



TLALOC net

TlalocNet – Una red de mutisensores GPS y atmosféricos para el monitoreo e investigación meteorológica y geofísica en México

Enrique Cabral Cano

Instituto de Geofísica, UNAM

ecabral@geofisica.unam.mx



CUDI
23 - 25 mayo 2012
Ensenada, Baja California

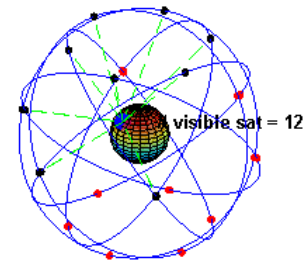


Descripción de la plática

- Introducción GPS
- Redes GPS en el análisis de subsidencia en áreas urbanas
- Ejemplos de áreas urbanas que presentan el fenómeno de subsidencia
 - Ciudad de México-Chalco
 - Morelia
- Redes GPS-Meteorología
- La red TlalocNet
 - Requerimientos de conectividad
 - Alta disponibilidad, baja latencia
 - Endurecimiento para eventos extremos

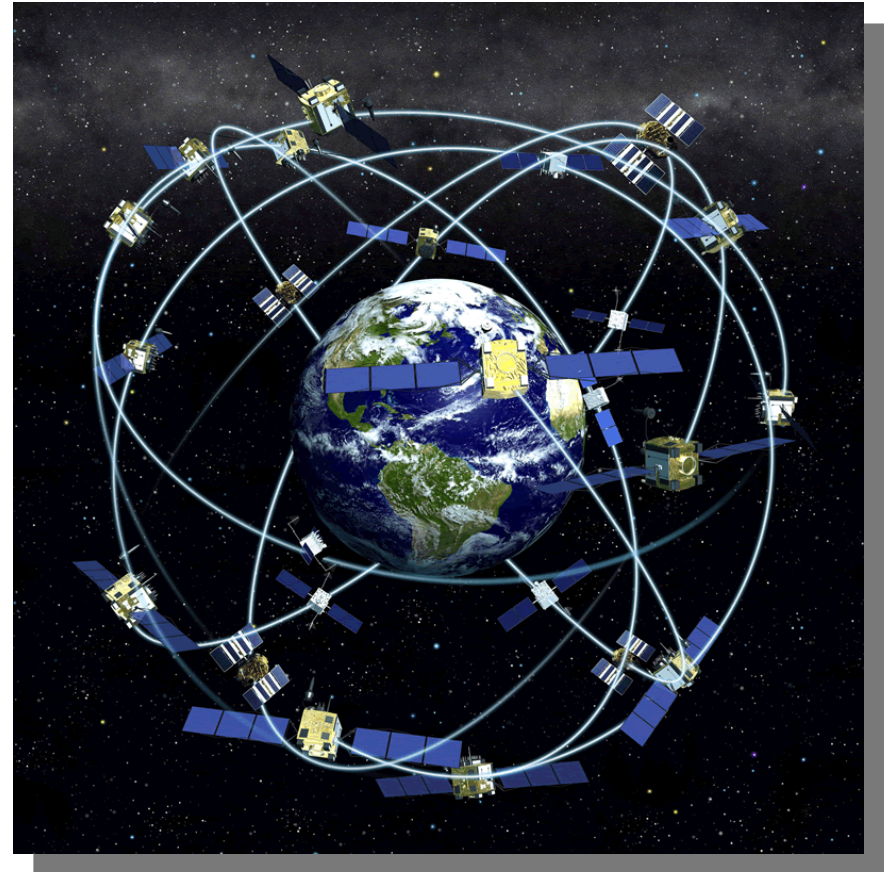


Constelación GPS



24+ satelites GPS orbitan en 6 planos a nuestro planeta.

- Esta constelacion transmite L1, L2, L2C, L5 (~1.2 y 1.6 GHz).
- Provee de posicionamiento preciso
- La atmósfera (superior e inferior) induce retrasos en la velocidad de transmision de la señal.



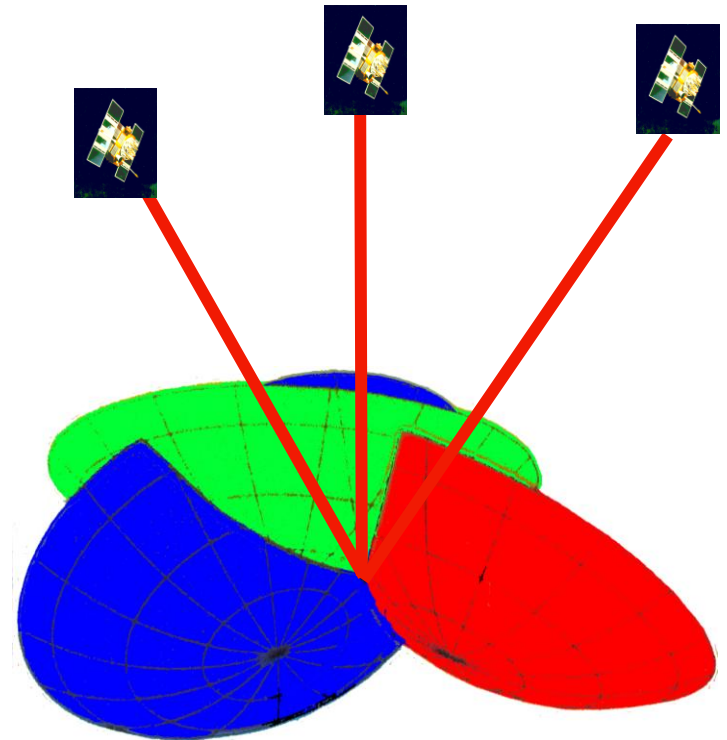
El sistema GPS



- El sistema GPS fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los EUA para proveer de posicionamiento, navegación y sincronización de tiempo de alta precisión en todo el planeta y en todo tipo de clima.
- Las señales de radio transmitidas por los satelites GPS se refractan (i.e. se retrasan y su trayectoria se altera) por los gases constituyentes de la alta y baja atmosfera.
- Este efecto causa un retraso en el arribo de las señales GPS que resultan en errores aparentes de la posición calculada de un receptor GPS en o cerca de la superficie terrestre.

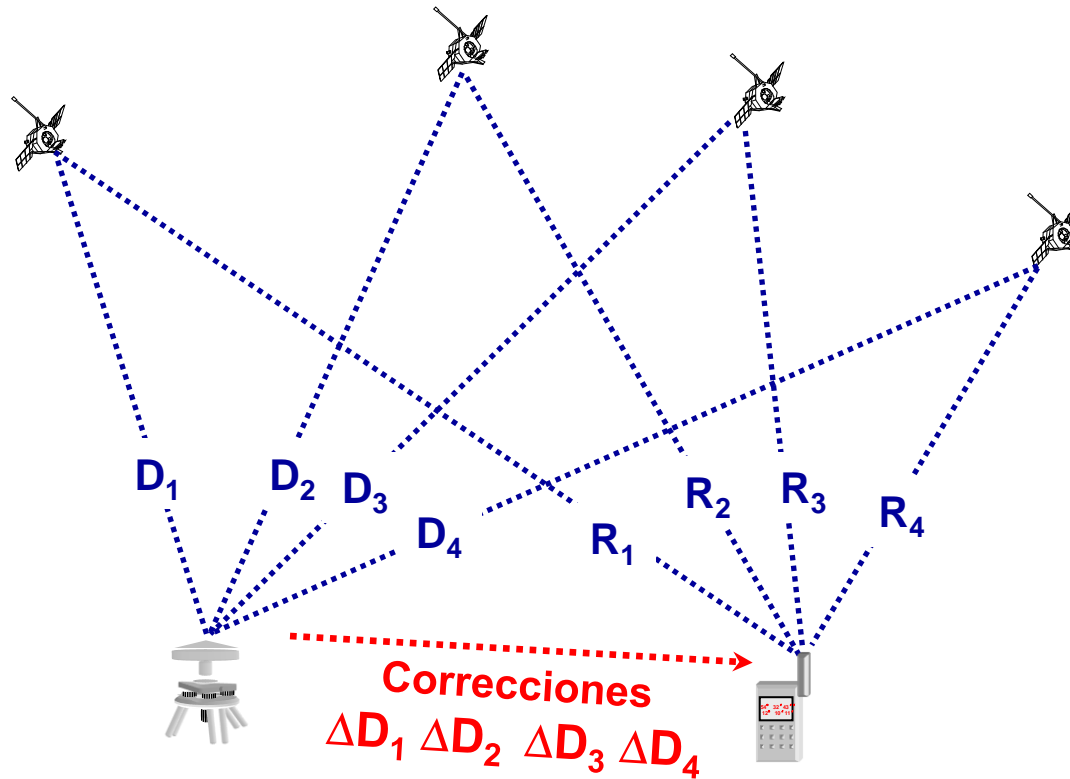
Posicionamiento – *Single Point Positioning*“

Método: Intersecciones de esferas



Posicionamiento – GPS Diferencial (DGPS)

- *Modelo conceptual de DGPS*



Estación de referencia
Corrección = $D_{nom} - D_{med}$

Receptor
 $R_{Nom} = R_{ist} + \text{Corrección}$

Redes de GPS continuos para el análisis de subsidencia en areas urbanas.

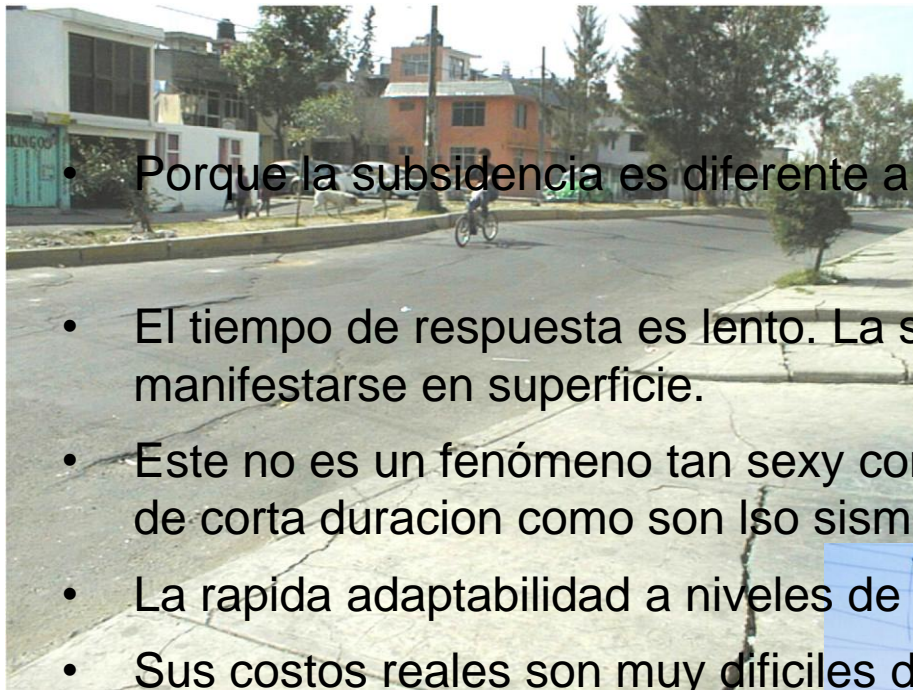




Motivación:

Estas son algunas de las ciudades que presentan subsidencia acelerada en las últimas 2-3 décadas.

La subsidencia en áreas urbanas se perfila como un problema de gran vigencia que está íntimamente ligada a la extracción de agua subterránea en zonas urbanas que presentan desarrollos urbanos sustanciales.



- Porque la subsidencia es diferente a otros fenómenos?
- El tiempo de respuesta es lento. La subsidencia puede tardar décadas en manifestarse en superficie.
- Este no es un fenómeno tan sexy como lo son otros fenómenos naturales de corta duración como son los sismos y huracanes.
- La rápida adaptabilidad a niveles de nos hace fácil ignorar el problema.
- Sus costos reales son muy difíciles de estimar, pues están normalmente catalogados en los presupuestos como “mantenimiento” a pesar de ser un desastre natural.



Sus consecuencias son costosas:

- Las líneas de conducción hidráulica requieren de reparaciones constantes debido a las rupturas periódicas.
- Los sistemas de drenaje pierden su capacidad de transporte -> riesgo de inundaciones.
- El sistema de drenaje necesita pasar de ser un sistema de gravedad a un sistema de bombeo.
- El desarrollo de fallas superficiales afecta toda clase de estructuras civiles.
- Las administraciones de las ciudades solo pagan por los daños a la infraestructura urbana.
- Los costos de los daños a viviendas son cubiertos en su mayoría por los propietarios y no existen pólizas de seguros.

