



VII. RESULTADOS

7.1 Resultados de Desplazamiento Horizontal medidos con GPS

Las mediciones de GPS se han realizado en diferentes campañas desde el año de 1995 con estaciones de ocupación temporal, y los datos fueron procesados con GIPSY-OASIS II. Posteriormente se calcularon velocidades de desplazamiento horizontal como se muestra en la figura 7.1. A las velocidades resultantes, se les aplicó una corrección en la que se resta la velocidad de desplazamiento de la Placa de Norteamérica que va de 5 a 7 cm/año, quedando solamente el movimiento interno de la placa. De esta manera, las velocidades están referidas a la Placa de Norteamérica, es decir, las velocidades que se muestran en la Tabla 2 son velocidades de deformación interna de la zona de estudio.

$$V_d[\text{mm/año}] = \sqrt{E^2 + N^2} \quad \text{donde: } V_d: \text{Velocidad de desplazamiento horizontal}$$

E: Velocidad de desplazamiento E-W

N: Velocidad de desplazamiento N-S

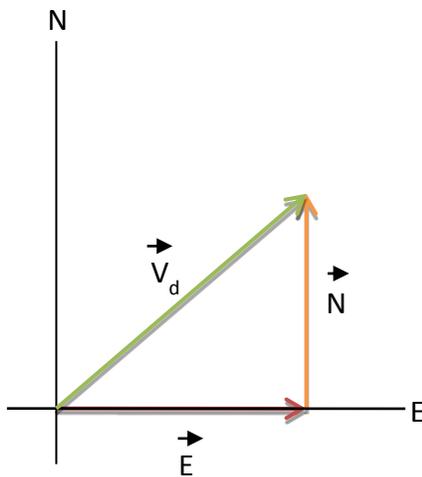


Fig. 7.1. Componentes en la velocidad de desplazamiento horizontal.



Estación	Velocidad de desplazamiento horizontal (mm/año)
AIB2	0.51039201
AIBJ	0.63126856
AUHR	8.40931032
BALB	10.4485836
BENM	9.88777022
CATE	17.1043445
CEME	11.2596714
CUEM	10.437241
ESTR	10.2076932
FVET	24.6362862
LTEX	10.3423402
SCT1	6.11709899
SERP	15.764219
TLAT	7.66329564
UAMZ	8.29179112
ULSA	11.8084758
UNIV	8.56028621
ZOCA	8.30918167

Tabla 2. Velocidades de desplazamiento horizontal de las estaciones GPS.

De acuerdo con el análisis de los datos de las 18 estaciones GPS se puede observar a partir de un histograma (Fig. 7.2) que la mayor parte de ellas se encuentra dentro de un



rango de velocidad de desplazamiento horizontal que va de 6 a 10 mm/año, por lo tanto, pocas estaciones tienen desplazamientos inferiores a los 5 mm anuales o superiores a los 15 mm anualmente.

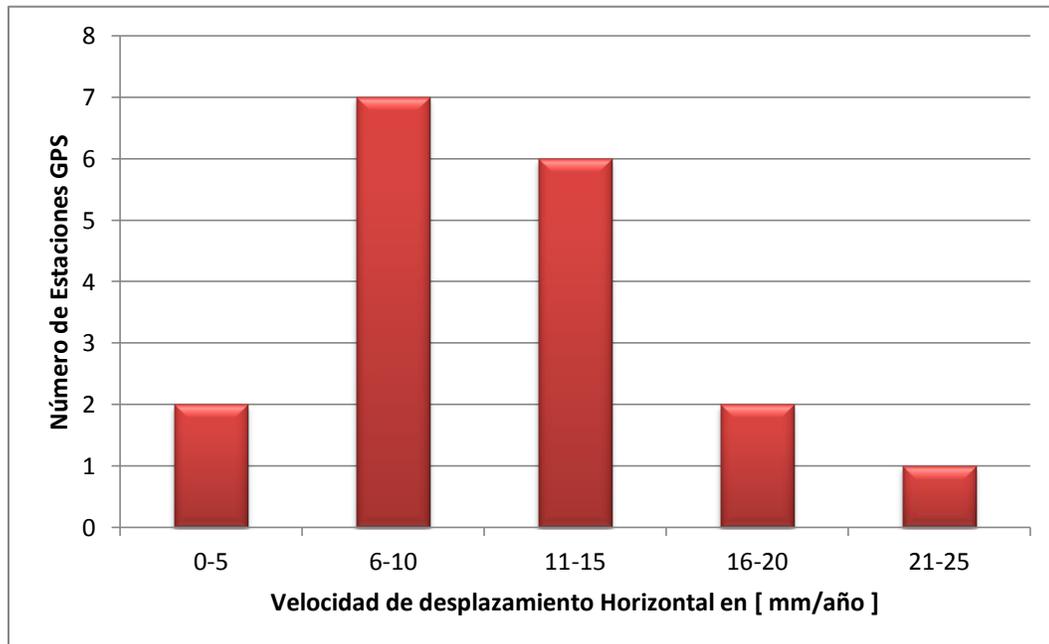
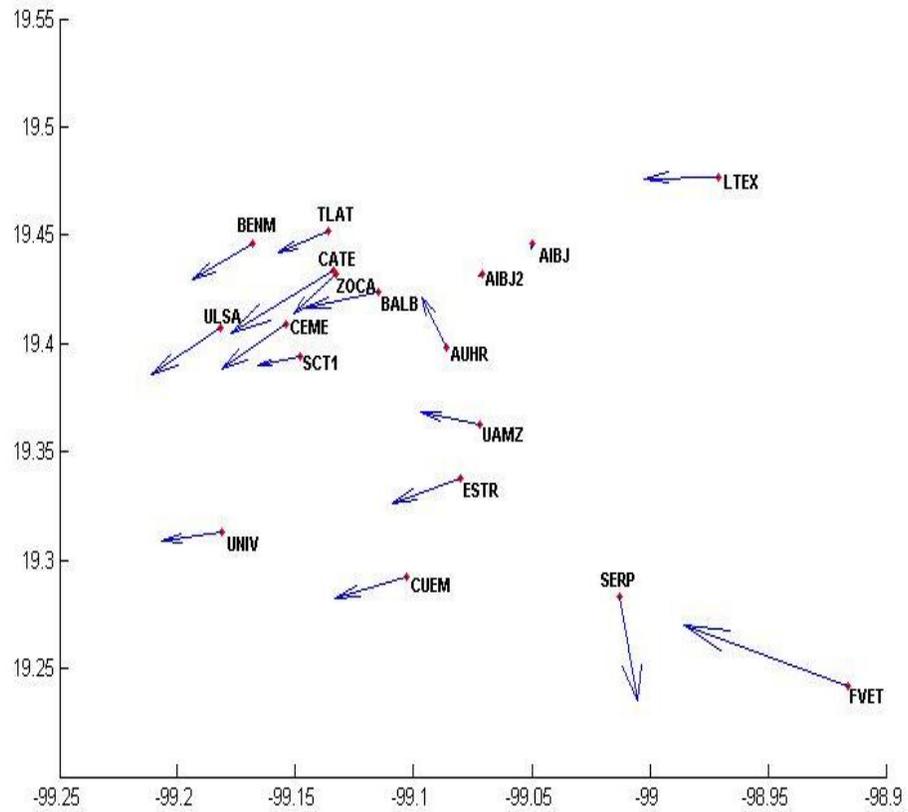


Figura 7.2. Histograma de rangos de velocidades de desplazamiento horizontal de las 18 estaciones GPS.

