones de monitoreo durante las primeras horas de la mañana, sin embargo, los resultados de la simulación se aproximan considerablemente a los datos observados conforme avanzan las horas del día.

De manera general se observa que el modelo MCCM-WEPS, reproduce de una manera aceptable la meteorología local presente durante el evento de contaminación.

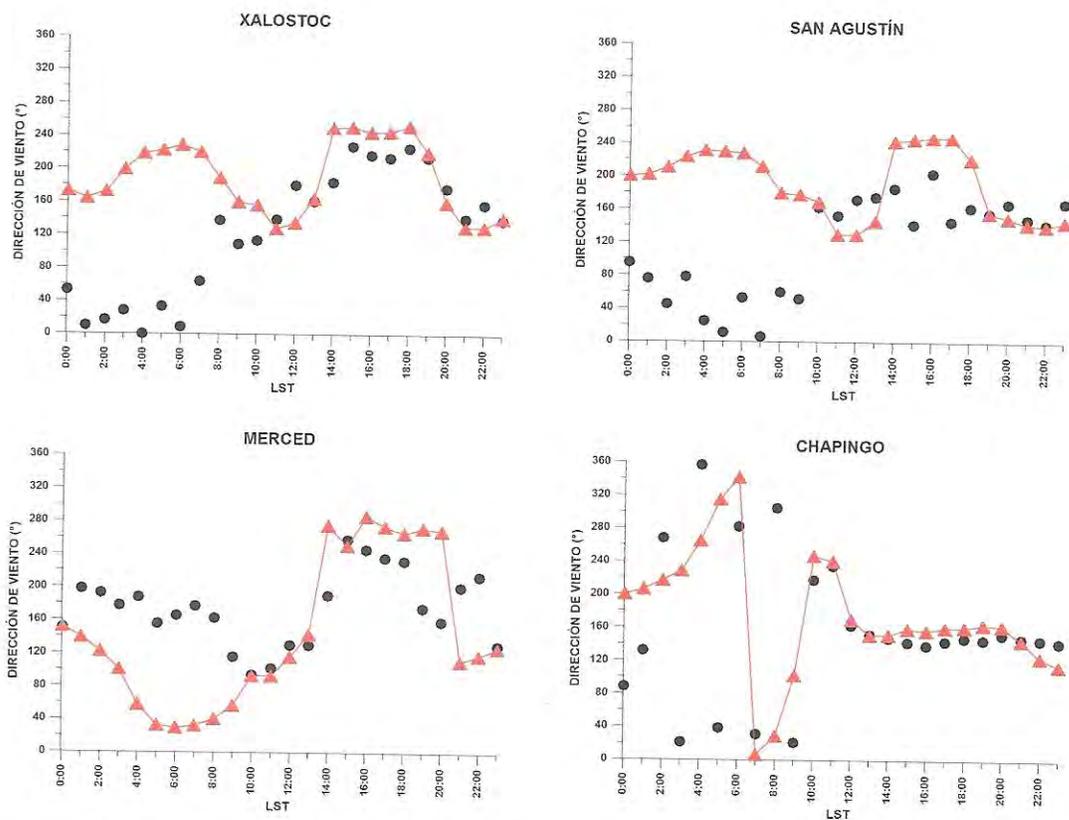


Figura 3. Variación horaria de direcciones de vientos (°) entre los datos reportados por las estaciones de la RAMA (●) y los generados por el modelo (▲) durante la simulación.

RESULTADOS EXPERIMENTO 1. Simulación del evento considerando las condiciones superficiales actuales del suelo del vaso del Lago.

Para este experimento, fueron considerados los parámetros de suelo propios de la región; a mencionar: textura, cobertura de biomasa, rugosidad, contenido de humedad, entre otros.

Como se observa en la Figura 4, el sistema MCCM-WEPS pudo reproducir el evento reportado por la estación SAG. El modelo pronostica una concentración máxima de $657\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 16:00hrs, justamente una hora después de que la estación reporta su concentración máxima. Los picos de concentraciones observados en la estación (15:00 y 17:00hrs) no pueden ser reproducidos por el sistema debido a ligeras diferencias entre la dirección del viento observada y la simulada.

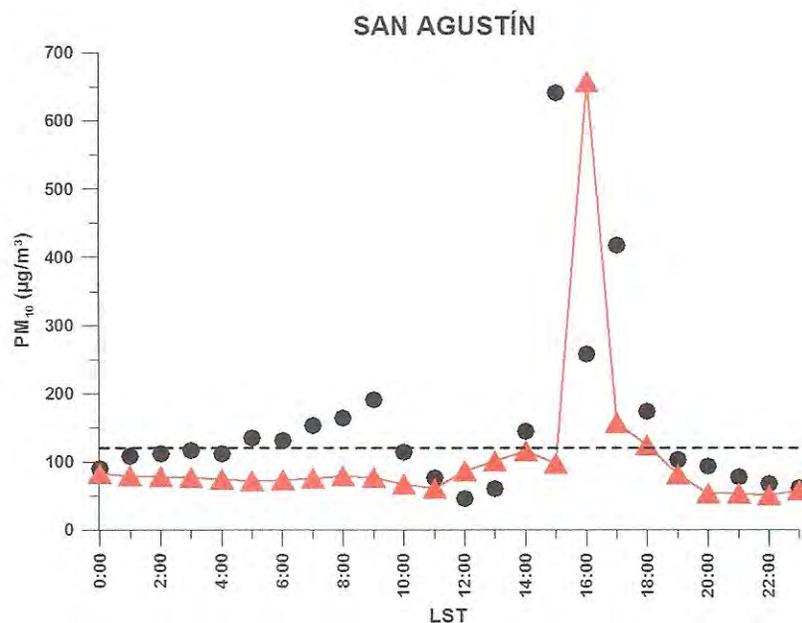
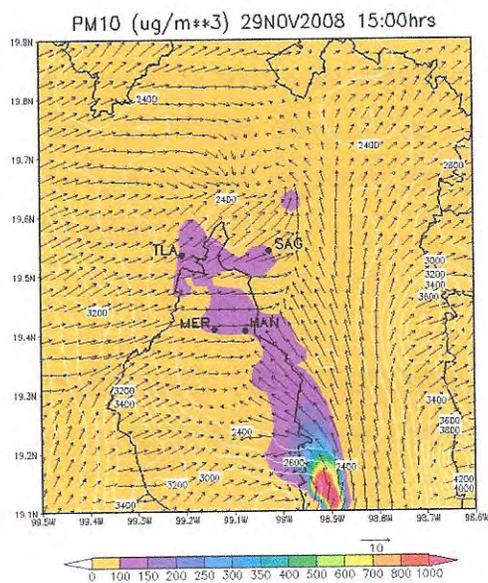


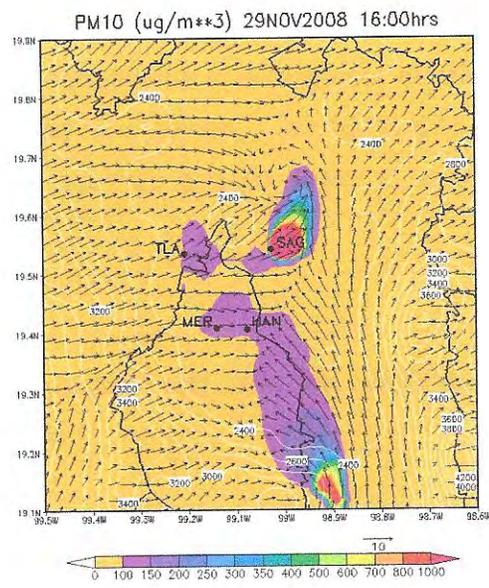
Figura 4. Serie de tiempo de concentraciones de PM₁₀ reportadas por la estación San Agustín (●) y las generadas por el modelo (▲) durante el 29 de Noviembre del 2008. La línea punteada representa el límite máximo permisible establecido por la NOM-025-SSA1-1993.