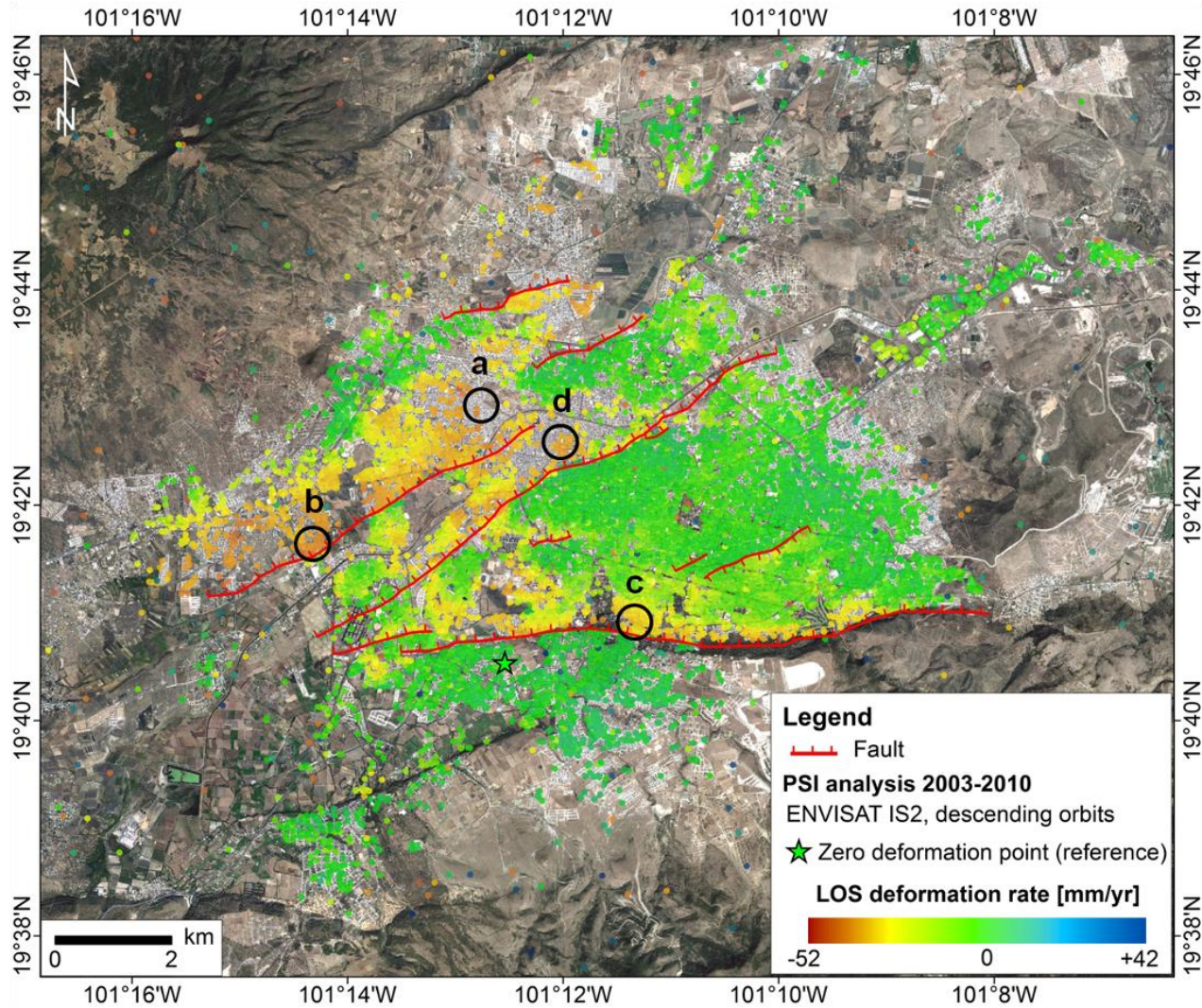


El caso de Morelia

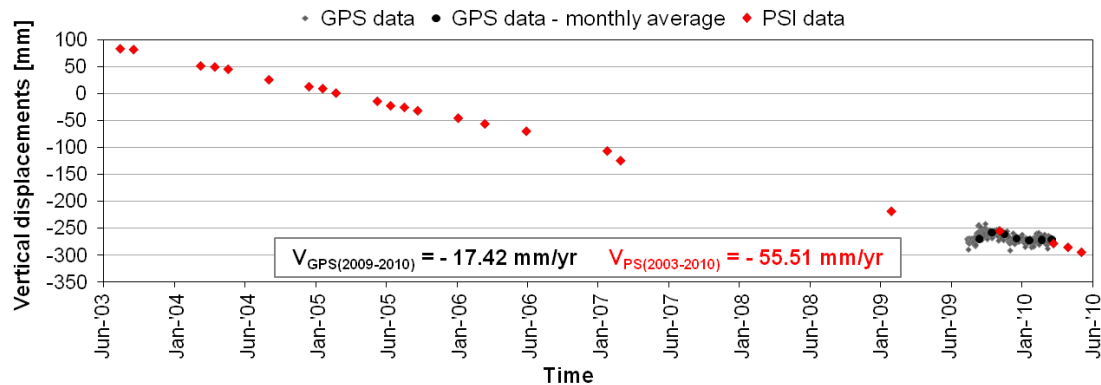
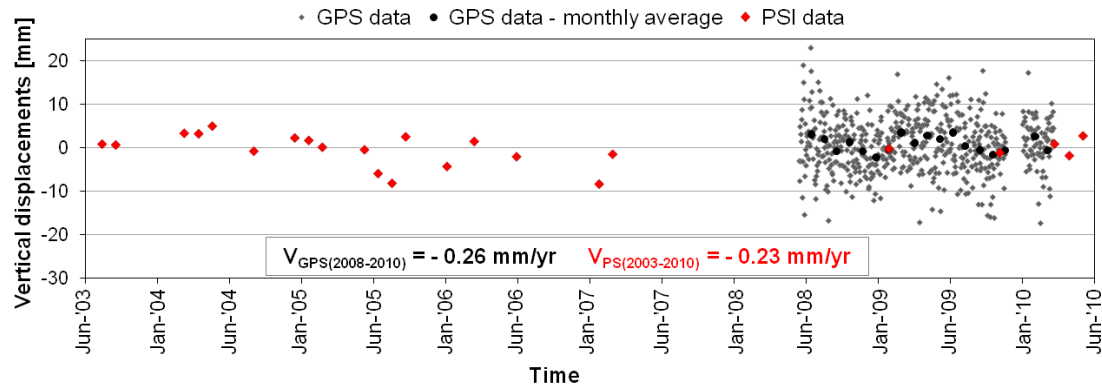


El reconocimiento geológico en Morelia muestra 9 fallas de orientación NE-SW que se consideran (por lo menos algunas de ellas) como parte del sistema de fallas regionales Tula-Chapala.

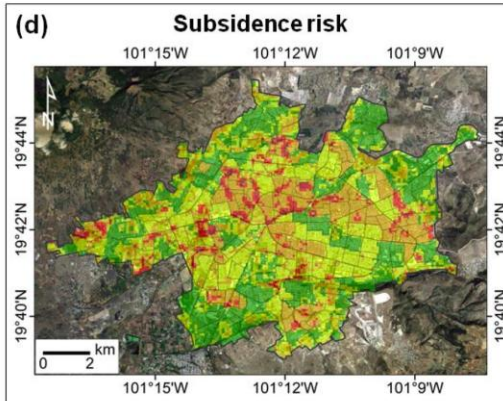
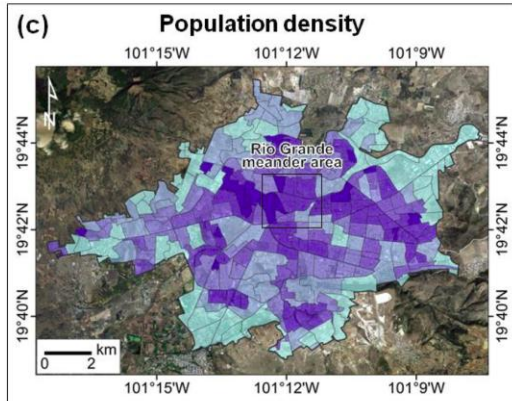
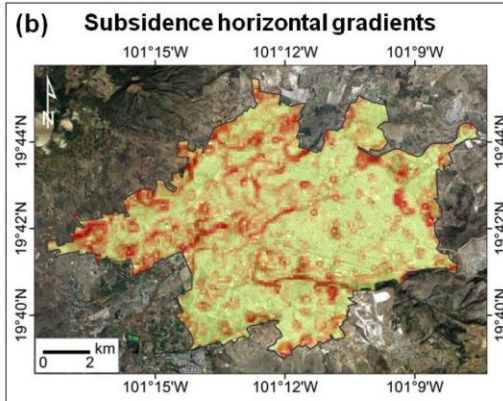
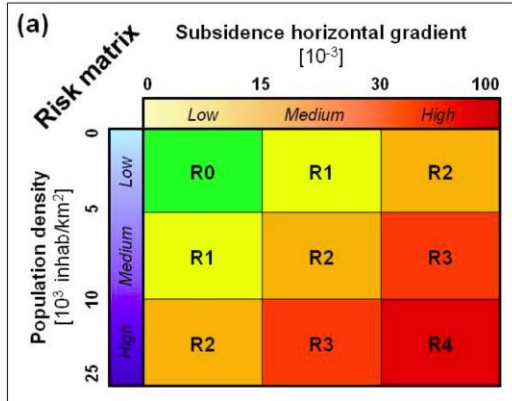
Al mismo tiempo Morelia sufre una rápida subsidencia y sus fallas asociadas dañan grandes sectores de la ciudad. Algunas de estas fallas son antiguas (p. ej. La Paloma) pero otras fallas son de reciente aparición con los primeros reportes que datan de 1983.



Tasas de desplazamiento en Morelia del 2003-2010, obtenida por un analisis de PSI de 23 imagenes ENVISAT (descendentes) y GPS.



Series de tiempo de desplazamiento vertical para las estaciones GPS MOGA (arriba) y MOIT (abajo) y sus respectivos PS representativos (blancos de radar mas cercanos a cada estación).