Una vez calculada la velocidad de desplazamiento horizontal de cada una de las estaciones se graficaron sus vectores tal y como se muestra en la figura 7.3 obtenida a partir de un código sencillo en Matlab, en donde cada vector representa la velocidad de desplazamiento horizontal.



Escala: 10 mm/ año →

Fig. 7.3. Velocidades de desplazamiento horizontal

Luego de graficar las velocidades de desplazamiento horizontal se obtuvo un gráfico de roseta (Fig. 7.4) en el que se pueden observar los rangos de la orientación preferencial del desplazamiento de cada estación, la cual es en su mayoría entre los 211 a los 220 grados, es decir, preferencialmente al SW.

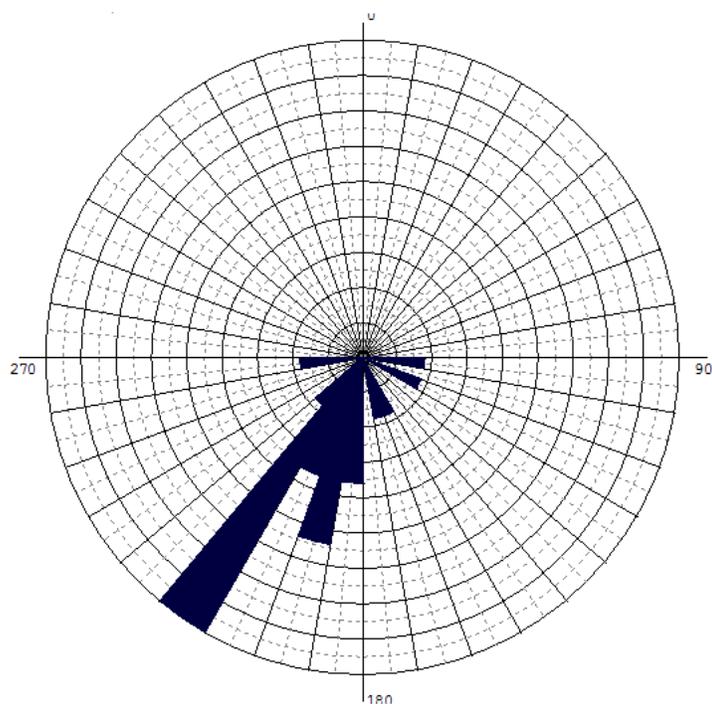


Figura 7.3. Gráfica de roseta que muestra la orientación preferencial del vector de desplazamiento horizontal.

Error en las mediciones

En la siguiente tabla (Tabla 3) se muestran la velocidad de desplazamiento de cada una de las estaciones en las dos direcciones N-S y E-O, además el error $\pm n$ que existe en cada una de sus componentes y la cantidad de mediciones hechas. Como se puede observar los datos con menos mediciones tienen un error más grande, por lo tanto son menos confiables. Esto nos sirve al hacer un análisis detallado de cada estación porque debemos considerar ese error al hacer alguna conclusión.

Estación	Velocidad de desplazamiento horizontal (mm/año) y error $\pm n$.	Velocidad de desplazamiento horizontal (mm/año) y error $\pm n$.	Número de Mediciones
----------	---	---	----------------------



	Dirección N-S	Dirección E-O	
AIB2	-0.3 ± 2.9	-0.4 ± 6.5	2
AIBJ	-0.6 ± 1.2	0.0 ± 1.9	5
AUHR	7.7 ± 8.7	-3.5 ± 26.1	2
BALB	-2.5 ± 3.3	-10.1 ± 3.3	4
BENM	-5.3 ± 1.7	-8.4 ± 3.4	3
CATE	-9.5 ± 5.4	-14.2 ± 7.3	2
CEME	-6.9 ± 1.5	-8.9 ± 1.9	4
CUEM	-3.1 ± 1.6	-10.0 ± 1.9	4
ESTR	-3.8 ± 1.8	-9.5 ± 2.6	3
FVET	9.2 ± 1.4	-22.8 ± 1.6	5
LTEX	-0.2 ± 7.8	-10.3 ± 10.7	2
SCT1	-1.4 ± 1.4	-6.0 ± 2.6	4
SERP	-15.5 ± 1.4	2.6 ± 1.5	5
TLAT	-3.2 ± 1.3	-6.9 ± 2.1	5
UAMZ	1.6 ± 1.4	-8.1 ± 1.8	4
ULSA	-7.0 ± 2.4	-9.5 ± 4.0	4
UNIV	-1.4 ± 0.6	-8.4 ± 0.6	5
ZOCA	-5.9 ± 1.5	-5.8 ± 1.9	4

Tabla 3. Velocidad de desplazamiento y error en las dos componentes.

Se puede ver que el error en algunas estaciones es bastante grande por lo que se sugeriría descartar algunos datos, sin embargo el movimiento existe y esto ya es un resultado del cual se puede hacer alguna conclusión.



7.2 Análisis de resultados

En el capítulo VI se describen los distintos mecanismos del comportamiento de una superficie y las principales características de los movimientos horizontales. Sin embargo, destacaremos los puntos que se consideran más importantes debido a los resultados obtenidos a partir de nuestro estudio.

En la Cuenca de México existe una gran cantidad de sitios donde se han manifestado hundimientos diferenciales muy importantes y que son los principales motivos por los que se comenzó a hacer el análisis de subsidencia en la CM. Cabe destacar que las mediciones realizadas por las estaciones de GPS utilizadas en esta tesis, en un principio fueron para analizar el fenómeno de subsidencia y posteriormente para análisis de desplazamiento horizontal.

Varias de las estaciones se encuentran en sitios donde se han presentado en los últimos años problemas de subsidencia provocada principalmente por el abatimiento de los acuíferos; sin embargo, existen otras causas que pueden haber provocado el hundimiento del suelo y por consiguiente el desplazamiento lateral de las estaciones.