El sistema muestra que la emisión de partículas fue generada principalmente en dos zonas: La primera en los suelos agrícolas localizados al sureste de la Ciudad de México (Tenango del Aire) y la segunda en la región del vaso del Lago (Figura 5). Las partículas emitidas en Tenango, son transportadas afectando una parte del sur, centro y el este de la ciudad, llegando a afectar también la zona norte.

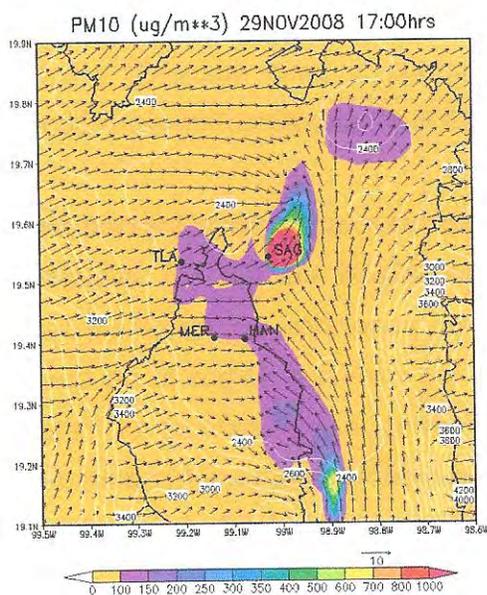
Las partículas emitidas sobre la región del vaso del antiguo Lago de Texcoco, son transportadas hasta la parte norte de la ciudad donde llegan a formarse confluencias de vientos (Figuras 5b, 5c y 5d). Díaz-Nigenda (2010) expone que las confluencias detienen el transporte horizontal de los contaminantes y como consecuencia, dan paso al transporte vertical de éstos, provocando que las concentraciones de partículas a nivel de superficie disminuyan.



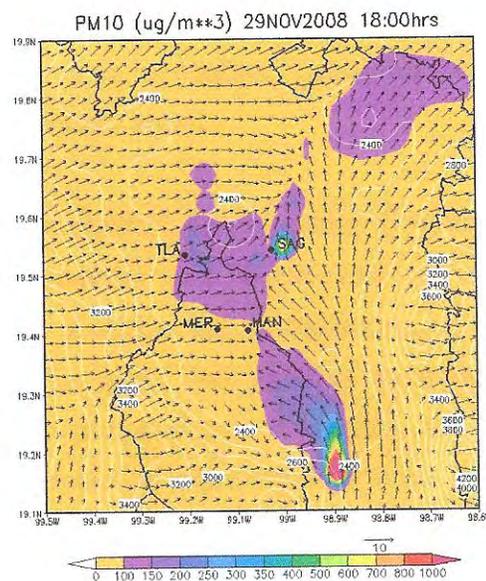
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5. Campo de vientos y concentraciones generados sobre la Cuenca de México para el 29 de Noviembre del 2008. En (a) se observa la emisión proveniente de Tenango del Aire. (b) muestra la formación de la confluencia y la emisión generada en el ex Lago de Texcoco. En (c) se observa cómo la pluma de contaminantes se ve afectada por la confluencia mientras que en (d) puede observarse la forma en la que las altas concentraciones de partículas sobre la superficie en la zona norte desaparecen. Isolíneas de nivel en m.s.n.m. (líneas blancas).

Considerando las concentraciones de partículas medidas en la estación, se observa que SAG es la zona más impactada durante este evento al sobrepasar el valor máximo permisible durante cinco horas, siendo el caso más severo a las 15:00 LST (Figura 4) en el que el valor reportado por la estación equivale a cinco veces el valor normado ($120\mu\text{g}/\text{m}^3$).

RESULTADOS EXPERIMENTO 2. Simulación del evento considerando la regeneración del vaso del Lago de Texcoco.

Para el experimento 2 por ahora se consideró un contenido de humedad del cien por ciento en el suelo, esto para simular la regeneración total del vaso del Lago de Texcoco. Esta modificación, se realizó directamente en los parámetros de suelo que el modelo WEPS lee para predecir la erosión del suelo, por lo que no existe interacción física y dinámica entre el cuerpo de agua y la atmósfera, generando las mismas condiciones meteorológicas que en el experimento anterior.

Esta primera aproximación se realizó con el objetivo de demostrar el funcionamiento adecuado del modelo MCCM-WEPS y constatar preliminarmente que se dá el abatimiento de las emisiones de partículas emitidas por el fenómeno de la erosión eólica en la región del vaso del Lago de Texcoco. Una vez que se establezcan la superficie lacustre y las correspondientes temperaturas del agua, así como las parametrizaciones para establecer las interacciones agua-atmósfera, se incorporarán para realizar este ejercicio nuevamente.

Como se observó en la Figura 4, el sistema MCCM-WEPS pudo reproducir el evento reportado por la estación SAG. Partiendo de las modificaciones realizadas a los parámetros de suelo para lograr el 100% de humedad de éste, la Figura 6 muestra que se tiene un efecto positivo en el abatimiento de las emisiones de partículas en esta región. Se logra disminuir considerablemente las concentraciones máximas de este contaminante.