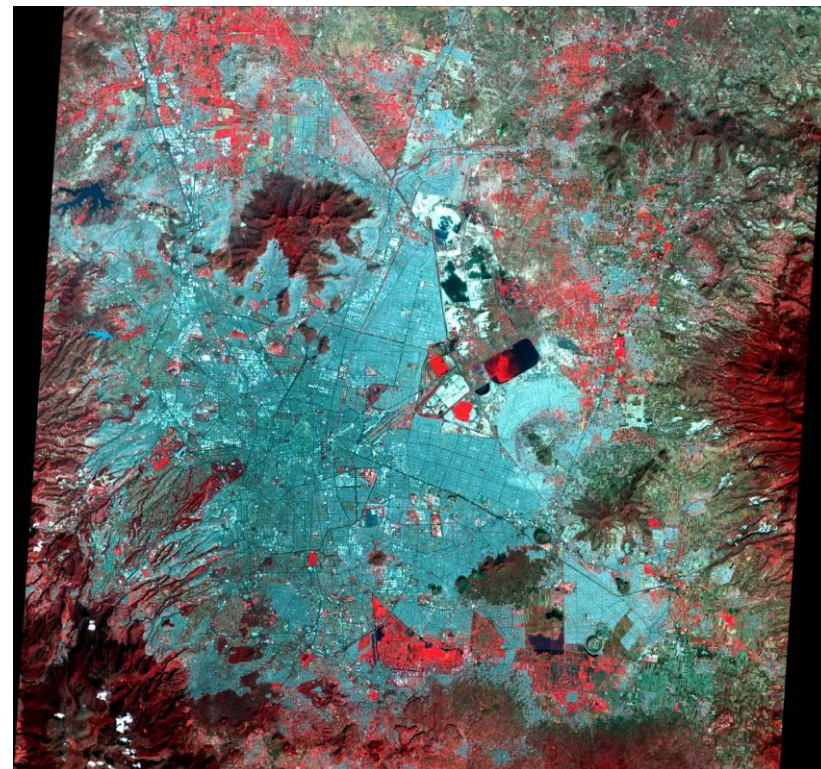
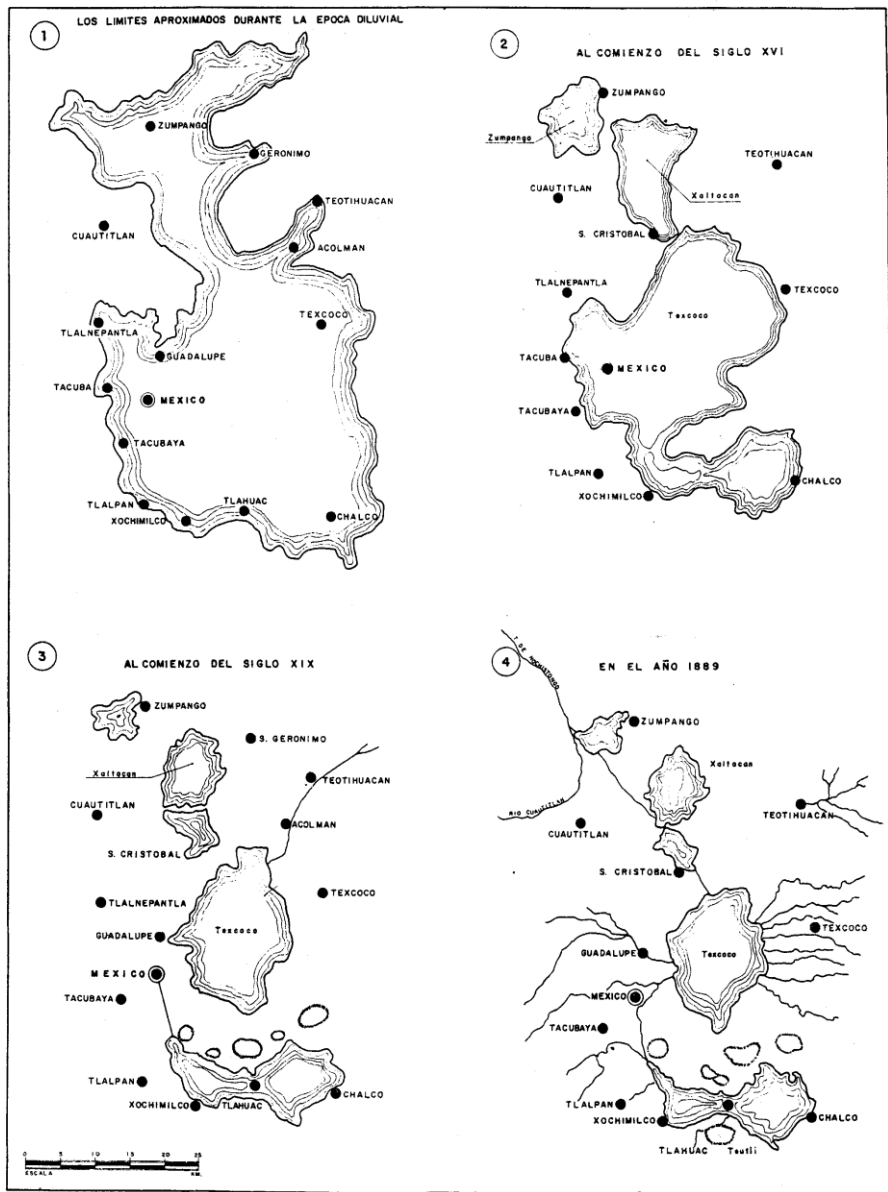
Análisis de peligro de subsidencia en Morelia usando una matriz 2D (a) combinando el gradiente horizontal de subsidencia (b) del análisis PSI del 2003-2010 con información de densidad de población. El riesgo de subsidencia se clasificó en 5 diferentes niveles (d): R0 (muy bajo), R1 (bajo), R2 (moderado), R3 (alto), R4 (muy alto).

Risk level	Population [inhab]	Population percentage	Area [km ²]	Area percentage
R0	71,067	11.8%	30.37	31.5%
R1	169,727	28.2%	32.05	33.3%
R2	277,139	46.0%	27.13	28.2%
R3	70,820	11.7%	5.87	6.1%
R4	14,142	2.3%	0.90	0.9%

El caso de la Ciudad de México



- Antecedentes: Un ambiente lacustre con altos contenidos de arcillas susceptibles de consolidarse como resultado de los agresiva extracción de agua subterránea.
- El fenómeno de subsidencia se ha documentado por más de 100 años.



El cambio en el régimen hidrológico al drenar una cuenca cerrada gradualmente promovió la expansión de la ciudad sobre el antiguo lago de Texcoco. Consecuentemente, la porción oriental de la ciudad se encuentra construida sobre depósitos lacustres.

Gastan en Edomex más de 20 millones en tirar la basura

Estados (24A)



'EL RETORNO DEL REY' GANA 5 OSCAR BRITANICOS

Gente!

Ubican en el DF a creadores marginales

Cultura



Niegan en el PAN planear candados en contra de Marta

Nacional (5A)

Lunes 16 de Febrero del 2004 México, D.F. 104 Páginas 8 Secciones, \$ 7.00 SECCIÓN A

REFORMA

CORAZÓN DE MÉXICO

Año 11, Número 3714 www.reforma.com

Reclama heredera en litigio de Diego

POR VÍCTOR FUENTES
AUNQUE PARÉCIA UN CASO CERRADO EL litigio entre clientes del despacho de Diego Fernández de Cevallos y la Secretaría de la Reforma Agraria, a un nuevo querrela viene a enredar el conflicto judicial.
La Secretaría enfrenta un reclamo de casi 3 mil millones de pesos por la presunta expropiación irregular de un predio cuya propiedad parcial ya fue reconocida a la familia Ramos Millán, clientes del senador panista.
Sin embargo, Raquel García Durán, heredera de lo que fue el rancho Montserrat en el sur de la Ciudad de México, solicitó el 27 de enero a la SRA una indemnización de 2 mil 922 millones de pesos.
García Durán afirma ser la legítima propietaria de las 236 hectáreas expropiadas por el Presidente Miguel de la Madrid en 1984, incluidas las 33 hectáreas que le fueron reconocidas a los herederos de Gabriel Ramos Millán.



Se abre la tierra en Tláhuac

Fisuras en unidades habitacionales, grietas de más de medio kilómetro de longitud y hundimientos de 17 centímetros cada año son el resultado de la sobreexplotación de pozos de agua potable en la Delegación Tláhuac.

Ciudad (5B)

Amplazan grietas a Tláhuac

Existen 49 fallas en el subsuelo de colonias y unidades habitacionales

POR RADIA SANDERS
Hundimientos en el subsuelo de colonias y unidades habitacionales en la Delegación Tláhuac, a 10 kilómetros al sur de la Ciudad de México, se han convertido en un problema de salud pública. En consecuencia, el gobierno federal y el gobierno del Distrito Federal han emprendido acciones para solucionar el problema. En Tláhuac, la zona de unidades habitacionales generó 49 fracturas y coincidieron con la ubicación de la repertura de los 24 pozos de extracción del Sistema de Aguas del DF.
Los hundimientos irregulares y el incumplimiento de las normas del Reglamento de Construcción de la Secretaría de Obras Públicas de la Delegación Tláhuac, así como el uso de materiales de mala calidad, han provocado que en los últimos meses se hayan registrado 49 fracturas y hundimientos de hasta 40 centímetros al año en zonas de Chalco y Tláhuac.
Sobresque que el DF ha tardado 100 años en construir 10 metros, a las zonas de Tláhuac y Valle de Chalco sólo les ha pasado 30 años.
"Ya una crisis operativa porque estamos en un momento crítico, en los subsuelos. Además, porque hay tiempos postreros, pero no hay tiempo para una geología a largo plazo", advirtió el ingeniero de la SRA.
REFORMA visitó las áreas afectadas por fisuras. En Metepec se encontró una grieta que inicia en el pavimento del predio, avanza por la calle Hidalgo hasta alcanzar media kilómetro de longitud.
"Cada año que se compran el pavimento se vuelve a abrir. Además, vamos a hacer un año para abajo y otro, ya se está abriendo. La tierra abre la parte del pavimento y quite sobre hasta donde va a salir esa grieta", comentó Silvia Peña, habitante de Metepec y comisionada de la SRA.
Juan Carlos Benítez, habitante del barrio de San Agustín, al sur de la delegación, afirma que desde que tuvo que abrir la casa de su padre que tiene más de 40 años construyó y está por su tierra.
"Ya no se puede vivir aquí. Tenemos que cambiarlo. Originalmente fue mi padre el que construyó aquí y aquí crecieron. Esto es nuevo, el original ya no sé, pero se abrió. La tierra se abrió como ocho años y ya se volvió a abrir hasta la finca. Yo pienso que en cinco años va a tener que levantar de nuevo hasta cinco metros y volver a ir a un metro y medio o dos metros", comentó Juan Carlos Benítez, comisionado de la SRA.
En la Colonia Adolfo López, donde hay más de 10 unidades habitacionales. Los vecinos de Colonia 64 afirman que hoy día se ven las grietas de un centímetro y se escuchan una demanda de la ciudad continúa por los daños que ocasionan las filtraciones.
"Por parte de las autoridades se está haciendo el agua y se ha ido a lo que está haciendo y los departamentos de abasto también se están hundiendo", comentó el administrador.
» SE MANTIENEN EN GUARDA

PROVOCA HUNDIMIENTOS LA SOBREEXPLORACIÓN DE POZOS DE AGUA

Amplazan grietas a Tláhuac

Zonas críticas



Otras colonias con fisuras

- Los Olivos
- Adolfo López
- Metepec
- Valle de Chalco
- San Agustín
- San Mateo
- San Juan
- San Pedro
- San Rafael
- San Sebastián
- San Vicente
- San Andrés
- San Felipe
- San Marcos
- San Nicolás
- San Pablo
- San Pedro de los Ríos
- San Rafael
- San Sebastián
- San Vicente
- San Andrés
- San Felipe
- San Marcos
- San Nicolás
- San Pablo
- San Pedro de los Ríos

¿Cómo se forman las grietas?

Las grietas se forman cuando el subsuelo se hunde por la sobreexplotación de los pozos de agua.



Los hundimientos también provocan a las viviendas.

Las grietas aparecen cuando se hunden los edificios por la sobreexplotación de los pozos de agua.



En San Andrés Metepec las grietas aparecen en diversas partes, aparentemente no hay temor, pero falta más información a la población.

VULNERABILIDAD
85 por ciento del suelo de la ciudad es de tipo arcilloso-limoso y 17 por ciento de tipo arenoso-arenoso. Los departamentos de viviendas se presentan al año en las zonas críticas.

49 grietas
De hasta 60 centímetros de profundidad se presentaron en el subsuelo de Tláhuac.

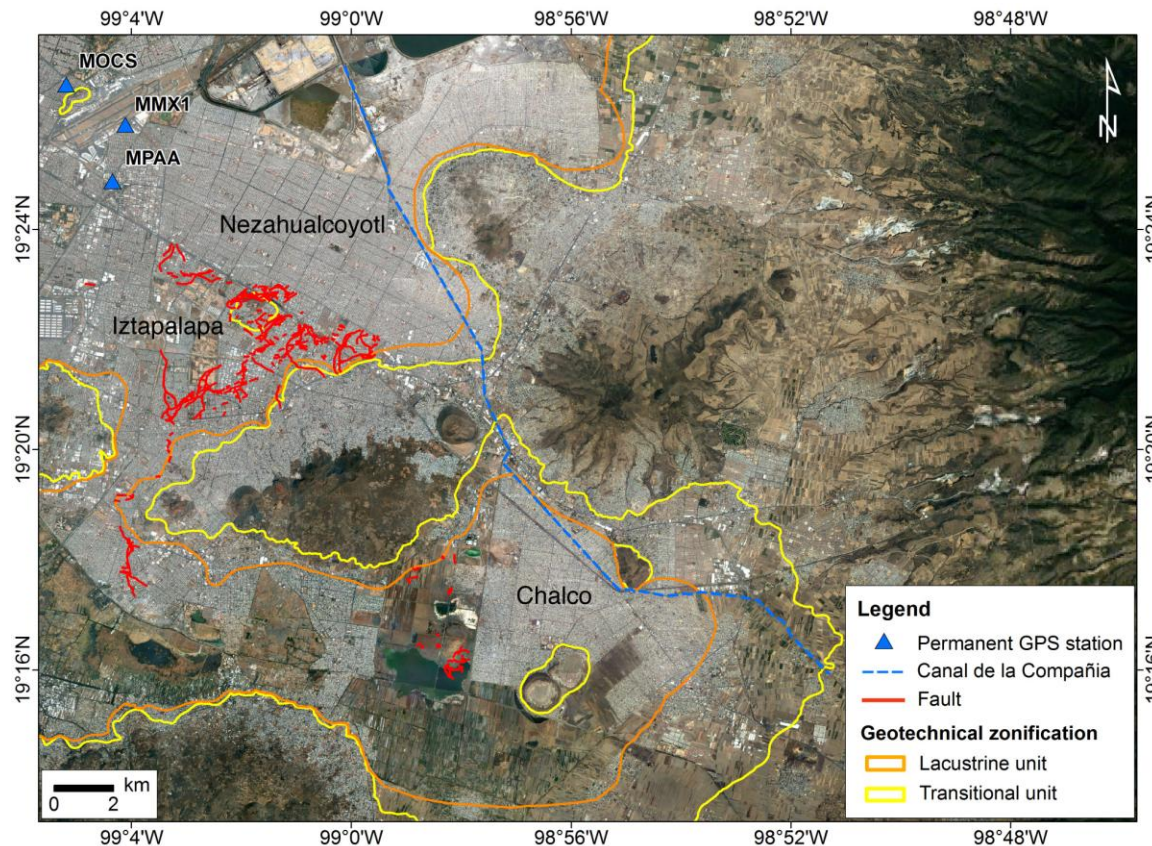
Dejan predio que supervisó Padierna
El departamento de Obras Públicas de la Delegación Tláhuac, a cargo de la construcción y supervisión de la obra, ha ofrecido ayuda a los habitantes de la zona de San Mateo, vecina de la unidad 196. Acusó que después de acordado durante el mes de marzo y junio se presentaron los departamentos de Obras Públicas, pero no los supervisó. El funcionario Antonio Padierna dijo que a otra y tres veces que volvió y que volvió. No necesitaban

Esta situación es recurrente en los medios ...