Para comenzar el análisis de los desplazamientos horizontales, partimos de un modelo geológico que explica el comportamiento de una zona en la cual existe hundimiento sin importar que lo provoque. En cualquier sitio en el que se manifiesten hundimientos diferenciales los desplazamientos horizontales se dirigirán hacia la zona de mayor hundimiento, ocasionando que el máximo desplazamiento horizontal se presente en el punto de máxima pendiente. Para ejemplificar este fenómeno se trató de encontrar una relación entre nuestros resultados y la información acerca de las fracturas cartografiadas por el Centro de Monitoreo de Desarrollo de Fracturas del Subsuelo (CMFS) de la Delegación Iztapalapa (Fig. 6.1). Los resultados que obtenemos, no nos permiten comprobar esta teoría, ya que los vectores de desplazamiento horizontal parecen más bien tener un comportamiento regional, y por otro lado la información de la Delegación Iztapalapa está muy localizada, lo cual es de esperarse, y nuestros puntos de observación con GPS no cubren de manera exhaustiva la zona de esta delegación: por lo tanto no se puede generalizar para la cuenca. Los datos obtenidos con GPS muestran que la mayor parte de



las estaciones no tienen relación con dicho fenómeno, llegando a la conclusión de que las fracturas cartografiadas por el CMFS son debidas aparentemente a un fenómeno local, por lo cual sería necesario contar con un mayor número de estaciones GPS en esa área para monitorear las zonas que presentan mayores problemas de agrietamiento.

Sin embargo en el mapa de hundimiento que se muestra a continuación (Fig. 7.4) se puede observar que el desplazamiento de algunas de las estaciones como: LTEX, AIBJ, SERP Y FVET, si se dirigen en dirección al hundimiento; aunque no necesariamente hacia la zona de máximo hundimiento, a excepción de AIBJ. A continuación se muestra información valiosa del hundimiento de la CM de los resultados obtenidos a partir de mediciones GPS mostradas en la Tabla 3 y como ya se ha mencionado, son mediciones que cubren el período 1995-2004, aunque no todas las estaciones siguen midiendo hasta la actualidad, por lo que algunas cuentan con un buen número de mediciones y algunas otras con información escasa por lo cual es necesario llevar a cabo un análisis de error para saber el grado de confiabilidad de cada una de ellas.

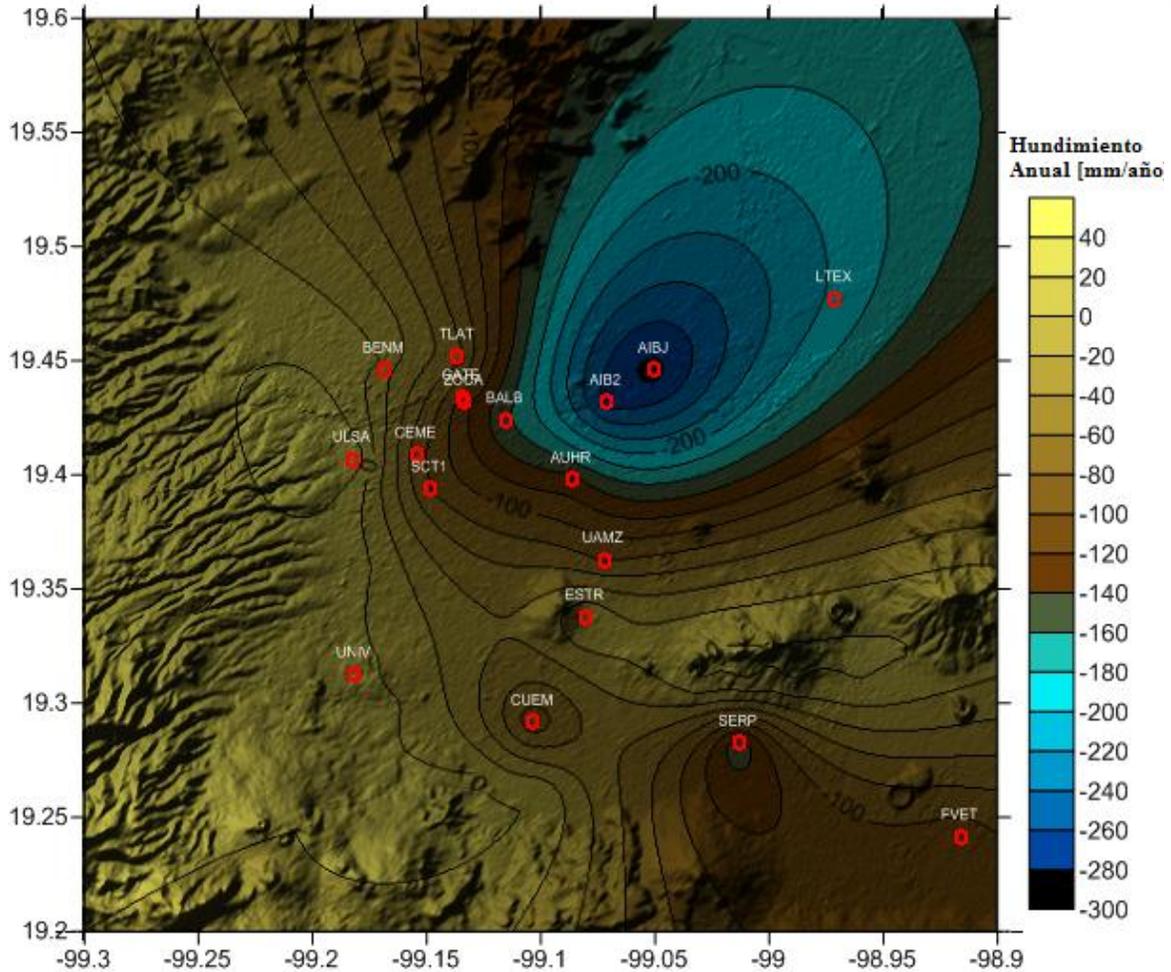


Fig. 7.4. Mapa que muestra el hundimiento registrado a partir de 1995-2004.

Un aspecto interesante es la observación del desplazamiento que presentan las estaciones que se encuentran en la zona de mayor hundimiento (AIBJ y AIB2) que es de hasta casi 30 cm/año (Jaramillo-Rivera, 2002) ya que son las que tienen el menor desplazamiento horizontal (Tabla 4).



Estación	Velocidad de desplazamiento horizontal (mm/año)	Velocidad de hundimiento (mm/año)
AIB2	0.51039201	-265.53
AIBJ	0.63126856	-287.56
AUHR	8.40931032	-131.25
BALB	10.4485836	-156.25
BENM	9.88777022	-16.74
CATE	17.1043445	-105
CEME	11.2596714	-71.81
CUEM	10.437241	-95.75
ESTR	10.2076932	0.06
FVET	24.6362862	-111.59
LTEX	10.3423402	-196.15
SCT1	6.11709899	-80.18
SERP	15.764219	-154.52
TLAT	7.66329564	-51.34
UAMZ	8.29179112	-82.85
ULSA	11.8084758	38.37
UNIV	8.56028621	0.63
ZOCA	8.30918167	-115.39

Tabla 4. Velocidades de desplazamiento horizontal y hundimiento anual de cada estación GPS.