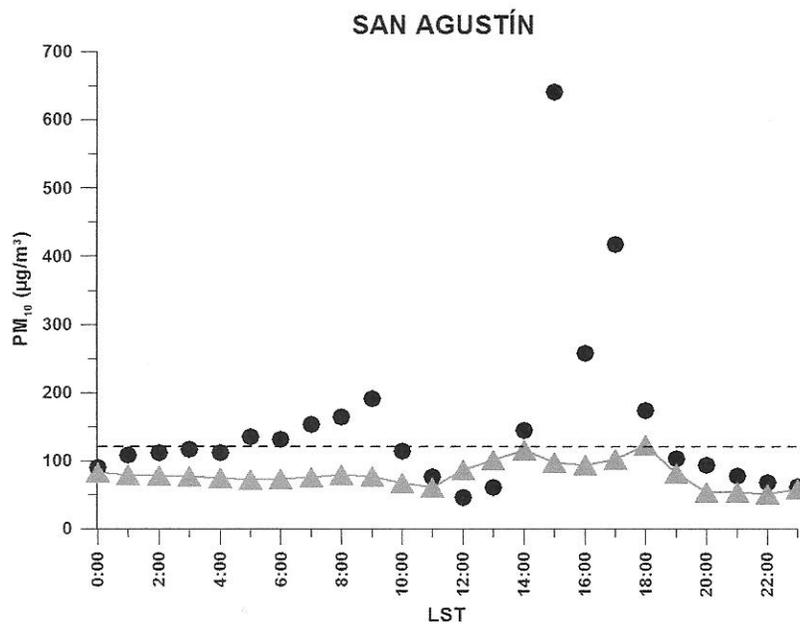
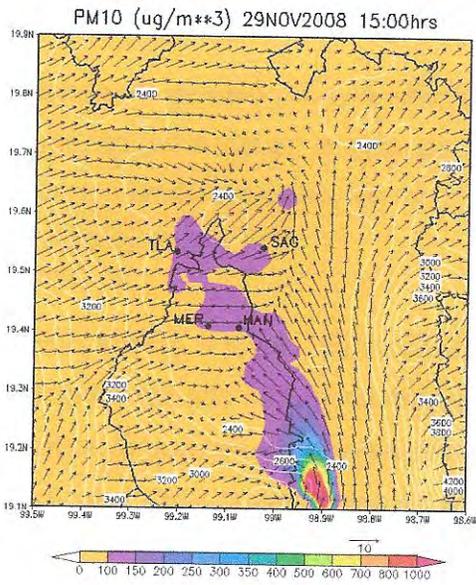
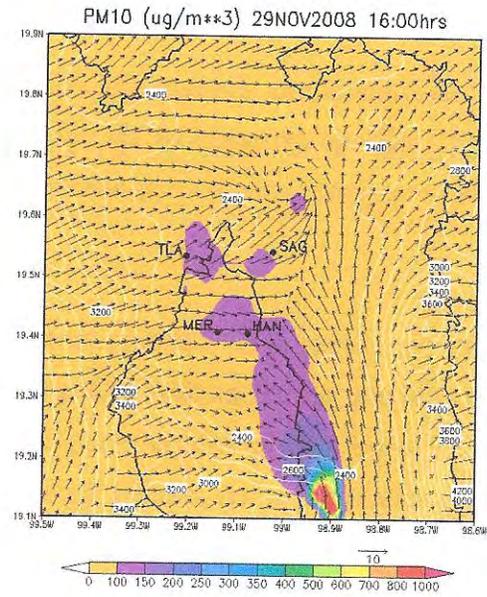


Figura 6. Serie de tiempo de concentraciones de PM₁₀ reportadas por la estación San Agustín (●) y las generadas por el modelo (▲) durante el 29 de Noviembre del 2008. La línea punteada representa el límite máximo permisible establecido por la NOM-025-SSA1-1993.

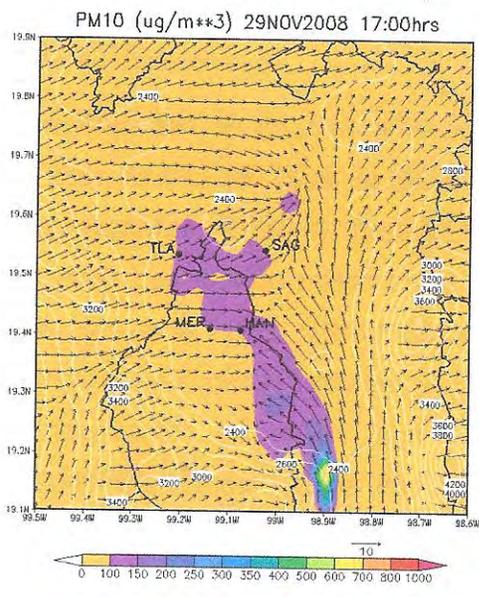
Considerando la eliminación de la emisión de partículas del vaso del Lago, en la Figura 7 se observa que para este evento en particular, quedarían como principal fuente de emisión de partículas las zonas agrícolas del sureste del Valle de México (Tenango del Aire). Estas afectan la calidad del aire de la zona centro y sur de la ciudad.



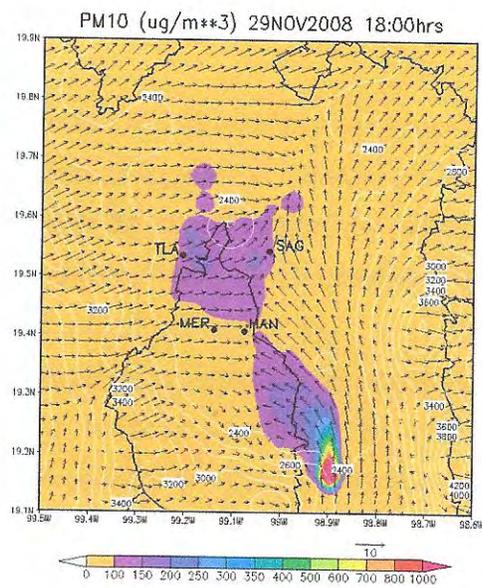
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7. Campo de vientos y concentraciones generados sobre la Cuenca de México para el 29 de Noviembre del 2008. Se observa la emisión proveniente de Tenango del Aire y la mitigación de las emisiones generadas en el ex Lago de Texcoco. Isolíneas de nivel en m.s.n.m. (líneas blancas).

CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

Usando el modelo MCCM-WEPS y utilizando de manera preliminar un 100% de humedad del suelo en la zona del vaso del Lago de Texcoco, se constató que, para un escenario meteorológico, las emisiones de material particulado (PM_{10}) son reducidas de forma importante.

Como trabajo a futuro, se incorporará el cuerpo de agua en la región, de manera que exista interacción física y dinámica entre éste y la atmósfera, por lo que las condiciones meteorológicas en la región sufrirán cambios. Esto tendrá efectos en el transporte de partículas PM_{10} provenientes de otras fuentes de interés, como los suelos agrícolas de Tenango del Aire. Se necesitará comparar los escenarios utilizando algún indicador como Exposición Potencial.

REFERENCIAS.

- Díaz-Nigenda, E. 2005. *Modelación de partículas PM_{10} emitidas por erosión eólica en el Valle de México*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ingeniería, UNAM. 84 pp.
- Díaz-Nigenda, E. 2010. Estudio del fenómeno de la dispersión de partículas PM_{10} emitidas por erosión eólica en el Valle de México. Tesis de Doctorado. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. 88 pp.
- Fernández-Buces, M. Norma. 2006. *Variabilidad espacial de la salinidad y su efecto en la vegetación en el Ex lago de Texcoco: Implicaciones para su monitoreo por percepción remota*. Tesis de Doctorado. Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. 210pp.
- Vega, E., Reyes, E., Sánchez, G., Ortíz, E., Ruíz, M., Chow, J., Watson, J., Edgerton, S. 2002. *Basic statistics of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the atmosphere of Mexico City*. The Science of the Total Environment, 287: 167-176.

II. RESULTADOS PRELIMINARES DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS CON EL MODELO WRF PARA MEDIR EL IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AIRE POR LA RESTAURACIÓN PARCIAL DEL LAGO DE TEXCOCO

Por:

**Erika Danaé López Espinoza,
Jorge Zavala-Hidalgo
Rosario Romero Centeno**

INTRODUCCIÓN

Para estudiar el impacto en la meteorología local por la restauración del Lago de Texcoco se realizan simulaciones numéricas utilizando el modelo Weather Research and Forecasting Advanced Research (WRF-ARW). Para este fin se incorporan cambios en el uso de suelo y cobertura vegetal pertinentes en la región del ex - vaso del Lago de Texcoco. Los resultados que se presentan muestran que estos cambios inducen variaciones en las variables meteorológicas de humedad y temperatura, así como en cambios en la dirección del viento. Los resultados obtenidos serán ajustados posteriormente ya que se necesita introducir valores de temperatura del agua en el ex - vaso de Texcoco diferentes a los usados en estos experimentos computacionales, como podrían ser los datos medidos en el actual Lago Nabor Carrillo.