Reunión de Primavera CUDI 2012



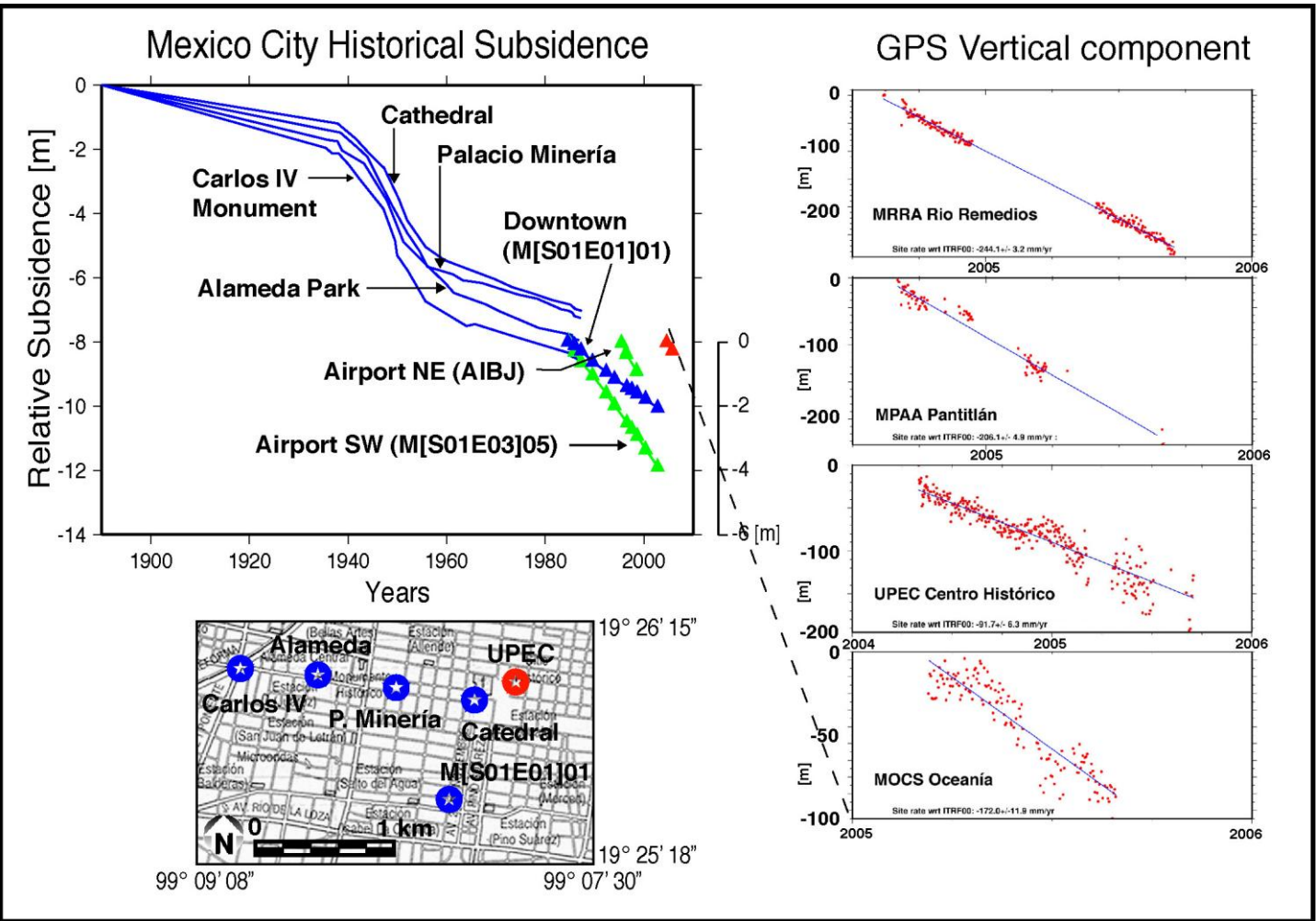


- Mapa de localización de la zona oriental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Las fallas en Iztapalapa y Chalco CMFS (2008) y Ortiz-Zamora, (2007) respectivamente. La zonificación geotécnica está tomada de GDF (2004). Los triángulos azules muestran la ubicación de las estaciones GPS permanentes.

Subsidencia total acumulada

1895-2012= 11.3 m @ 92-115 mm/año

Tasas máximas observadas de 270 mm/año



Subsidencia en el centro histórico desde 1895.

- 1895-1985 Nivelación (datos históricos)
 - 1986-2004 Nivelación (era moderna, post-sismo '85)
 - 1996-2010 InSAR (ERS-1/2, Envisat)
 - 2004-2010 Red GPS Permanente
- Reunión de Primavera CUDI 2012*




Los datos de estaciones GPS/GNSS permanentes han sido de gran utilidad para:

- Validar otros estudios geodésicos satelitales independientes en zonas urbanas de rápida subsidencia o en estructuras deformables.
- Obtener la mayor resolución temporal comparados con otros métodos como InSAR o PSI.
- Definir localidades de deformación-zero que pueden ser usadas como referencia y para calibrar análisis de desplazamiento vertical (p. ej. InSAR). Clave para la generación de productos cartográficos de riesgos.
- Evaluar si el desplazamiento InSAR a lo largo de línea de vista debe ser resuelto como desplazamiento vertical puro o si existen componentes de desplazamiento horizontal.
- Referencia fiducial para métodos complementarios como Escaner de Laser Terrestre (TLS).
- Mucha mayor confiabilidad a largo plazo en el segmento espacial.

Aplicaciones GPS-Met

GPS IPW



ZTD > IPW
Accurate
Reliable
All weather
Inexpensive

Satellite Cal/Val →

Regional Forecasting

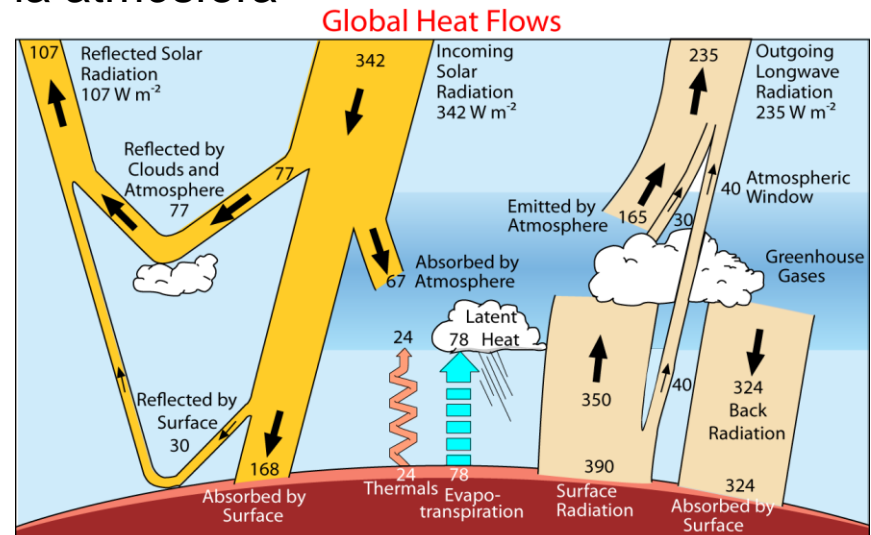
Weather Prediction

Obs Verification

Other Applications

GPS-Meteorología

- Vapor de agua:
 - El gas invernadero de mayor importancia
 - Controlado por termodinámica y dinámica
 - También es un motor de procesos atmosféricos
 - Intimamente ligado a las nubes y precipitación
- Nubes:
 - Juegan un papel crítico en el balance de energía global
- Precipitación:
 - Determina la extensión y tipo de biósfera continental
 - Transporte vertical de energía en la atmósfera



Kiehl and Trenberth 1997

Las mayores preocupaciones sobre el cambio climático están relacionadas con el agua:

- Las concentraciones de agua se incrementarán.
- Los cambios en nubosidad son inciertos.
- Reducciones en los paquetes de nieve; congelamiento tardío y fusión/escurrimiento temprano.
- Clima extremo, incremento en la intensidad de huracanes.
- Incremento en la intensidad de eventos de lluvia extremos
- PERO el periodo entre lluvias de incrementará.

⇒Mayores inundaciones.

⇒Necesidad de pronosticar lluvias repentinas.

⇒EL RETO: como preservar el agua en reservorios.



Métodos alternos para medir vapor de agua Atmosférico

- A mediados de los '80s la comunidad científica atmosférica buscaba métodos alternativos para monitorear el vapor de agua atmosférico.
- En 1992 se propuso el uso de las señales transmitidas por los satelites GPS.



GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System

MICHAEL BEVIS,¹ STEVEN BUSINGER,¹ THOMAS A. HERRING,² CHRISTIAN ROCKEN,³ RICHARD A. ANTHES,⁴ AND RANDOLPH H. WARE³

We present a new approach to remote sensing of water vapor based on the global positioning system (GPS). Geodesists and geophysicists have devised methods for estimating the extent to which signals propagating from GPS satellites to ground-based GPS receivers are delayed by atmospheric water vapor. This delay is parameterized in terms of a time-varying zenith wet delay (ZWD) which is retrieved by stochastic filtering of the GPS data. Given surface temperature and pressure readings at the GPS receiver, the retrieved ZWD can be transformed with very little additional uncertainty into an estimate of the integrated water vapor (IWV) overlying that receiver. Networks of continuously operating GPS receivers are being constructed by geodesists, geophysicists, government and military agencies, and others in order to implement a wide range of positioning capabilities. These emerging GPS networks offer the possibility of observing the horizontal distribution of IWV or, equivalently, precipitable water with unprecedented coverage and a temporal resolution of the order of 10 min. These measurements could be utilized in operational weather forecasting and in fundamental research into atmospheric storm systems, the hydrologic cycle, atmospheric chemistry, and global climate

Bevis, M., S. Businger, T. Herring, C. Rocken, R. Anthes, R. Ware, 1992. **GPS meteorology: remote sensing of the atmospheric water vapor using the global positioning system.** J. Geophys. Res., Vol. 97, No. D14, 75-94.

vapor is intimately coupled to the distribution of clouds and rainfall. Because of the unusually large latent heat associated with water's change of phase, the distribution of water vapor plays a critical role in the vertical stability of the atmosphere and in the structure and evolution of atmospheric storm systems. The advection of water vapor and its latent heat by the general circulation of the atmosphere is an important component of the Earth's meridional energy balance. In addition, water plays a critical role in many chemical reactions that occur in the atmosphere.

Atmospheric scientists have developed a variety of means to measure the vertical and horizontal distribution of water vapor. The radiosonde, a balloon-borne instrument package that sends temperature, humidity, and pressure data to the ground by radio signal, is the cornerstone of the operational analysis and prediction system at the National Meteorological Center in this country and at similar operational weather forecast centers worldwide. Contemporary radiosonde instruments measure temperature and relative humidity with

restrictions, radiosonde measurements inadequately resolve the temporal and spatial variability of water vapor, which occurs at scales much finer than the spatial and temporal variability of temperature or winds [Anthes, 1983]. In fact, limitations in the analysis of water vapor are the major source of error in short-term (0-24 hours) forecasts of precipitation. Efforts to modernize the National Weather Service and fiscal austerity recently have conspired to degrade the network [Bosart, 1990]. Curtailment of National Oceanic and Atmospheric Administration support for the Mexican radiosonde program has resulted in the loss of the 0000 UTC Mexican soundings, which are often crucial in resolving upstream features in the atmosphere that are precursors to severe weather over the southern United States.

Ground-based, upward-looking water vapor radiometers (WVRs) are instruments that measure the background microwave radiation produced by atmospheric water vapor and can estimate the integrated water vapor (IWV) content along a given line of sight. They can simultaneously measure integrated liquid water (ILW) along the same line of sight. WVRs actually measure the sky brightness temperature at two or more frequencies. It is the frequency dependence of the brightness temperature that enables the simultaneous estimation of IWV and ILW [Resch, 1984]. The algorithm that is used to retrieve IWV from observation of sky brightness temperature contains parameters which show seasonal and site variations. Thus the retrieval algorithm usually must be "tuned" to local conditions using indepen-

¹Department of Marine, Earth and Atmospheric Sciences, North Carolina State University, Raleigh.

²Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

³University Navstar Consortium, Boulder, Colorado.

⁴University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, Colorado.

Copyright 1992 by the American Geophysical Union.

Paper number 92JD01517.
0148-0227/92/92JD-01517\$05.00

Mediciones de vapor de agua

Las señales de GPS son sensibles al contenido de vapor de agua debido a que retrasan su velocidad de propagación en la atmósfera terrestre:

Se utilizan dos geometrías básicas para medir vapor de agua con GPS:

1) Perfiles de vapor de agua por medio de técnicas de radioocultación (RO)

Geometria de radioocultación

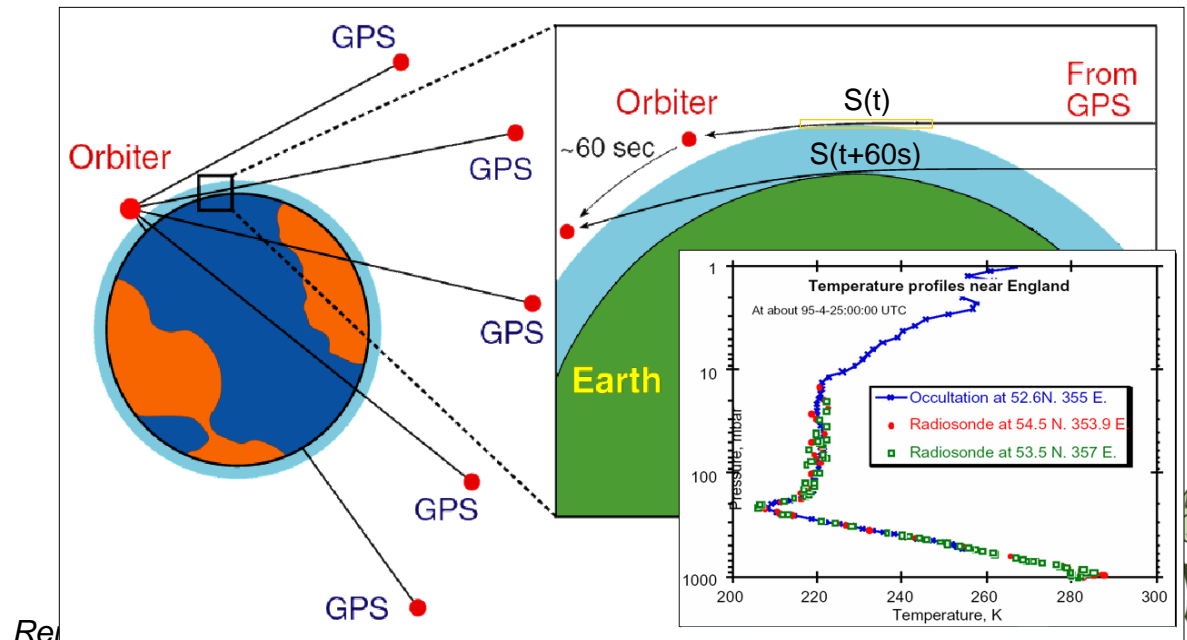


Illustration above courtesy of T. Yunk, NASA JPL.

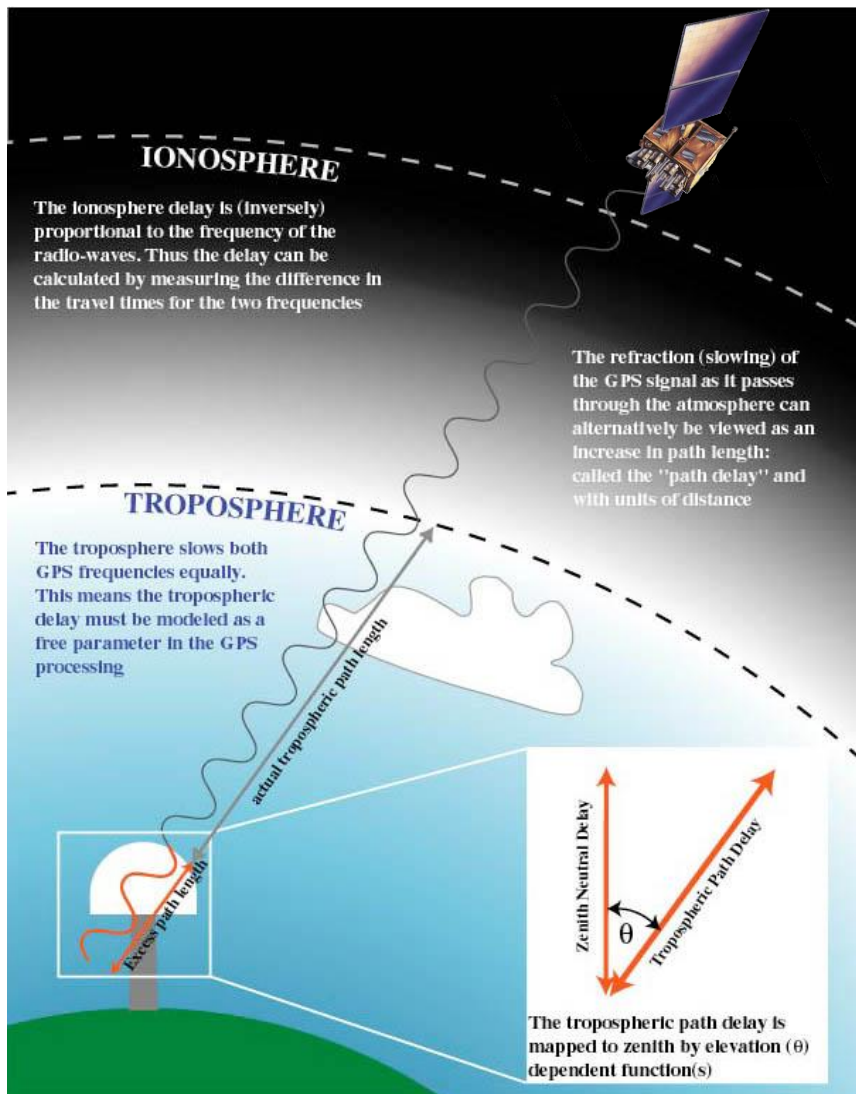
Mediciones de vapor de agua

2. Receptores GPS en superficie determinan vapor de agua precipitable:

- Alta resolución temporal (5 -30 min), ~10 km promedio horizontal.
- Exactitud de ~1 mm
- La penetración de nubes permite un muestreo en todo tipo de clima.



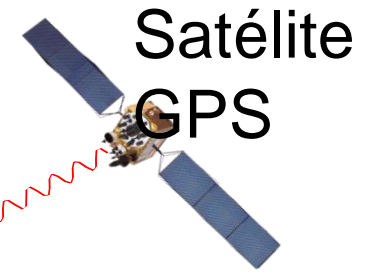
Paso de un frente en Kansas, 2004



Se han desarrollado correcciones atmosféricas de la señal GPS que mejoran el posicionamiento en aplicaciones geodesicas.

Sin embargo, este aparente ruido atmosferico es una señal que puede ser usada para determinar el contenido de vapor de agua en la parte baja de la atmósfera

Meteorología con GPS



Señal GPS en la ionósfera

- La refractividad se asocia con los cambios en la densidad del plasma (TEC) entre los 50 y 400 km.
- Los retrasos de la señal en un medio dispersivo son inversamente proporcionales a la frecuencia.
- Los retrasos ionosféricos se estiman usando receptores de frecuencia doble.

Señal GPS en la Tropósfera

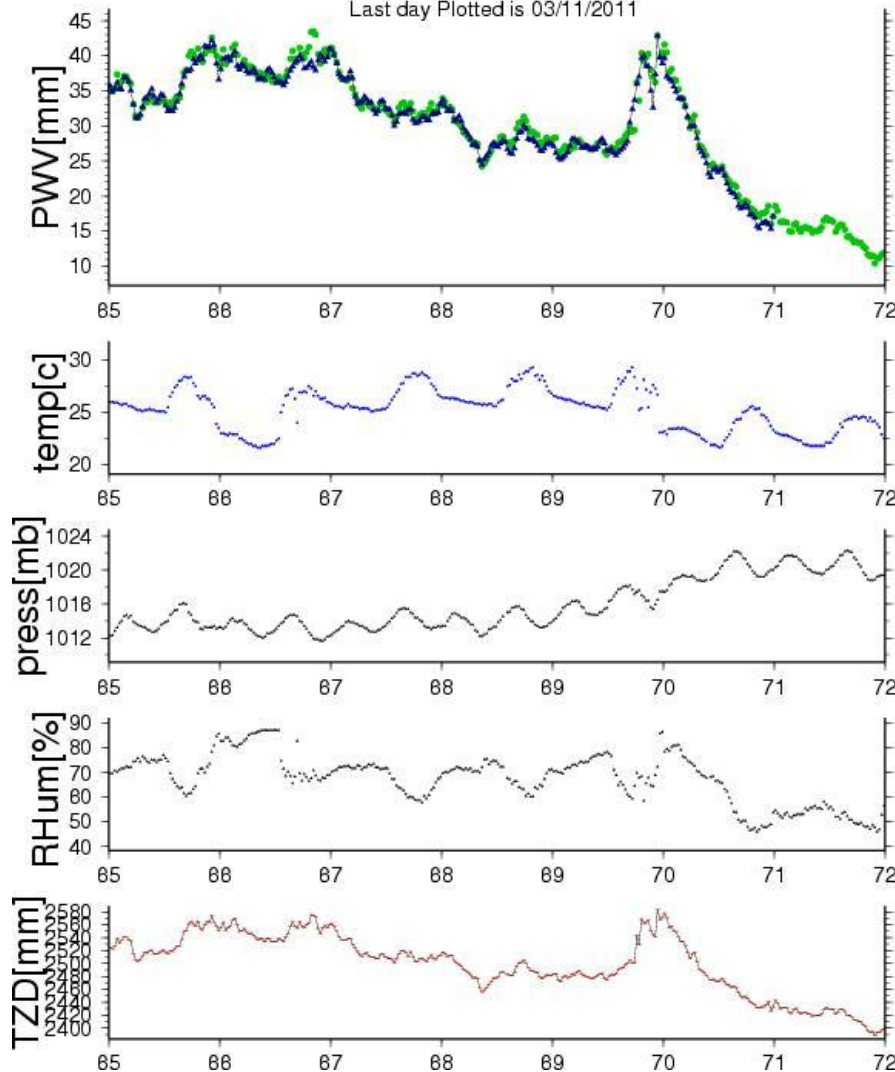
- La refractividad se asocia con los cambios de P, T y **vapor de agua**.
- Los retrasos en la señal no están correlacionados en frecuencias menores a los 30 GHz.
- Los retrasos se estiman como parámetros libres en el cálculo de la posición de la antena.