Para poder estudiar el desplazamiento horizontal, se analiza a continuación la relación que guarda la distribución de las estaciones y la geología de las diferentes zonas geotécnicas de la cuenca: Zona de Lomas, Zona de Transición y Zona de Lago (Fig. 7.5).

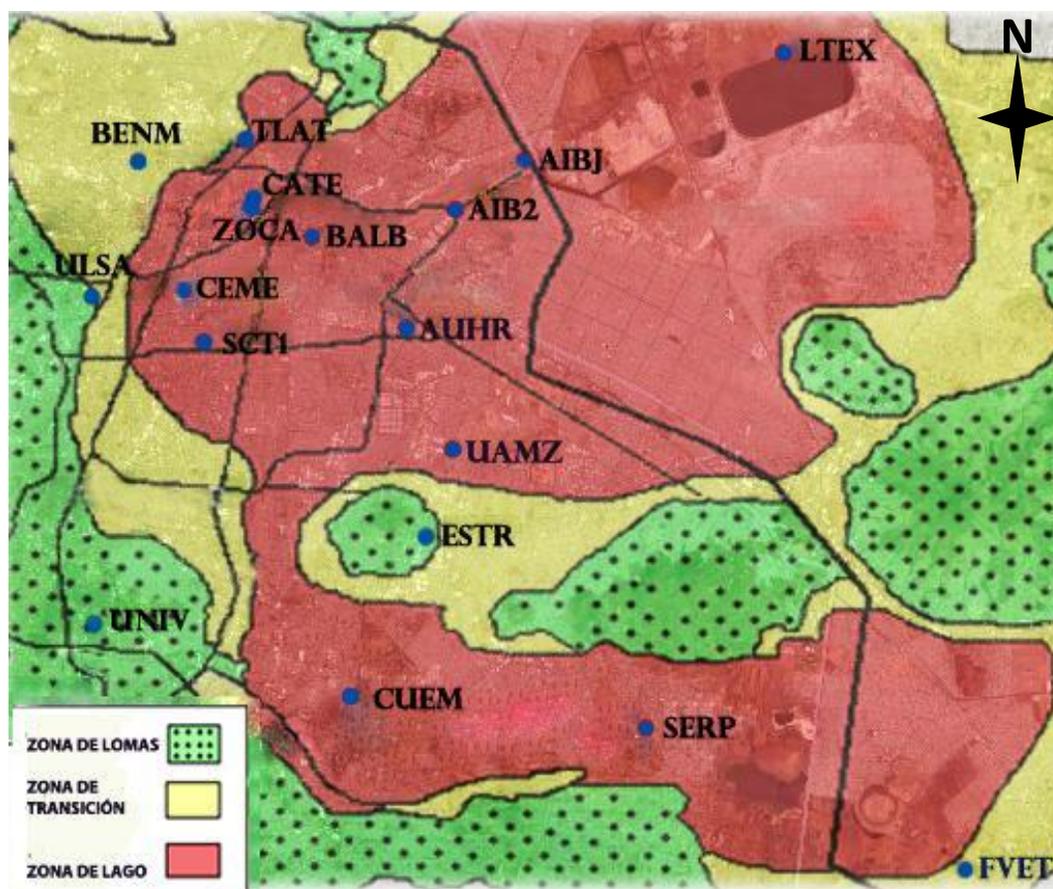


Fig. 7.5. Distribución de estaciones GPS en las diferentes zonas del área de estudio (Modificada del SSN).

A continuación se lleva a cabo un análisis de las 18 estaciones existentes en el occidente de la Cuenca de México, y se señala la posible relación que guarda con el tipo de zonificación en la que se encuentra cada una de ellas. El área de estudio se divide en dos principales zonas que son: la Zona del Lago de Texcoco y la Zona del Lago de Xochimilco porque aunque las dos zonas tienen historias geológicas similares, su historia de cargas y la mineralogía de sus sedimentos pueden tener diferencias importantes relacionadas con las condiciones de depósito. En el área de la Zona del Lago de Texcoco se encuentran 15 estaciones y en la Zona del Lago de Xochimilco se encuentran solo 3 estaciones.



Zona de Lomas: En esta zona se encuentran monitoreando las estaciones del Cerro de la Estrella (ESTR) y la de Universum (UNIV) (Fig. 7.6): la estación del Cerro de la Estrella se encuentra sobre roca basáltica en los primeros 50 m y en los siguientes metros una intercalación de basalto con tezontle y basalto hasta los 200 m, (DGCOH diseños constructivos de pozos, 2000), la estación Universum se ubica sobre una geología similar; la estratigrafía consta de roca basáltica en los primeros 10 a 25 metros, la cual descansa sobre la Formación Tarango, (Vázquez y Jaimes, 1989). En la estación Cerro de la Estrella (ESTR) ubicada en la delegación Iztapalapa se presenta un hundimiento de 0.06 mm/año, y la estación Universum (UNIV) que se encuentra en Ciudad Universitaria en la delegación Coyoacán existe un hundimiento de 0.63 mm/año. El desplazamiento horizontal calculado fue de 10.21 mm/año y 8.56 mm/año, respectivamente, en dirección suroeste, por lo que el desplazamiento en estos puntos es muy parecido. Cabe destacar que estos resultados no están relacionados completamente con el fenómeno de subsidencia ya que se esperarían que los vectores estuvieran en dirección al noreste hacia la zona de mayor hundimiento, sin embargo no es así, ya que sucede lo contrario.

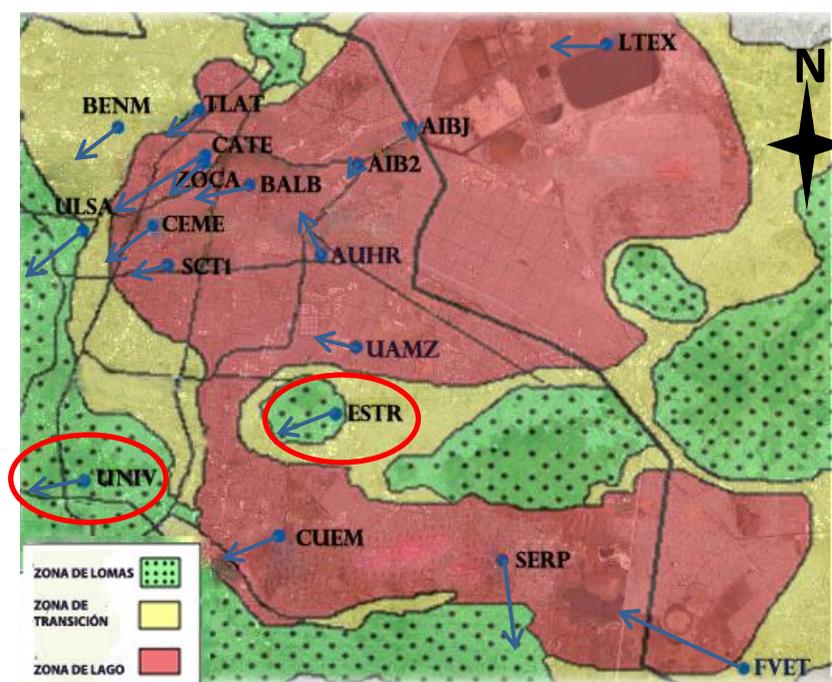


Fig. 7.6. Se muestran los vectores de desplazamiento (Flechas azules) de las estaciones UNIV y ESTR circuladas en rojo de la Zona de Lomas.