CONFIGURACIÓN DEL EXPERIMENTO NUMÉRICO

El modelo usado para realizar la simulación de este estudio fue el Weather Research and Forecasting Advanced Research (WRF-ARW) versión 3.0.1. La simulación fue realizada empleando cuatro dominios anidados que cubren gran parte del territorio mexicano (Figura 1). El dominio con resolución más alta tiene una dimensión de 175x133 puntos de malla y una resolución de 1km. El uso de suelo y cobertura vegetal

empleado para este dominio fue de una resolución de 30 segundos. La simulación abarca 169 horas en modo pronóstico con salidas cada hora, iniciando el 14 de junio de 2011 a las cero horas tiempo local y terminando el 13 de junio de 2011 a las 19:00 horas tiempo local. Para realizar las simulaciones el modelo fue configurado usando una proyección Mercator, con un paso de tiempo de 30 segundos, 27 niveles verticales y anidamiento en un sentido. La física del modelo fue configurada usando una parametrización de cúmulus Betts-Miller-Janjic, el modelo de superficie de la tierra NOAH con modelo Canopy Urbano; en el esquema de radiación de onda larga se empleó RRTM (Rapid Radiative Transfer Model) y en el de onda corta Dudhia. Como esquema en la capa límite se usó Yonsei University (YSU) y para las condiciones iniciales y de frontera fueron empleados datos NCEP FNL (Final) Operational Global Analysis de 1.0x1.0 grados cada seis horas. En la figura 1 se pueden observar los dominios anidados de la simulación.

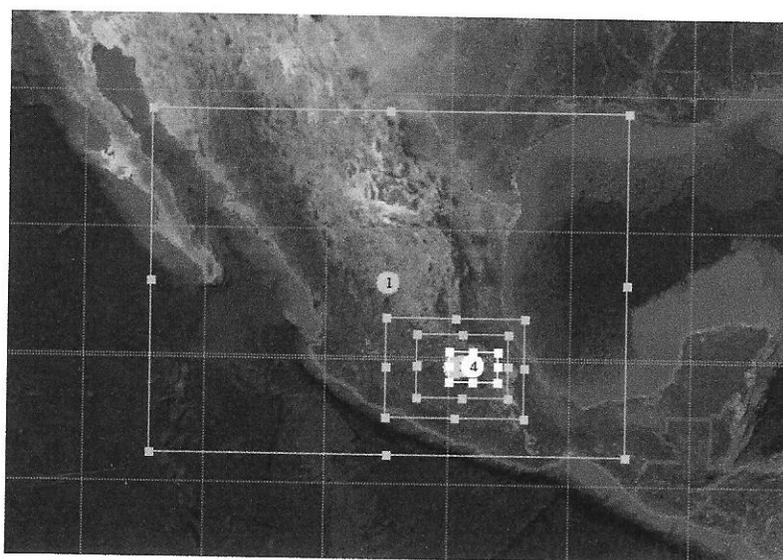


Figura 1. Dominios definidos para los experimentos numéricos. Dominio uno con 81x60 puntos de malla y una resolución de 27km, el segundo dominio con una resolución de 97x61 puntos de malla y una resolución de 9km, el tercer dominio con una resolución de 190x115 puntos de malla y una resolución de 3km, finalmente el cuarto dominio con una resolución de 175x133 puntos de malla con una resolución de 1km.

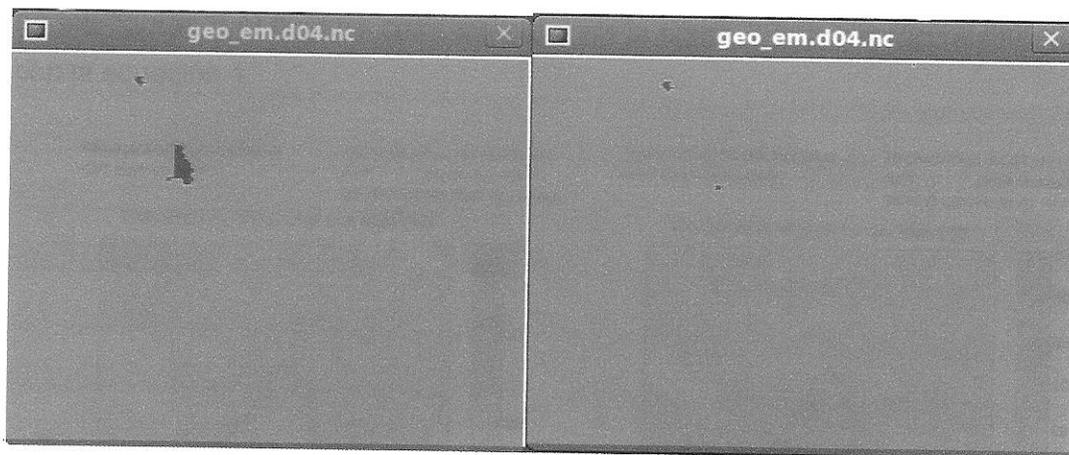
SIMULACIÓN DEL LAGO DE TEXCOCO

El Lago de Texcoco que se simuló se presenta en la figura 2 en color azul. .



Figura 2. Dimensiones del Lago de Texcoco (en azul) simulado para medir el impacto en la meteorología local. En la figura se observa también el lago Nabor Carrillo.

El modelo WRF versión 3.0.1 usa datos de uso de suelo y vegetación (LULC) Global Land Cover Characteristics (GLCC) generados por el United States Geological Survey (USGS) en 1993. El Lago de Texcoco que se encuentra definido en los datos de LULC es el que se presenta en la figura 3a, mientras que el Lago de Texcoco que es considerado como parte de la restauración se presenta en la figura 3b.



a.

b.

Figura 3. a) Lago de Texcoco definido en la máscara de agua que usa el modelo WRF. b) Propuesta del nuevo Lago de Texcoco definido en la máscara de agua al introducirlo en los datos de uso de suelo y vegetación.

RESULTADOS

Las variables analizadas fueron la temperatura superficial a 2 metros, los flujos de calor latente y sensible, el viento en superficie y la humedad relativa [1]. El modelo trabaja con humedad específica por lo cual es necesario calcular la humedad relativa la cual se hace con la ecuación:

$$HR = \frac{Q2}{\frac{PQ0}{PSFC} \exp\left(a2 \frac{T2 - a3}{T2 - a4}\right)} \quad (1)$$

donde Q2 es humedad específica a dos metros, T2 es la temperatura superficial a dos metros, PSFC es la presión en superficie, PQ0=379.90516, a₂=17.2693882, a₃=273.16 y a₄=35.86.

En las ilustraciones de la figura 4 se muestra la temperatura superficial para el día 18 de junio a las 18:00 horas tiempo local con y sin lago. La figura 4a muestra la simulación sin el Lago de Texcoco y la figura 4b muestra la simulación con el Lago de Texcoco. La figura 4c muestra la diferencia de los promedios para la temperatura. De la misma manera, en las figuras 5 se muestran las salidas para el flujo de calor sensible,

en las figuras 6 el flujo de calor latente y en la figura 7 la humedad relativa calculada con la ecuación 1.