Estación GPS

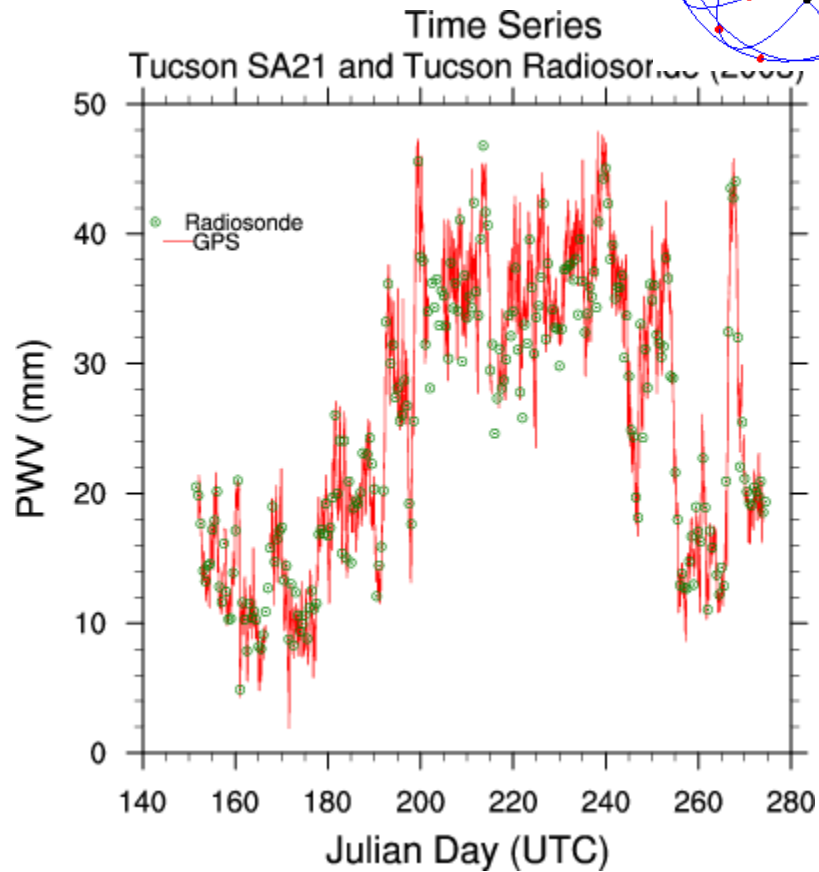
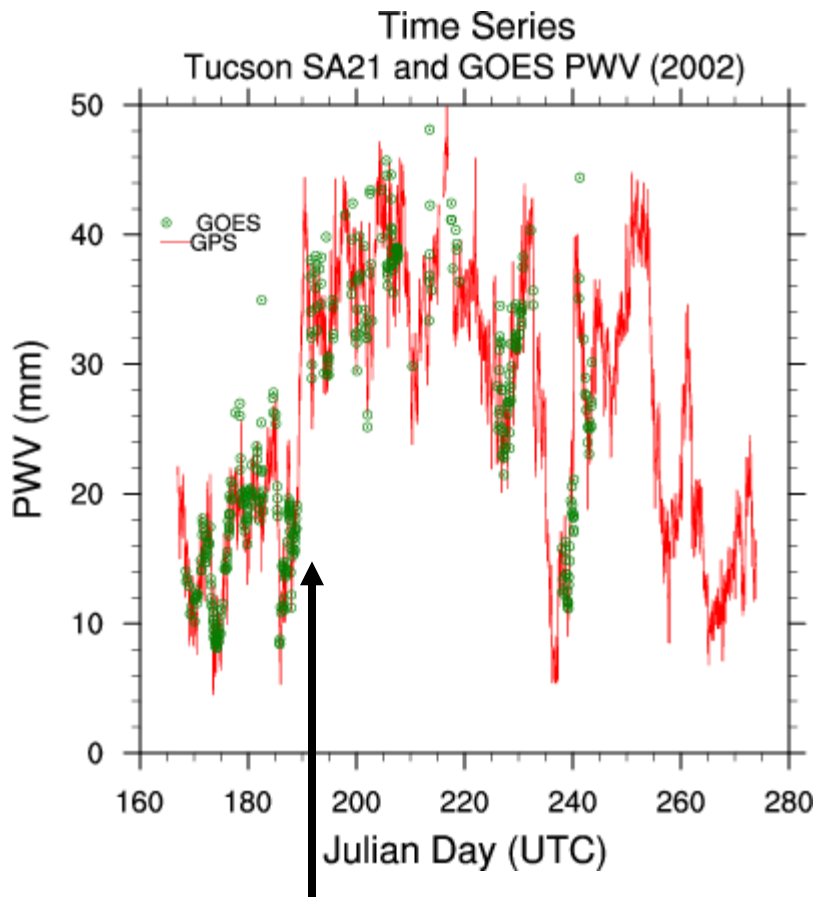
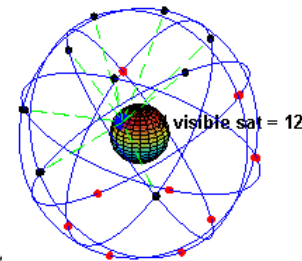
Suominet GPS ZTD/PWV estimates for SITE: CNC0

Last day Plotted is 03/11/2011



Ejemplo de datos de estación GPS+Met (Cancún, Q.R. CNC0) para el 11 de Marzo, 2011.

Series de tiempo PWV GPS



Inicio

Intercomparaciones de mediciones de vapor de agua precipitable (PWV) con satélites (izq) y radiosondas

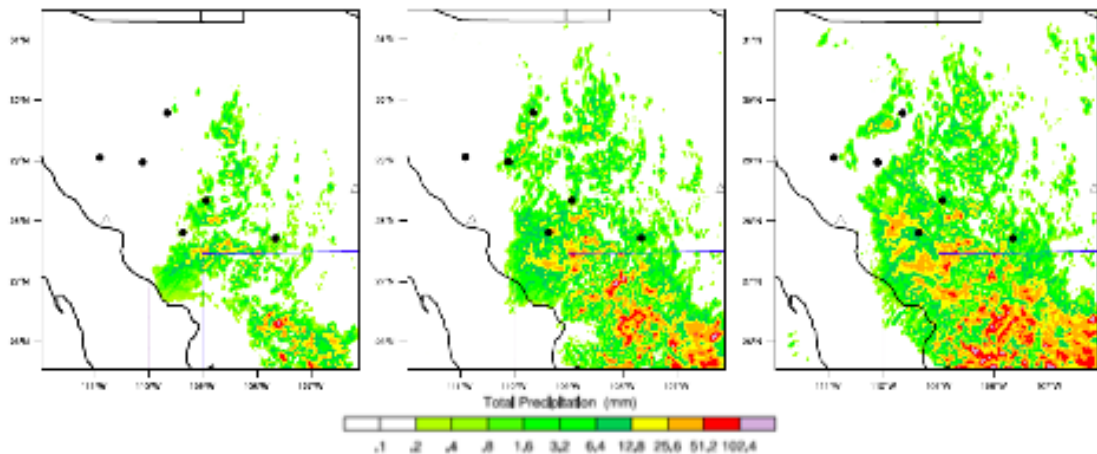


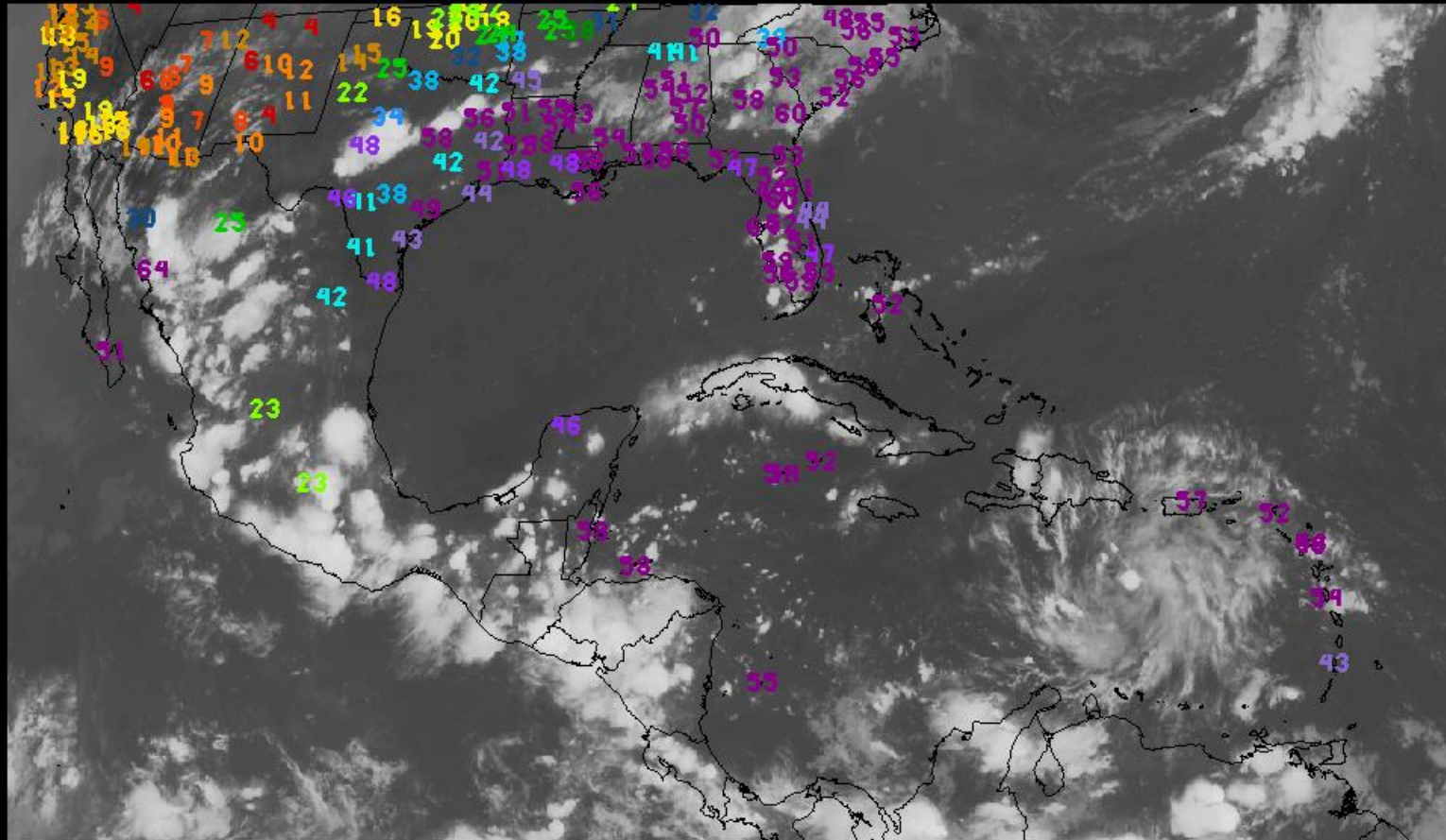
Figure 1. WRF simulations of accumulated precipitation for 3 different initial PWV fields, 95%, 100% and 105% of the ETA analysis PWV for July 29, 2004. Black dots indicate the locations of our GPS receivers. Triangles indicate the Empalme and Chihuahua radiosonde locations. Precipitation statistics in Figure 2 were derived in the southeastern region enclosed by the thin blue line.

Relación Vapor Agua – Precipitación

El pronóstico de precipitación es generalmente problemático para los modelos atmosféricos

- Muy sensible a las condiciones iniciales de PWV, las cuales son determinadas si solo se cuenta con radiosondeos
- El PWV de GPS puede mejorar significativamente la exactitud del campo de vapor de agua con lo que se mejora el pronóstico
- Sin embargo se necesita alta densidad de muestreo
- Se necesitan observaciones de precipitación y PWV GPS para delimitar procesos y mejorar modelos.

Huracanes Karl e Igor



SUOMINET PRECIPITABLE WATER VAPOR 100912/0045

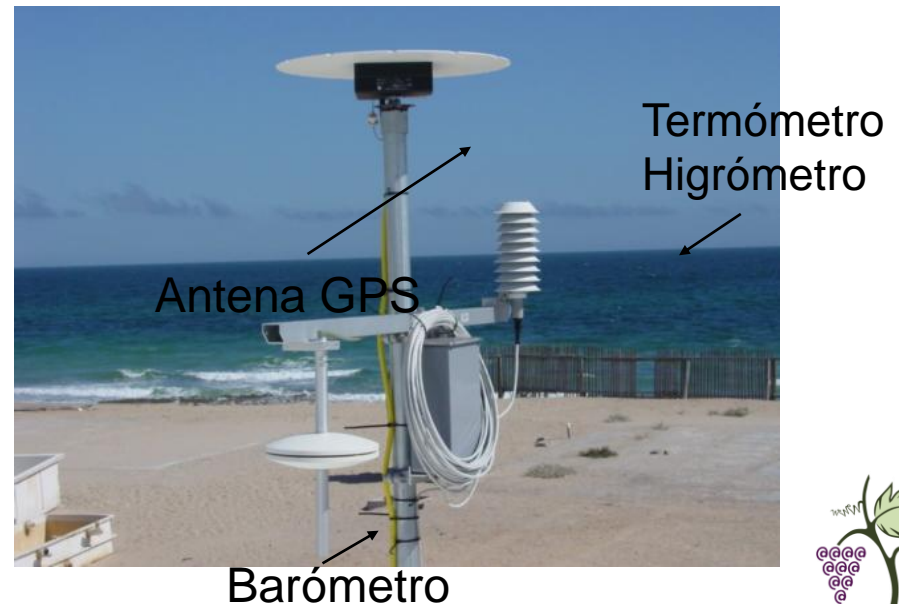


Valores de vapor de agua en estaciones GPS-Met para los huracanes Karl e Igor

Necesidades de instrumentación

Instrumentación meteorológica adyacente al receptor GPS:

- Mínimo: barómetro preciso para separar componentes de retraso húmedo e hidrostático
- Muy deseable: Termómetro, higrómetro, anemómetro, pluviómetro.
- Web cam para determinar evolución de nubes y precipitación.
- Internet para transferencia en tiempo real de datos