Zona de Transición: En esta área, pero dentro de la zona de lago de Texcoco, solo se encuentran dos estaciones, las estaciones de Benemérita Escuela Nacional de Maestros (BENM) en la delegación Cuauhtémoc y la estación Pozo Benjamín Franklin (ULSA) (Fig. 7.7) en la delegación Miguel Hidalgo. La estación Pozo Benjamín Franklin se localiza en los límites de la Zona de Transición al pie de la Zona de Lomas. La estación Benemérita Escuela Nacional de Maestros (BENM) presenta un desplazamiento horizontal de 9.89 mm/año y la estación Pozo Benjamín Franklin (ULSA) se desplaza horizontalmente 11.81 mm/año en dirección al suroeste, nótese que la orientación de su desplazamiento también es muy parecido al de las estaciones que se encuentran en la Zona de Lomas.

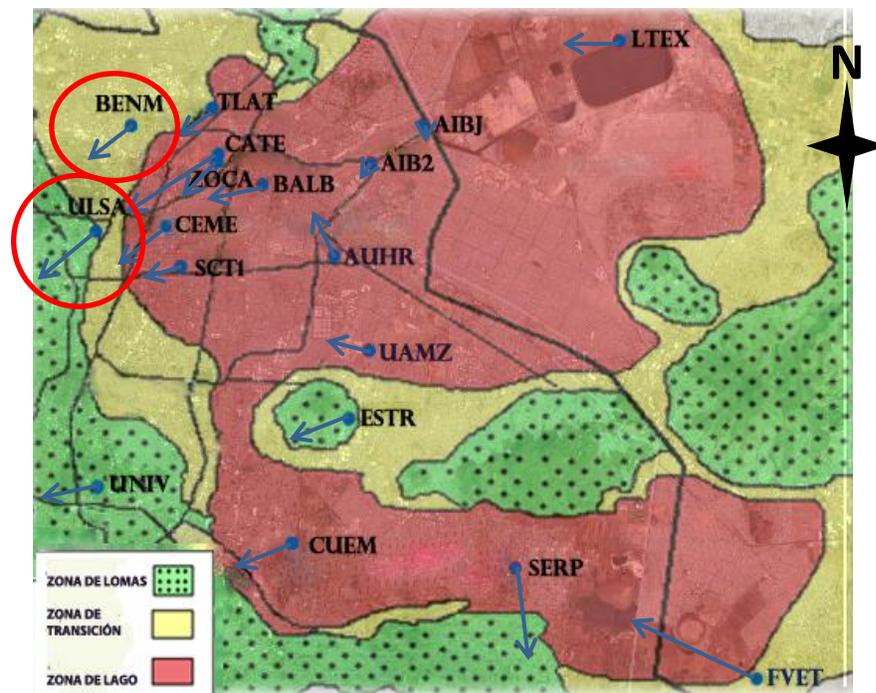


Fig. 7.7. Se muestran los vectores de desplazamiento (Flechas azules) de las estaciones ULSA y BENM circuladas en rojo de la Zona de Transición.

En estos puntos la velocidad de hundimiento coincide con la zona, ya que no es muy grande comparada con los demás puntos, en la estación Benemérita Escuela Nacional de Maestros (BENM) es de 16.64 mm/año y en la estación Pozo Benjamín Franklin (ULSA) es de 38.37 mm/año, sin embargo se esperaba que el vector de desplazamiento horizontal fuese más grande y que se dirigiera hacia la zona de mayor hundimiento; sin embargo, nos damos cuenta que tampoco cumplen con ese comportamiento.



Dentro de la Zona de Transición del Lago de Xochimilco se localiza la estación Rancho San Francisco de la Facultad de Veterinaria (FVET) que se encuentra ubicada a un costado de la carretera Chalco-Mixquic.

La estación Rancho San Francisco (Fig.7.8) de la Facultad de Veterinaria (FVET) se localiza en la Zona de Transición pero muy cercana a la Zona de Lago, su desplazamiento horizontal es de 24.64 mm/año en la dirección noroeste y la velocidad de hundimiento es de 111.59 mm/año. La zona de la Cuenca de Chalco actualmente es uno de los lugares más estudiados por diferentes autores por lo que existe bastante información y muy detallada del área. La secuencia estratigráfica en este lugar es de un estrato de color pardo oscuro y rojizo, con lentes arenosos hasta los 3 metros de profundidad, de 3 a 6 metros existe un estrato de color negro donde se observan varios lentes de ceniza-arena con una capa gruesa de material piroclástico a los 4 metros, de los 6 a 9 metros de profundidad se encuentra un estrato de color pardo oscuro con capas delgadas de color pardo amarillento y zonas enriquecidas de materia orgánica, de los 9 a los 15 metros se localiza un estrato de color gris oliva con algunos horizontes de materia orgánica o de arena (Caballero y Ortega, 1998).

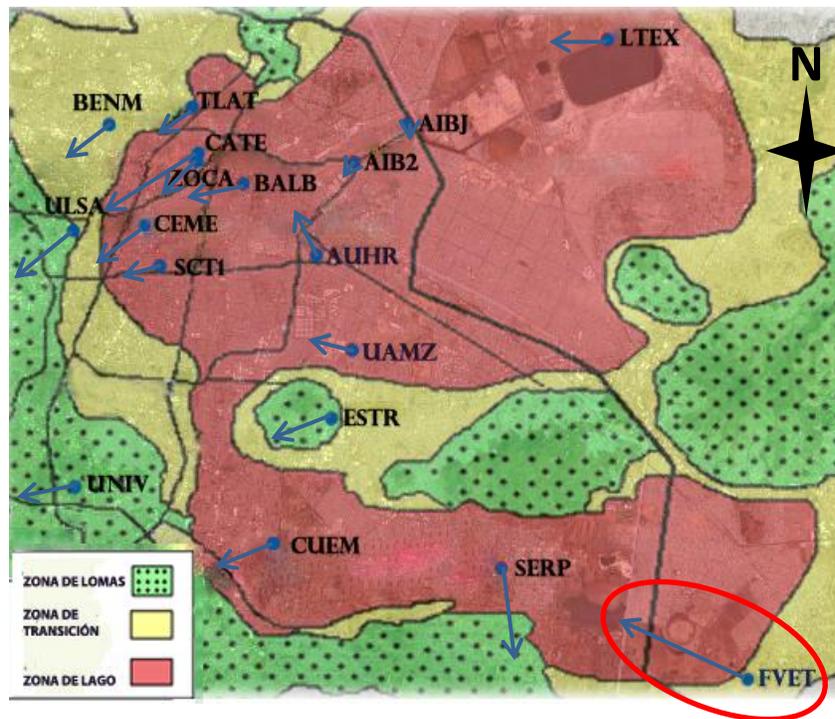


Fig. 7.8. Se muestra el vector de desplazamiento de la estación FVET circulado en rojo de la Zona de Transición.