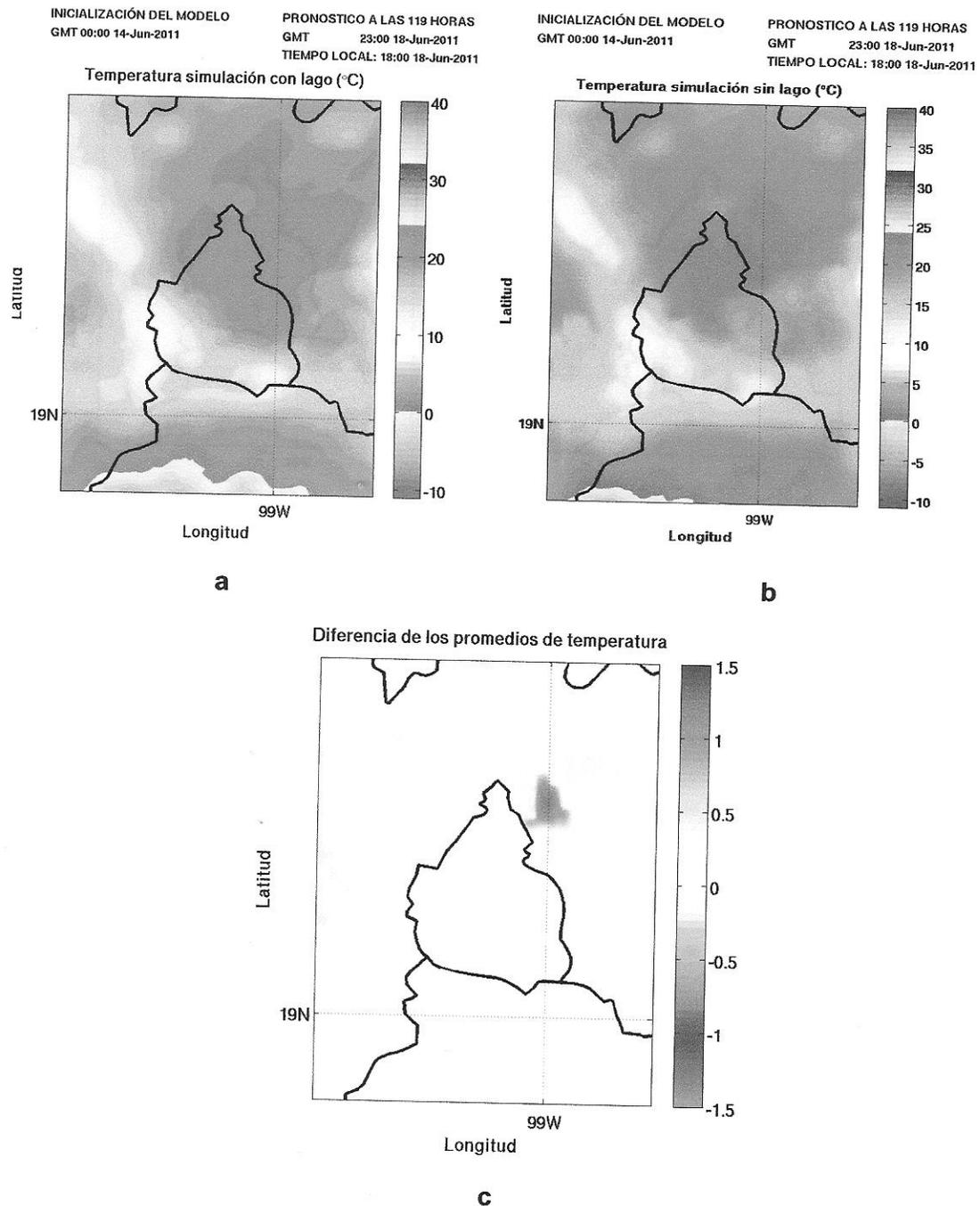


Figura 4. Salidas de la simulación para temperatura superficial (°C). a) simulación sin el Lago de Texcoco modificado, b) simulación para el Lago de Texcoco modificado y c) diferencia de los promedios para la temperatura.

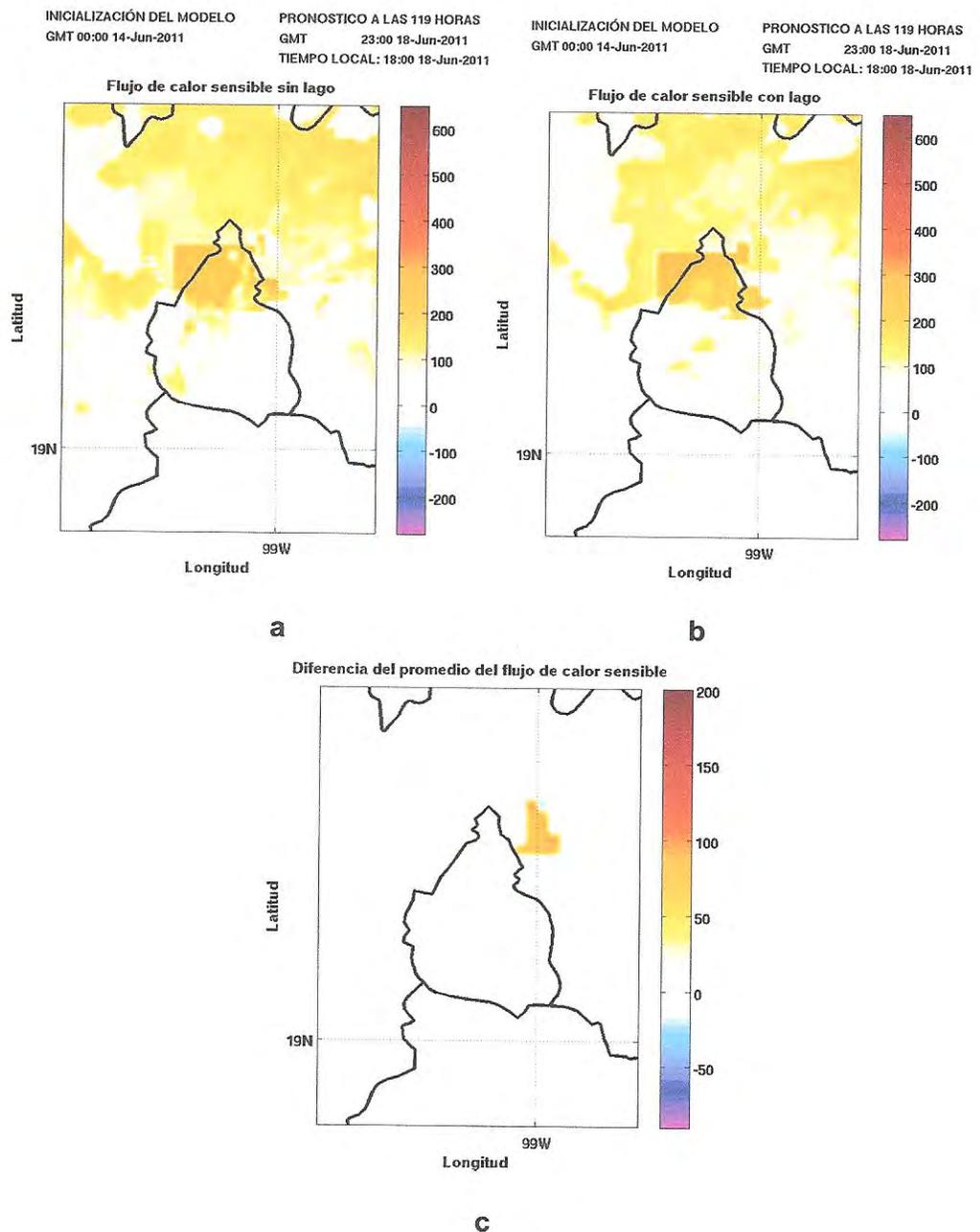


Figura 5. Salidas de la simulación para flujo de calor sensible (W/m^2). a) simulación sin el Lago de Texcoco modificado, b) simulación para el Lago de Texcoco modificado y c) diferencia de los promedios para el flujo de calor sensible.