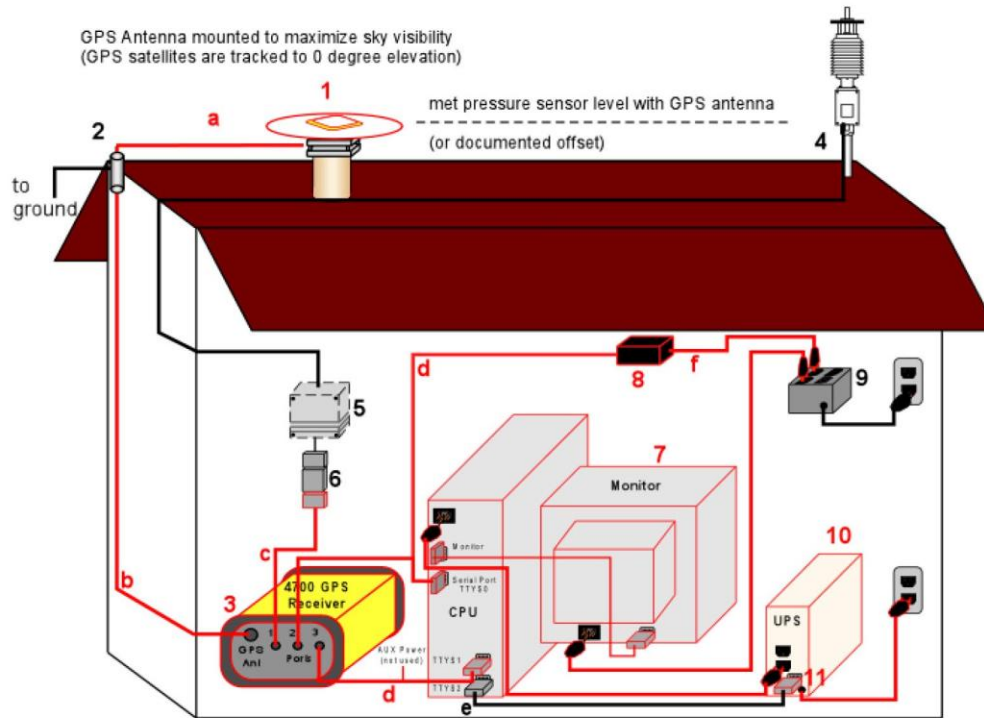
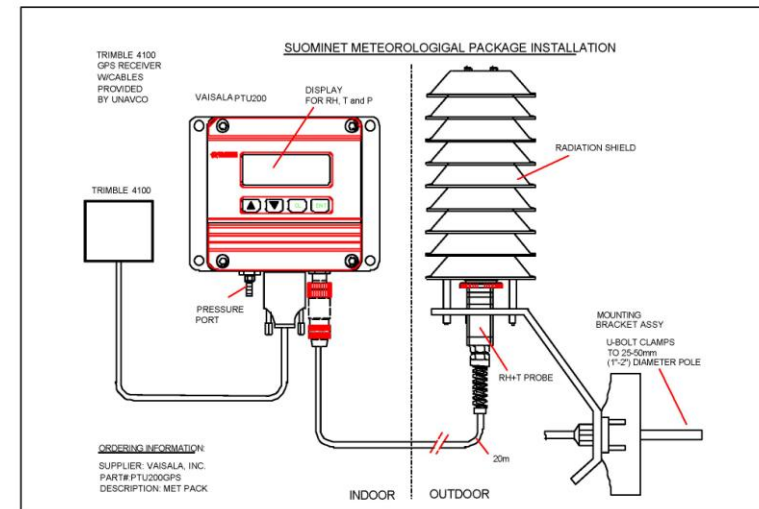


Diagrama esquemático de instalación de instrumental GPS+Met en la red Suominet.

Figure 3.1: Possible SuomiNet deployment configuration showing a GPS receiver and antenna (1 and 3), MET sensor (4), and system computer (7). See <http://www.unavco.ucar.edu/equipment/suominet/configurations.html> for color figure and more details.





Antena GPS

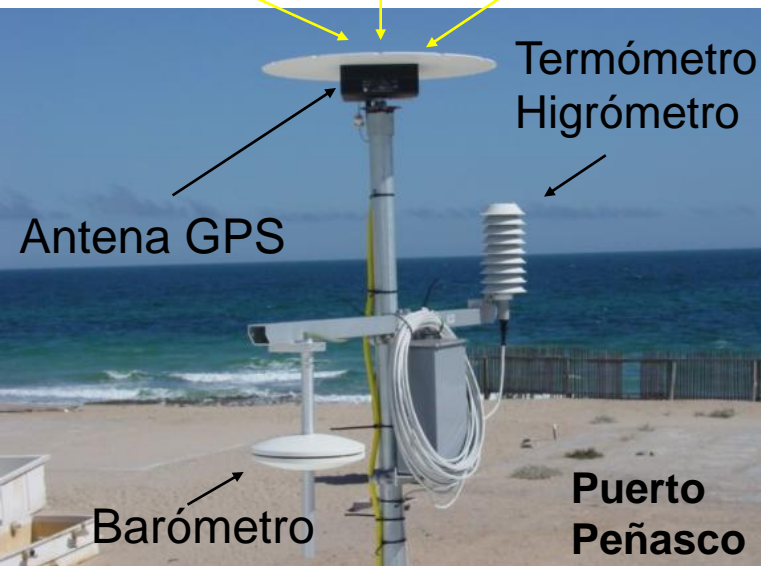


Vaisala
PTU200

Estación SG32 (Teoloyucan, Edo. de México), parte de la red Suominet de UCAR-COSMIC que incluye un sensor Vaisala PTU200 y receptor Trimble 4700.

GPS GPS GPS

Vapor de agua precipitable GPS-Met

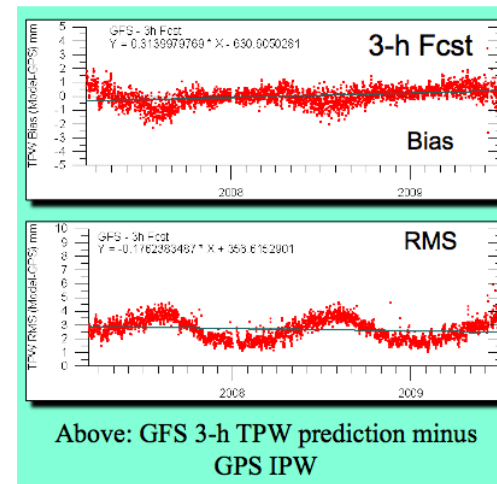
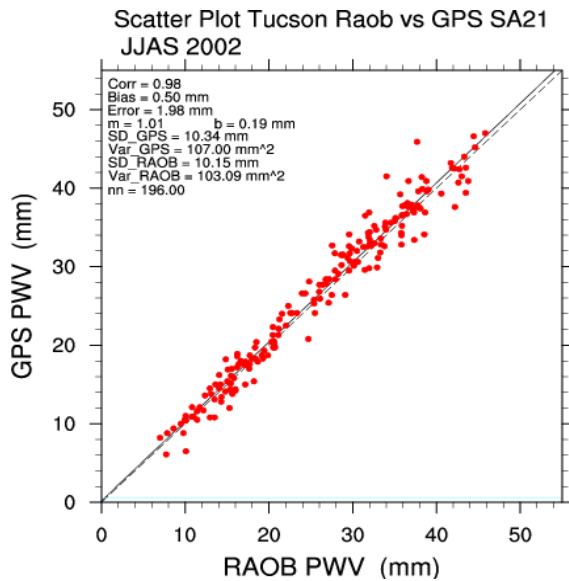


GPS-Met determina el vapor de agua precipitable (PWV)

- Estimaciones en todo tipo de clima, exactitud: ~1 mm.
- Tiempo de resolución: 5 to 30 min.
- Bajo costo y totalmente automatizable

Aplicaciones

- Inicializar pronósticos.
- Control calidad en radiosondas
- Evaluar modelos y analisis de vapor de agua.
- Evaluar estimaciones de vapor de Satélite : GOES, MODIS & AIRS
- Delimitar procesos en modelos

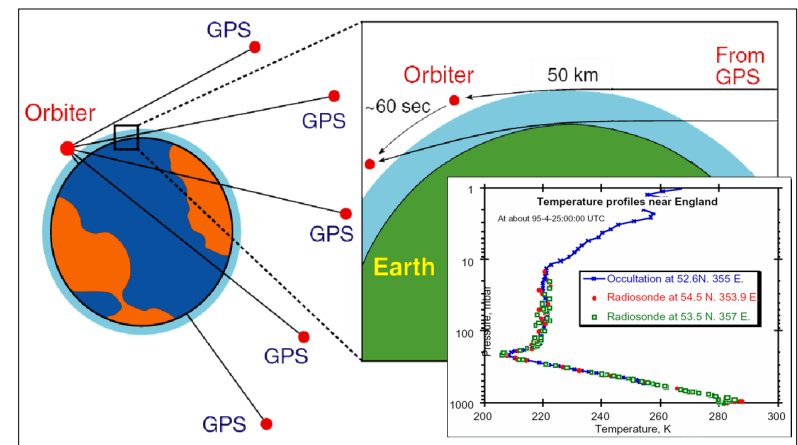


Utilidad de las observaciones GPS+Met

Por más de una década, la meteorología basada en GPS ha provisto de mediciones de vapor de agua atmosférico de manera relativamente económica, con alta frecuencia de muestreo (5-30 min.) y sin interrupciones (Kursinski et al., 2000).

Las aplicaciones de meteorología de GPS son variadas: la asimilación en modelos numéricos de predicción de tiempo (Gutman y Benjamin; 2001), casos de estudios meteorológicos (Champollion et al., 2009) y transporte de vapor de agua (Kursinski et al., 2008).

La principal variable que se determina con esta técnica es el vapor de agua precipitable (PWV). Este parámetro se deriva del retraso de la señal electromagnética entre los satélites GPS y el receptor en tierra (Bevis et al., 1992) debido a la presencia de vapor de agua en la atmósfera. El rango de precisión de esta técnica es de 1-2 mm (Sapucci et al., 2007).



Observaciones de un solo receptor GPS proporcionan un valor integrado de PWV, que carece de información sobre la estructura vertical. Sin embargo, con una red suficientemente densa de receptores GPS se puede caracterizar la estructura de vapor de agua en 3D utilizando las trayectorias oblicuas en dirección a cada uno de los satélites GPS (Braun et al. 2001).

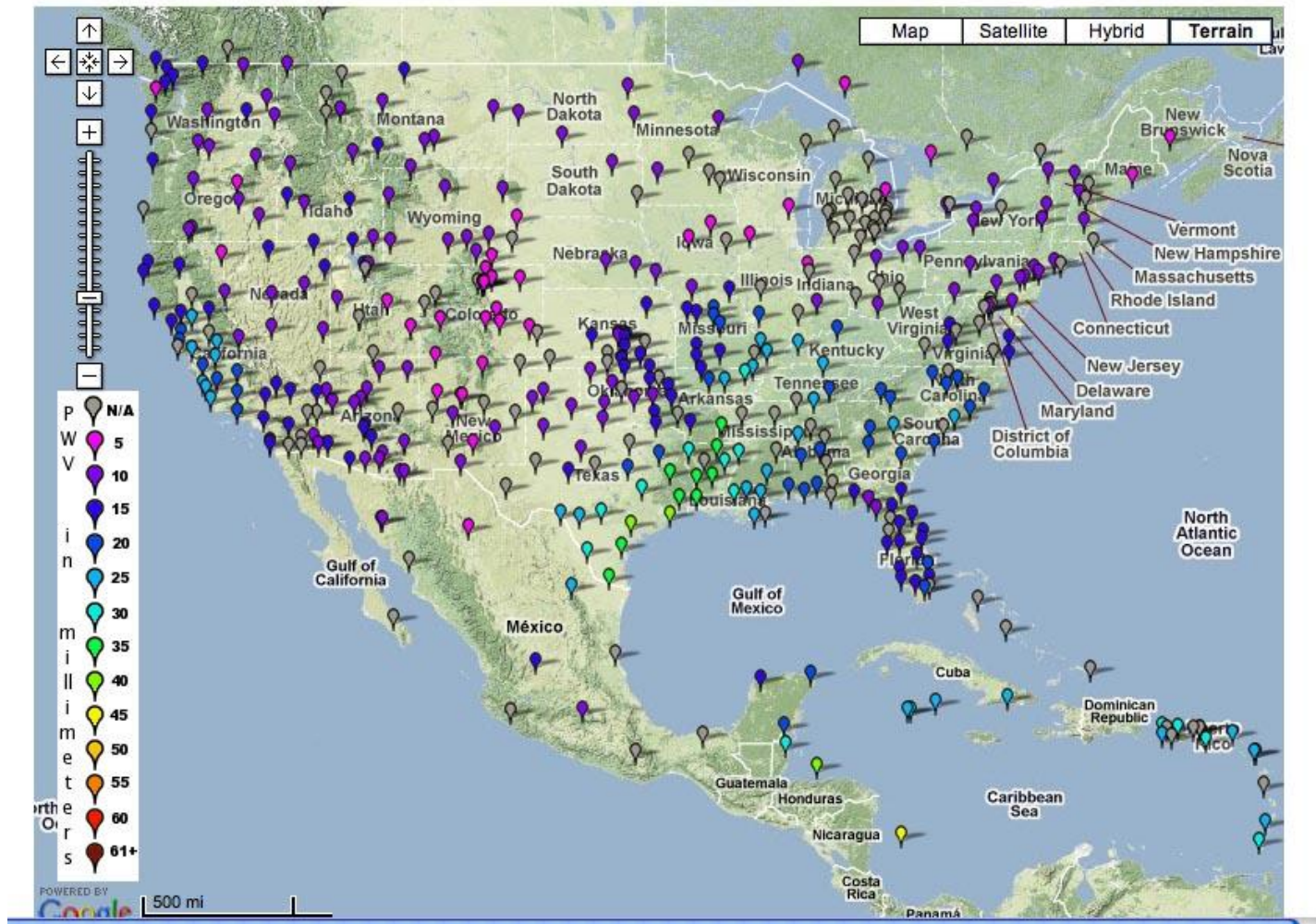
Las redes de GPS en conjunto con datos atmosféricos pueden utilizarse para obtener una tomografía de vapor de agua y describir la evolución temporal de los campos de vapor de agua. Esta metodología se ha aplicado exitosamente a estudios del ciclo diurno (Bastin et al., 2007) y en el desarrollo de tormentas (Champollion et al., 2009; Adams et al., 2011).