Los factores geológicos que afectan a esta zona ocasionan que el desplazamiento horizontal y el hundimiento en la estación sean diferentes a los de las demás estaciones. Los sistemas de fallas existentes en el área condicionan el comportamiento del punto, ya que en esta zona se localizan fallas en diferentes direcciones de las cuales se hablará a detalle más adelante.

Zona de Lago: En esta área se encuentran 11 estaciones, en las cuales se tiene una velocidad de desplazamiento horizontal de 0.5 mm/año a 17 mm/año. En el Aeropuerto Internacional Benito Juárez se localizan dos estaciones de monitoreo (Fig. 7.9). El desplazamiento horizontal en estos puntos es mínimo en comparación con el de la estación AUHR con un desplazamiento de 8.4 mm/año. El resultado en AUHR, hay que tomarlo con mucha reserva, ya que esta estación solamente se midió en 2 ocasiones por lo que la calidad de los datos no es de lo mejor. La estación Aeropuerto Internacional Benito Juárez (AIBJ) tiene un desplazamiento de 0.63 mm/año y la estación 2 del Aeropuerto Benito Juárez (AIB2) tan solo 0.51 mm/año, además AIBJ tiene una dirección al sur, distinta a la que tienen la mayor parte de las estaciones.

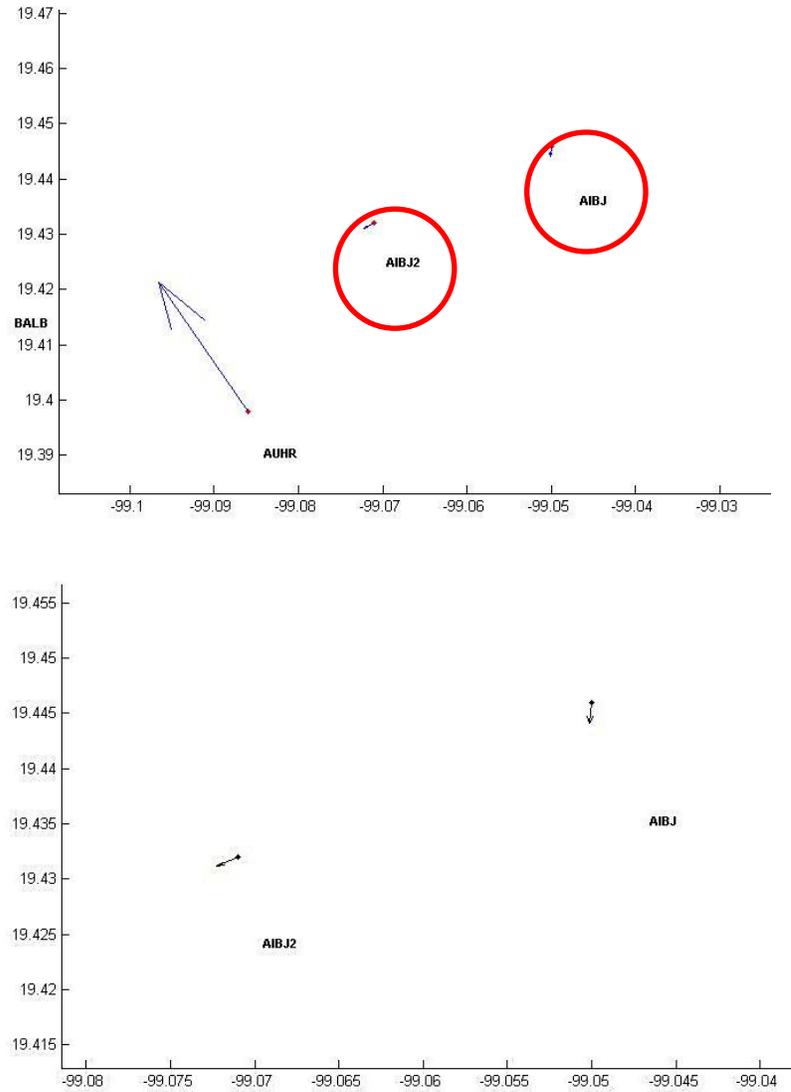


Fig. 7.9. Comparación de magnitudes de desplazamiento horizontal de las estaciones del Aeropuerto Internacional de México (AIBJ y AIB2).

En esta zona existen factores que provocan que el desplazamiento horizontal sea muy pequeño, es la zona en la que se tiene mayor hundimiento con -287.56 mm/año en AIBJ y con -265.53 mm/año en AIB2. Su desplazamiento horizontal es mínimo, las características geológicas del lugar son importantes ya que se tiene una capa de 38 metros de sedimentos



arcillosos de alta compresibilidad, este sitio prácticamente era el centro del Lago de Texcoco. Además su dirección indica que efectivamente se desplazan hacia la zona de mayor hundimiento en la Cuenca de México.

Las estaciones Balbuena (BALB), Autódromo Hermanos Rodríguez (AUHR) y Lago de Texcoco (LTEX) son las tres estaciones más cercanas a las del aeropuerto (Fig. 7.10). En Balbuena (BALB) el desplazamiento horizontal es de 10.45 mm/año en dirección suroeste, en Autódromo Hermanos Rodríguez (AUHR) de 8.41 mm/año en dirección noroeste y en Lago de Texcoco (LTEX) de 10.34 mm/año casi horizontal en dirección oeste. El hundimiento en estos sitios es de -156.25 mm/año, -131.25 mm/año y -196.15 mm/año respectivamente. La geología en estos lugares se conforma principalmente de sedimentos lacustres arcillosos saturados de alta compresibilidad, intercalados con algunos horizontes limo-arenosos con muy pocos metros de espesor. Nótese que la estación AUHR tiene una dirección completamente distinta a las anteriormente descritas, esto puede deberse a que se hicieron muy pocas mediciones y por lo tanto este punto no es muy confiable, por otro lado puede tener la dirección correcta y por lo tanto indicar que está en una zona diferente, pero serían necesarias más mediciones para poder corroborarlo.