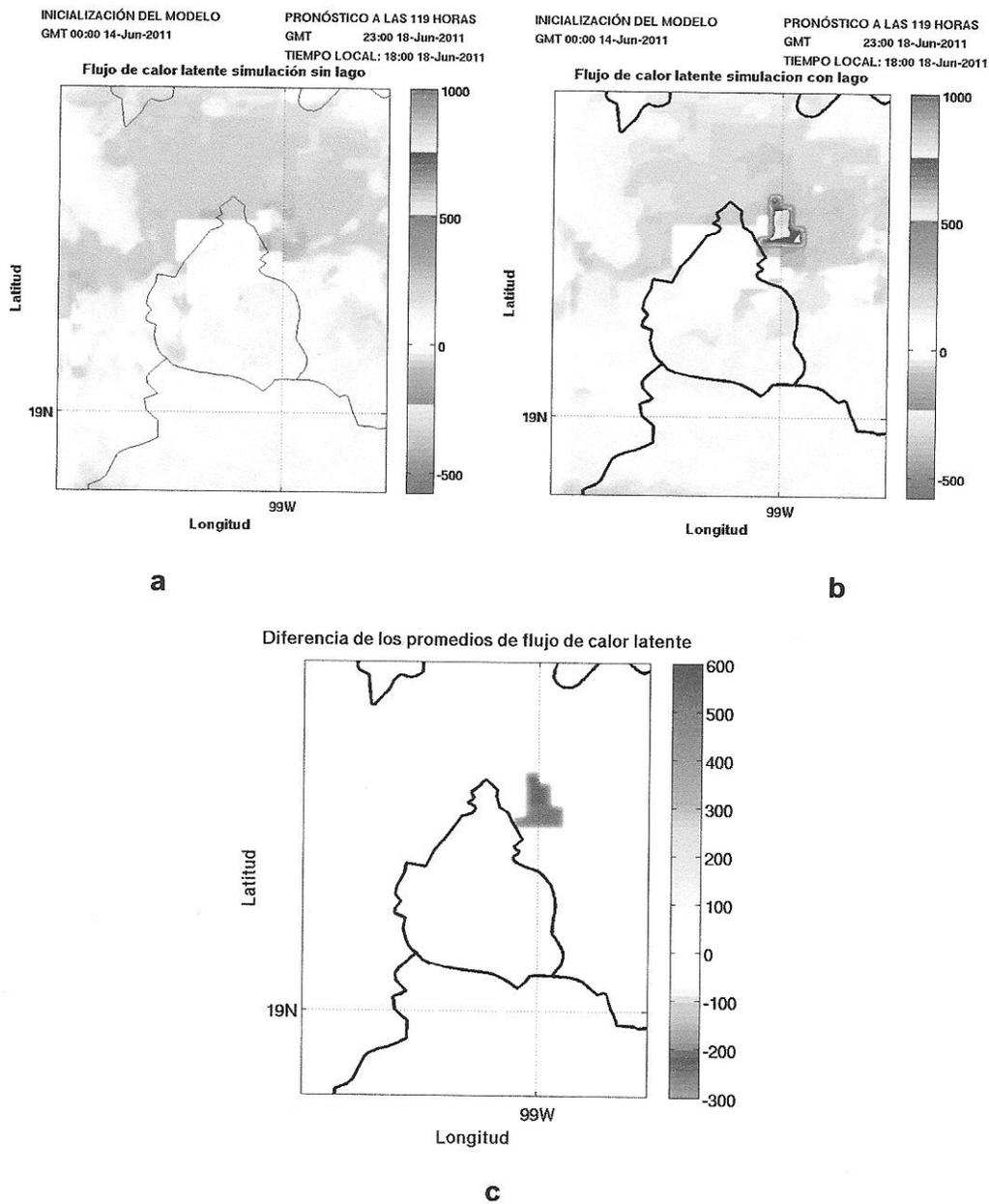


Figura 6. Salidas de la simulación para flujo de calor latente (W/m^2). a) simulación sin el Lago de Texcoco modificado, b) simulación para el Lago de Texcoco modificado y c) diferencia de los promedios para el flujo de calor latente.