Características del cálculo de vapor de agua precipitable a partir de GPS:

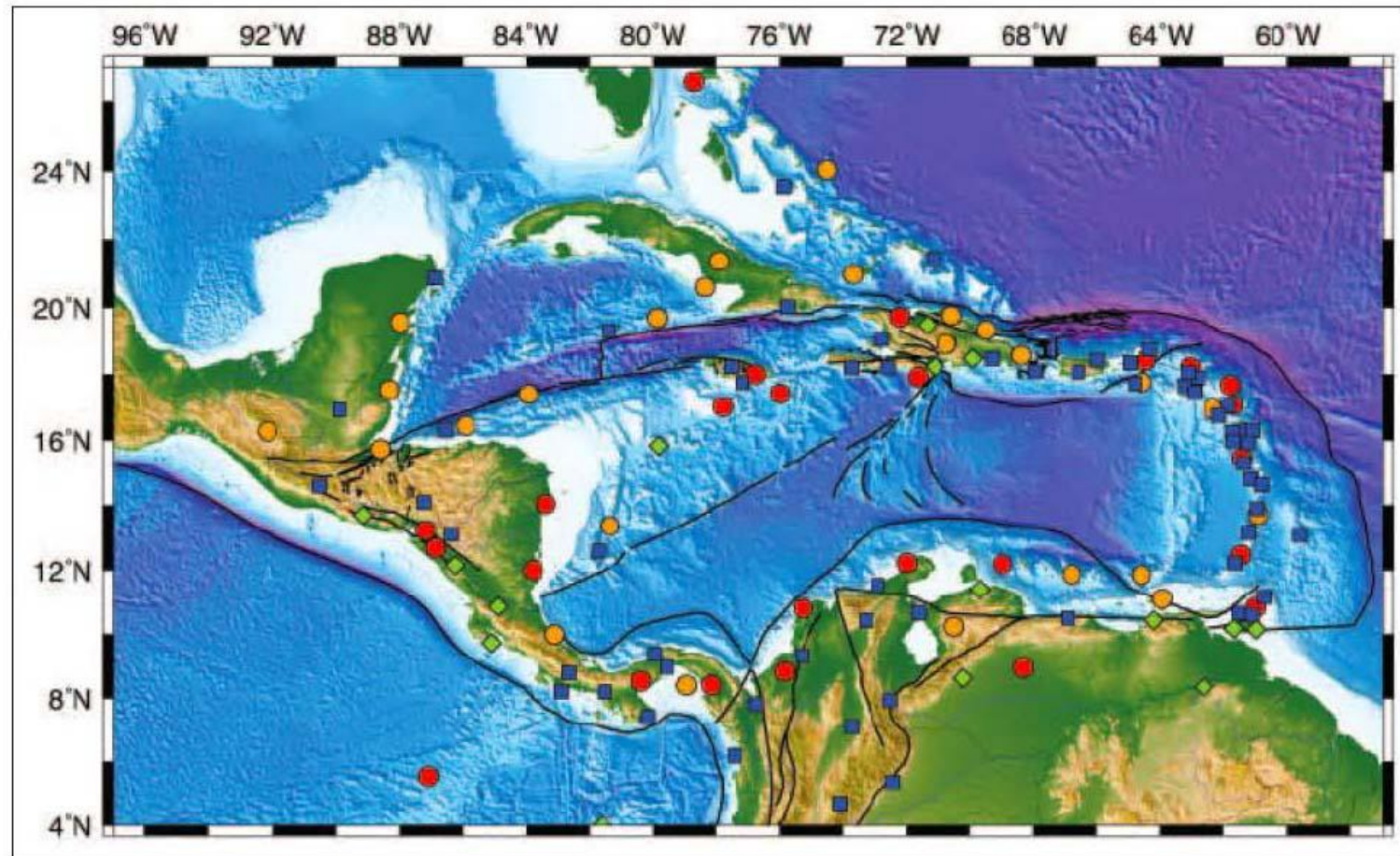
- Alta resolución temporal (desde 5 min. hasta 30-60 min.).
- Resolución horizontal moderada y resolución vertical variable que se compensa con técnicas de asimilación.
- Permiten monitorear la distribución de humedad y su transporte.
- Capacidad de observación en todo tipo de condiciones meteorológicas (no es afectado por condiciones de nubosidad y/o precipitación).
- Error de medición de 1-2 mm.
- Permite describir la evolución espacio-temporal (4D) del vapor de agua, fundamental en la predicción de tormentas.

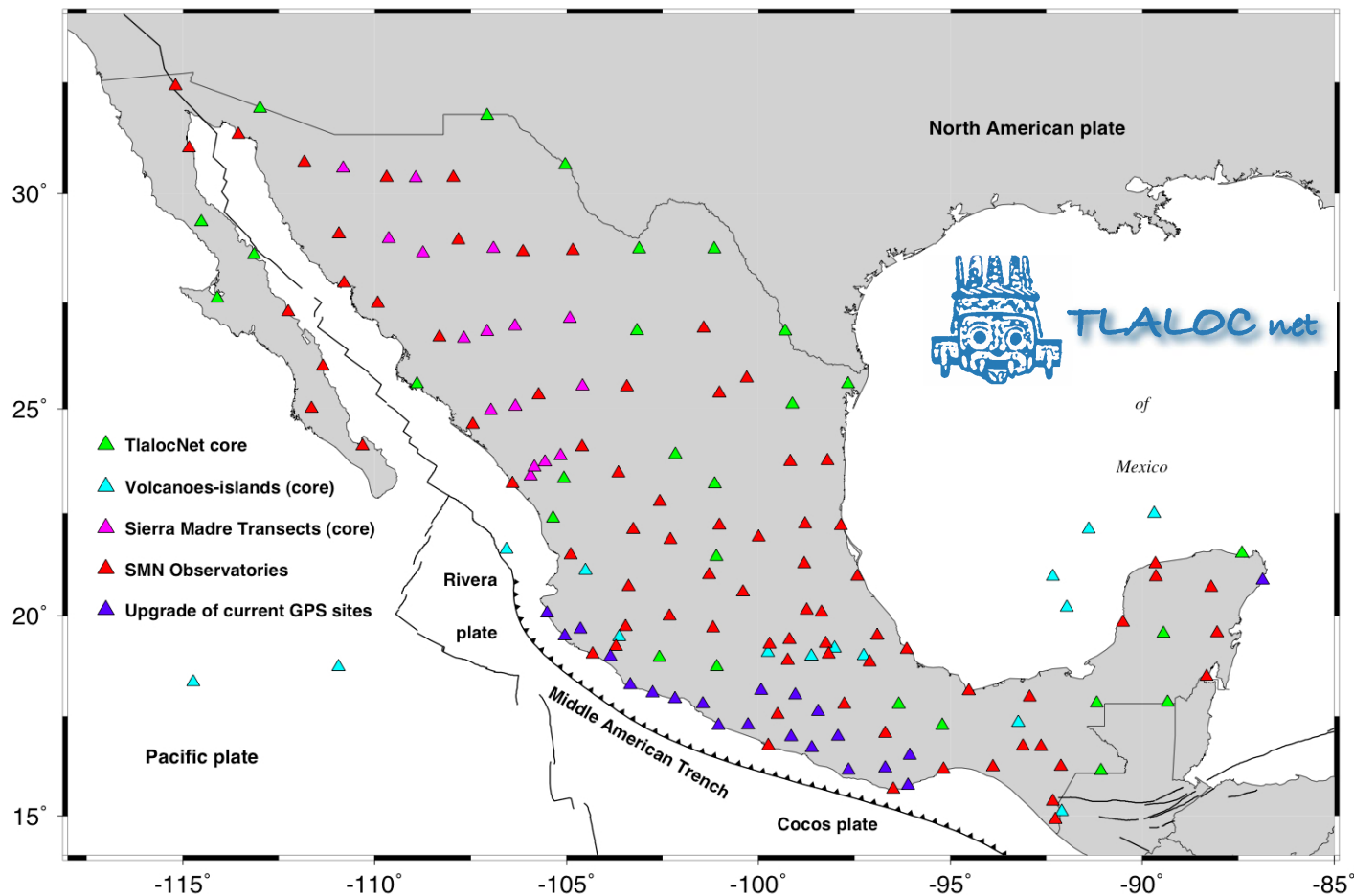
Red Suominet de estaciones GPS+Met utilizadas para meteorología GPS por UCAR-COSMIC

Current Precipitable Water Vapor - US Global Sites with Delay or PWV Estimates



Red CocoNet de estaciones GPS+Met en Centroamérica, norte de Sudamérica y el Caribe





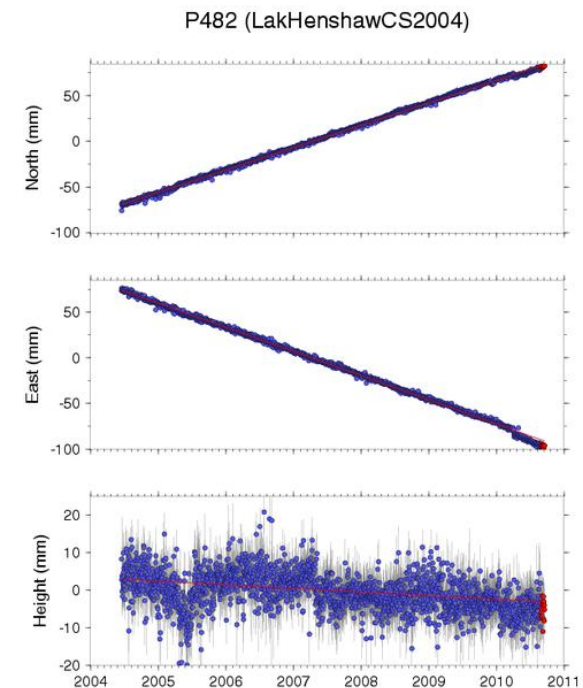
Localización propuesta de la red TlalocNet de estaciones GPS+Met

Fase 1 (2012-2014) financiada por el Servicio Meteorológico Nacional
 – 100 estaciones

Fase 2 (2014-2016?) Financiada por NSF ~ 80 estaciones

Elementos de la red TlalocNet

- Fase 1 (2012-2014) financiada por el Servicio Meteorológico Nacional – 100 estaciones
- Fase 2 (2014-2016?) Financiada por NSF
- Estación continua GPS (GNSS)
- Paquete de sensores meteorológicos de superficie
- Monumento de calidad geodésica.
- Sistema robusto de respaldo de energía
- Infraestructura de telecomunicaciones (celular, satélite, proveedor de Internet local).
- Datos y productos Atmosféricos data (PW, P, T, RH, vel/ int vientos, precipitación)
- Productos geodésicos (datos crudos, posiciones diarias, velocidades lineales).
- Posicionamiento en tiempo real.
- **Datos abiertos y disponibles a la sociedad**



Requerimientos

- Para la asimilación de observaciones GPS-Met en modelos atmosféricos la exactitud de los pronósticos numéricos meteorológicos de corto plazo son sensibles inicialmente al número y ubicación de las estaciones; sin embargo este impacto decrece al incrementar la densidad de estaciones.
- Un espaciamiento promedio entre estaciones GPS-Met de 150-200 km es suficiente para mantener los errores sistemáticos dentro de niveles aceptables en estimaciones de vapor de agua con cadencia de 5- 15 min horas.
- Los receptores GPS-Met usados para pronósticos meteorológicos regionales deben de estar idealmente espaciados a menos de < 150 km y proveer de observaciones con resolución temporal de posición 1 s y meteorológicas de 30-60 s.
- Es deseable una latencia de transmisión < 3-4s.
- Enlaces de alta disponibilidad y endurecidos para eventos extremos