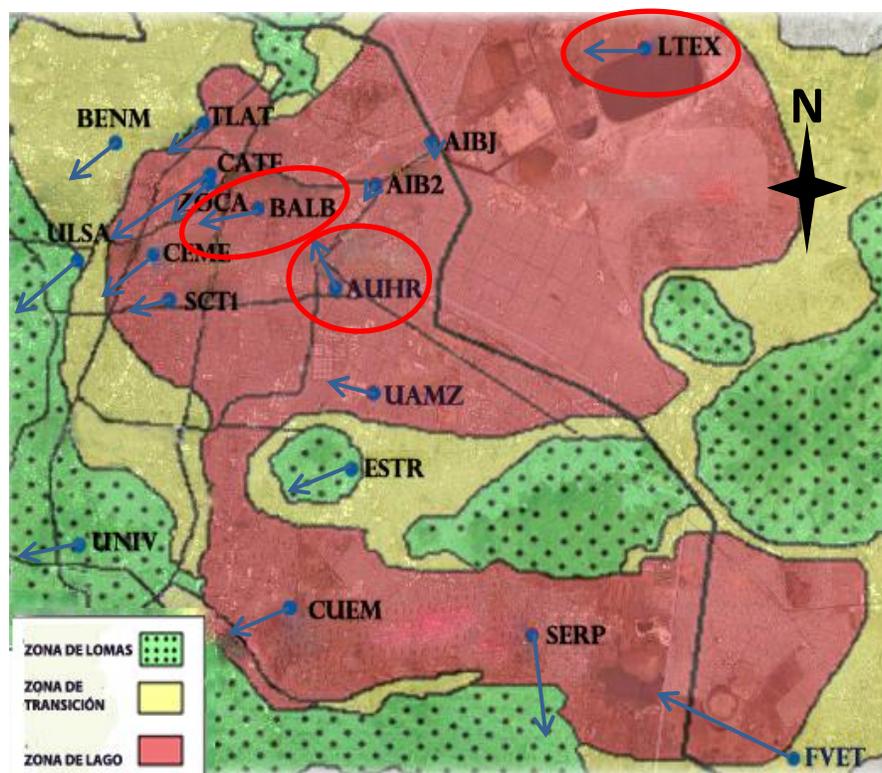


Fig. 7.10. Desplazamiento horizontal de las estaciones Balbuena (BALB), Autódromo Hermanos Rodríguez (AUHR) y Lago de Texcoco (LTEX).

En las estaciones Zócalo (ZOCA) (Fig. 7.11) ubicada en la Plaza de la Constitución en el Centro Histórico, a un costado de la calle 16 de septiembre, el desplazamiento horizontal es de 8.31 mm/año en dirección suroeste y Catedral Metropolitana de la Ciudad de México (CATE) se encuentra ubicada frente en el atrio de la Catedral, el desplazamiento horizontal es de 17.1 mm/año en dirección suroeste. Con respecto a la estratigrafía de la zona, en los primeros 5 metros de espesor se encuentra la costra superficial compuesta de materiales de rellenos, gravas, arena y tierra, después hasta los 10 metros hay una capa limo-arcillosa con materia orgánica, de 10 a 33 metros existe arcilla de alta plasticidad de compresibilidad media a alta con intercalaciones de estratos pequeños de limo-arenoso, de 33 a 37 metros se encuentra la capa dura (SMMS, 2008).

Las estaciones del Centro Histórico generaron datos con direcciones muy parecidas pero las magnitudes son muy diferentes a pesar de estar a tan solo unos metros de distancia. Esto puede deberse a que en la estación (CATE) se realizaron muy pocas mediciones, lo que sugiere que los resultados de la escasez de datos son poco confiables. En la estación



(ZOCA) el hundimiento registrado es de -115.39 mm/año y en la estación (CATE) el hundimiento es de -105 mm/año, esto es un claro ejemplo de hundimiento diferencial.

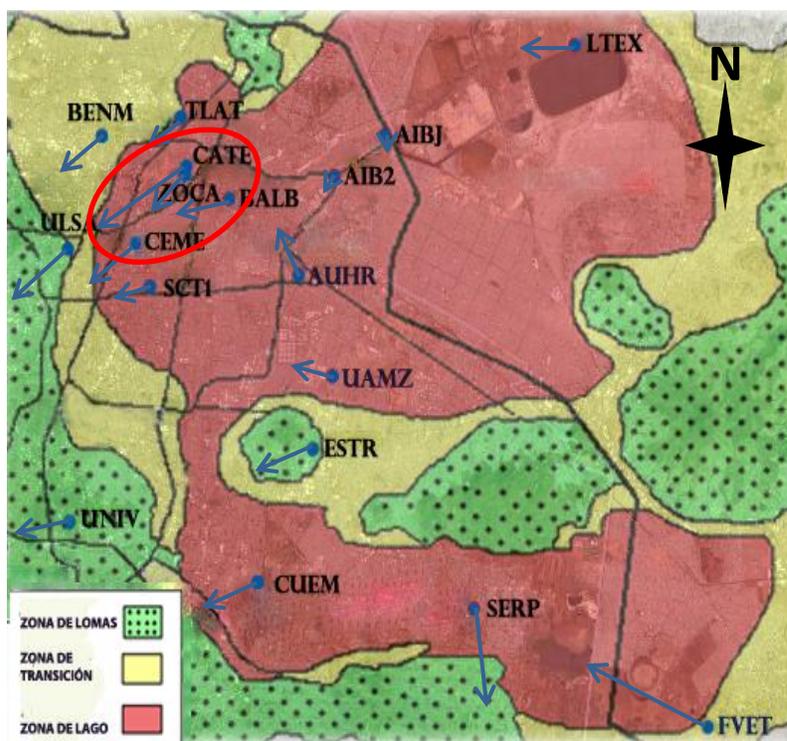


Fig. 7.11. Se muestran los vectores de desplazamiento (Flechas azules) de las estaciones ZOCA y CATE en la zona de Lago circuladas en color rojo.

Las estaciones Tlatelolco (TLAT) ubicada en la plaza de las tres culturas, Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT1), Centro Medico (CEME) en la Colonia Doctores y la UAM Iztapalapa (UAMZ), tienen un desplazamiento horizontal de 7.66 mm/año, 6.12 mm/año, 11.26 mm/año, 8.29 mm/año respectivamente; además, todas en dirección suroeste (Fig. 7.12). Estas estaciones tienen en común que se encuentran muy cerca de la zona de transición. Por lo tanto la estratigrafía de la zona consta de sedimentos arcillosos lacustres de alta compresibilidad intercalados con horizontes limo-arenosos y la capa dura se encuentra a unos 22 a 30 metros de profundidad.