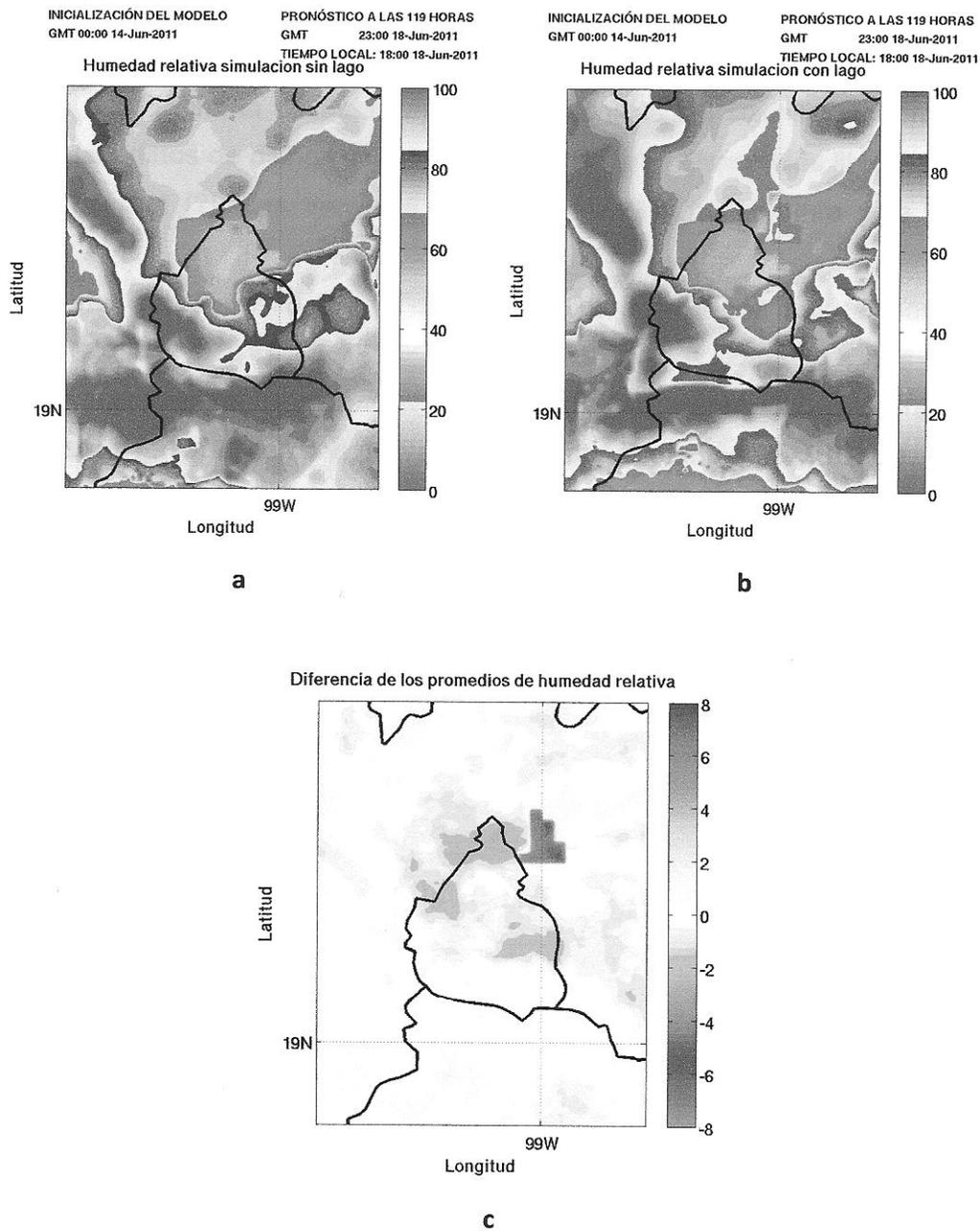


Figura 7. Salidas de la simulación para la humedad relativa (%). a) simulación sin el Lago de Texcoco modificado, b) simulación para el Lago de Texcoco modificado y c) diferencia de los promedios para la humedad relativa.

VALIDACIÓN

Una validación de las variables simuladas se hizo empleando los datos de las estaciones del Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU). Los datos de dichas estaciones se encuentran disponibles libremente en su portal de Internet [2]. Las variables analizadas son la temperatura y la humedad relativa.

Los estaciones consideradas para la validación se muestran en la figura 8 marcadas en triángulos rojos (ENP2, ENP3 y ENP7), las cuales son las que están más cerca del aeropuerto internacional de la Ciudad de México Benito Juárez. En las figuras 9, 10 y 11 podemos observar la comparación entre las series de tiempo PEMBU y las variables simuladas.

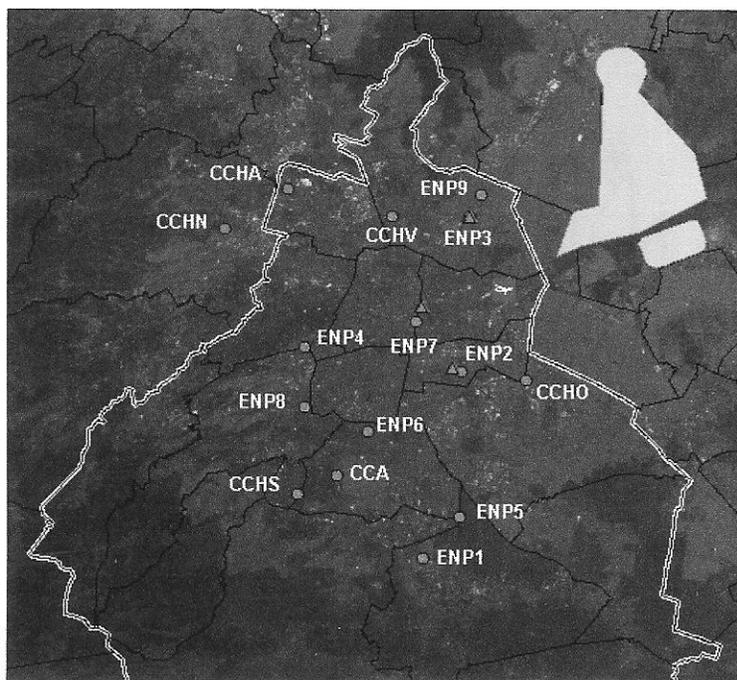
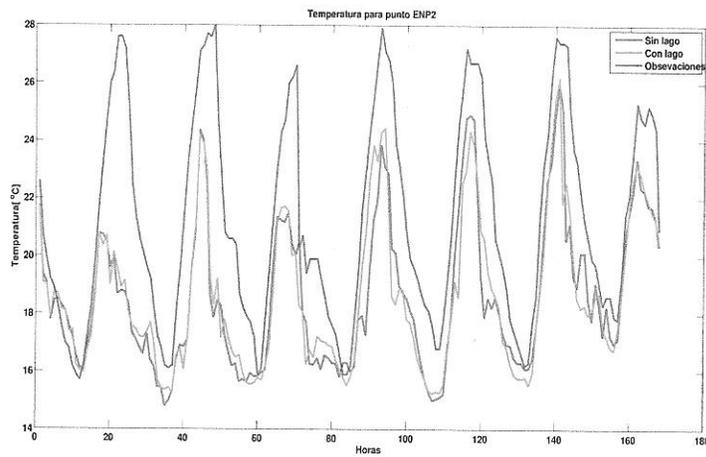
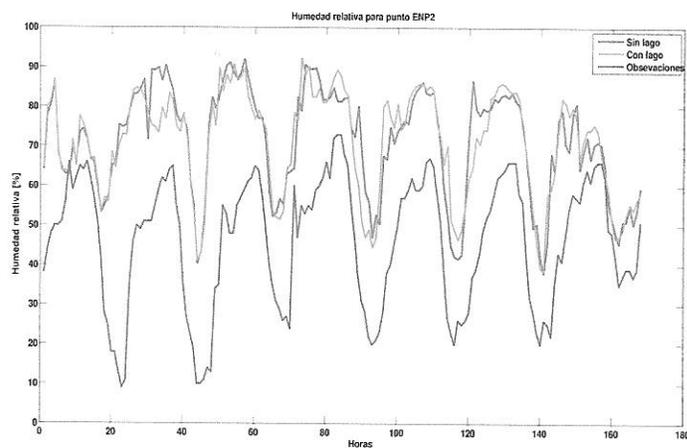


Figura 8. Estaciones meteorológicas PEMBU. En color rojo se encuentran las estaciones que se emplearon para la validación del estudio (ENP2, ENP3 y ENP7).

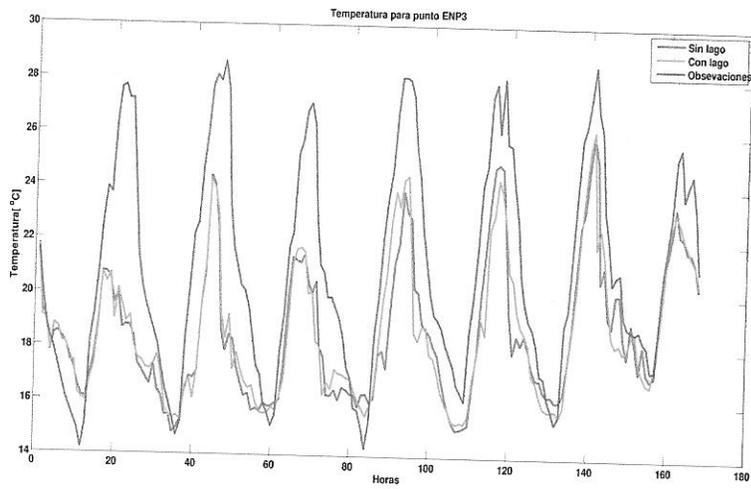


a

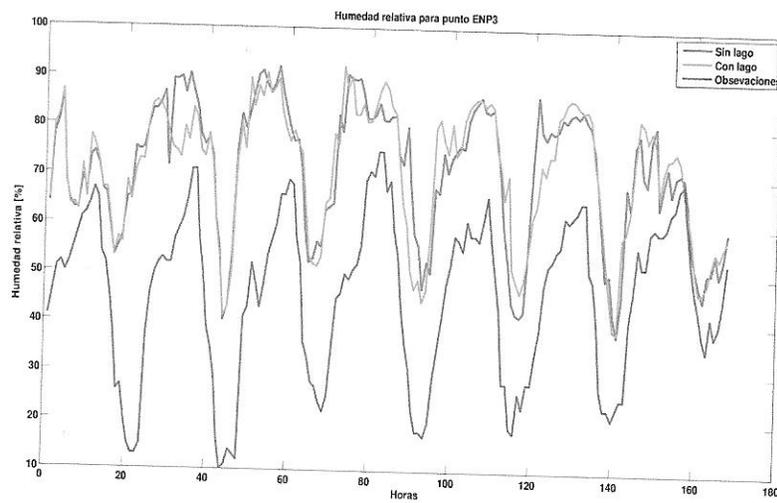


b

Figura 9. a) Series de tiempo para la anomalía de temperatura para la estación ENP2, b) Series de tiempo para la anomalía de humedad relativa para la estación ENP2.

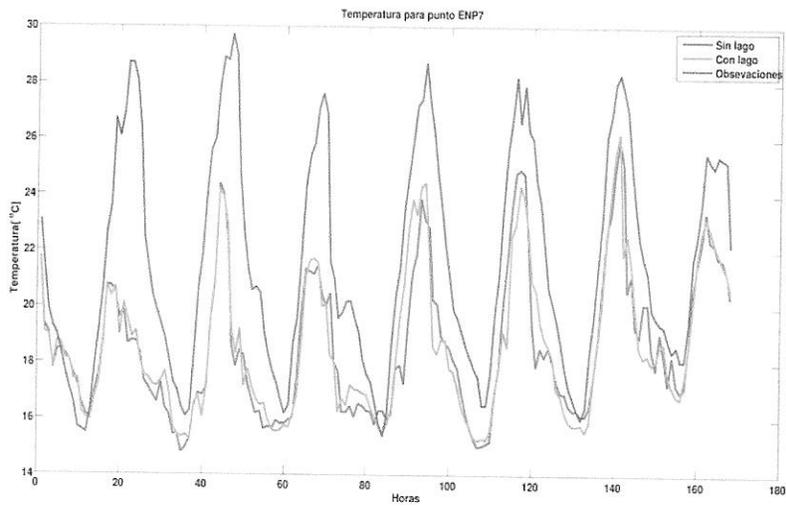


a

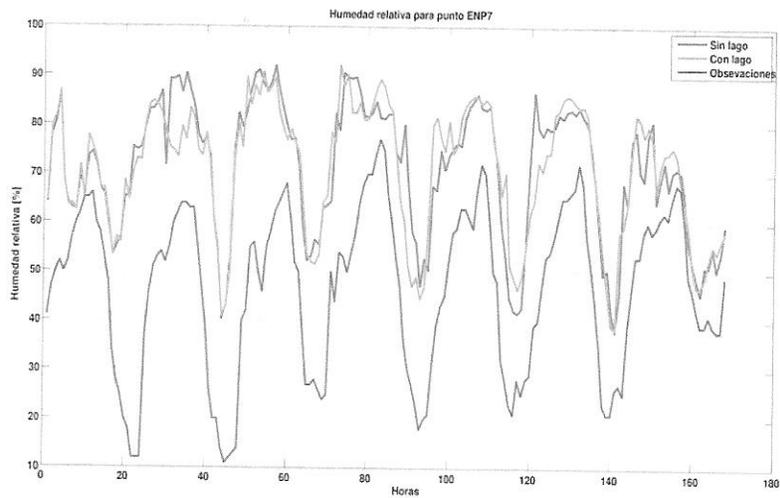


b

Figura 10. a) Series de tiempo para la anomalía de temperatura para la estación ENP3, b) Series de tiempo para la anomalía de humedad relativa para la estación ENP3.



a



b

Figura 11. a) Series de tiempo para la anomalía de temperatura para la estación ENP7, b) Series de tiempo para la anomalía de humedad relativa para la estación ENP7.

TRABAJO EN CURSO

1. Se están revisando las parametrizaciones de cúmulus y microfísica utilizadas para obtener valores más cercanos a la realidad de humedad relativa y temperatura.
2. Se están considerando las Temperaturas Superficiales del Mar (SST) dentro de las condiciones iniciales para mejorar las simulaciones numéricas al introducir un área mayor del Lago de Texcoco.

Las SST's de alta resolución que se están empleando son las desarrolladas por el National Centers for Environmental Prediction/Marine Modeling and Analysis Branch (NCEP / MMAB) [3] a 1/12 de grado (0.083333 grados o 5 arcominutos). A pesar que esta resolución es muy alta, no es útil para la resolución que estamos empleando en el dominio más fino del modelo WRF debido a que el Lago de Texcoco se pierde durante la lectura de datos GRIB dentro del pre-procesamiento del WPS. El reto que estamos resolviendo es la creación de datos SST's de 1km (~0.00833333 grados = 0.499999 arcominutos) de resolución igual a la resolución de nuestro dominio más fino.

Actualmente se han creado datos de SST's de 1km de resolución en formato NetCDF a partir de los datos NCEP abarcando toda el territorio nacional (imagen derecha en la Figura 12). Se está desarrollando un programa en FORTRAN que lee datos en formato NetCDF y los convierte en formato intermedio, el cual es leído por el programa METGRID.EXE del WPS. Realizando esta conversión se podrá terminar la segunda etapa simulación del Lago de Texcoco.

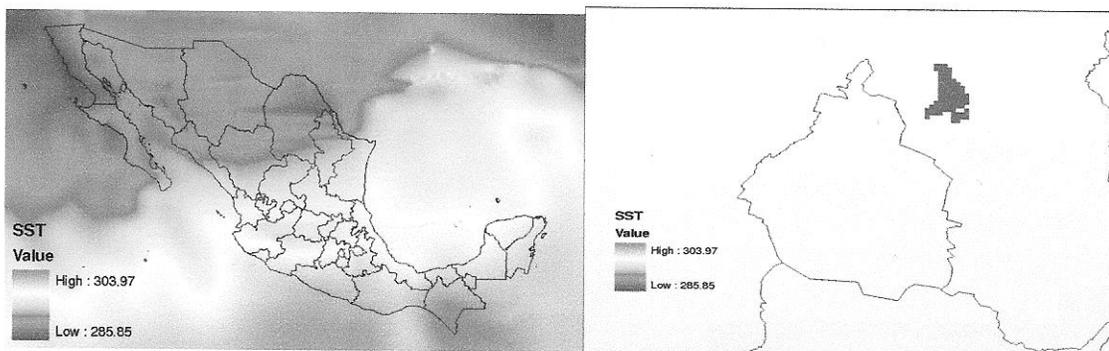


Figura 12. A la izquierda se observa la variable SST del archivo NetCDF creado con una resolución de 1km, a la derecha se observa un acercamiento del Lago de Texcoco que está siendo simulado.

REFERENCIAS

1. Relative humidity, página de internet <http://mailman.ucar.edu/pipermail/wrf-users/2012/002546.html>, Revisada: 7 de mayo de 2013.
2. Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU), <http://pembu.atmosfcu.unam.mx/>, Revisada: 7 de mayo de 2013.
3. NCEP SST Analysis, página de internet <http://polar.ncep.noaa.gov/sst/>, Revisada: Revisada: 7 de mayo de 2013.