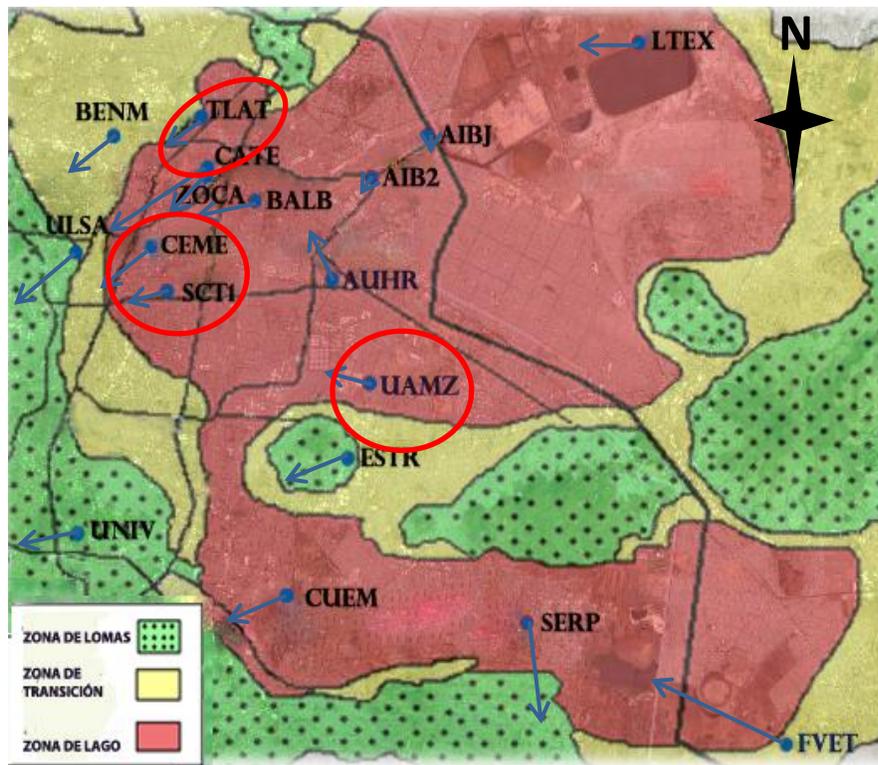


Fig. 7.12. Se muestran los vectores de desplazamiento (Flechas azules) de las estaciones TLAT, SCT1, CEME Y UAMZ circuladas en rojo.

El desplazamiento horizontal de esta zona es muy parecido a las demás zonas estudiadas. Los datos nos indican que el movimiento de esta área es hacia el suroeste y su velocidad varía entre 6 y 11 mm/año, lo que nos hace pensar que los datos obtenidos no están reflejando un comportamiento local, sino un comportamiento regional en el cual la Cuenca de México se desplaza lateralmente hacia el suroeste.

En la región del Lago de Xochimilco se encuentran las estaciones, Cuemanco (CUEM) ubicada en la delegación Xochimilco y Riachuelo Serpentino (SERP) en la delegación Tláhuac (Fig. 7.13).

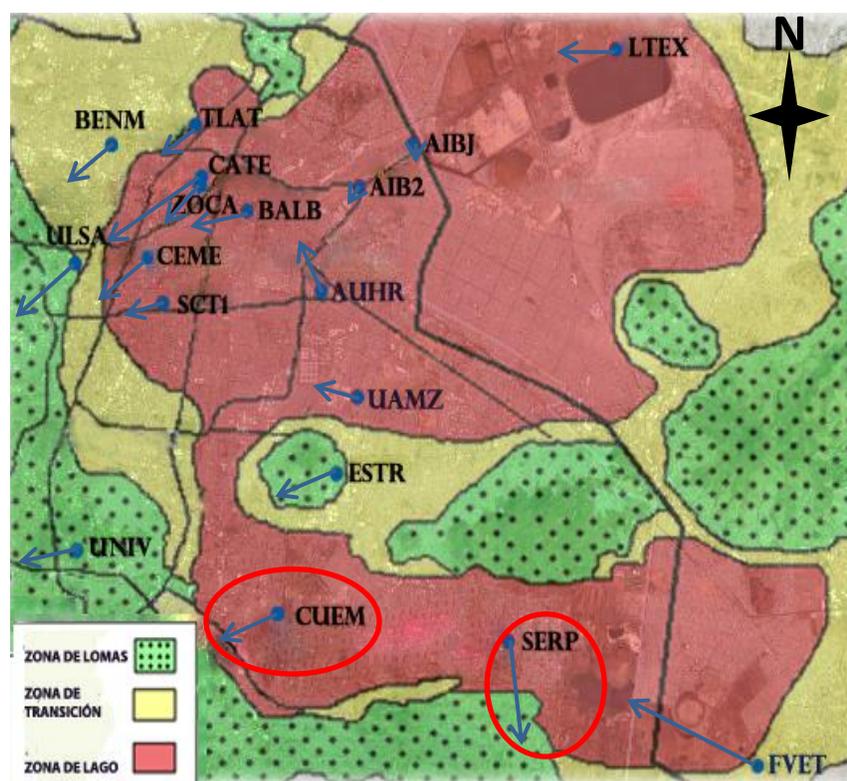


Fig. 7.13. Se muestran los vectores de desplazamiento (Flechas azules) de las estaciones CUEM y SERP circuladas en rojo.

En la estación Cuemanco (CUEM) el desplazamiento horizontal es de 10.44 mm/año en dirección suroeste. La estratigrafía de la zona está formada por 2 metros de arena-limosa, de 2 a 5 metros de limos con arena fina de consistencia dura; de los 5 a los 12 metros existen horizontes limo-arcillosos de compresibilidad media con intercalaciones de arena arcillosa (Carreón, 2006). En este punto el hundimiento es de 95.75 mm/año, lo que concuerda con la geología de la zona, ya que básicamente se compone de arcillas con algunas intercalaciones de capas de cenizas, diatomita y lapilli, por eso se esperaría que el desplazamiento horizontal sucediera en una dirección diferente, hacia el centro del lago de Xochimilco, sin embargo nos damos cuenta que es muy parecido al de las demás estaciones, hacia el suroeste a pesar de que se encuentra en diferente zona.

En la estación Riachuelo Serpentino (SERP) el desplazamiento horizontal es de 15.76 mm/año en dirección hacia el sur, la secuencia estratigráfica de la zona está formada por 15



metros de arcillas con poca arena, de los 15 a 17 metros una capa de arena-limosa no muy compacta y poco consolidada, de 17 a 38 metros se encuentra una capa limo-arenoso, de 38 a 55 metros una capa de arcilla-limosa (Carreón, 2006) En este punto existe una velocidad de hundimiento muy grande de 154.52 mm/año, lo que coincide con la geología de la zona, ya que prácticamente se encuentra entre el la región del lago de Xochimilco y la Cuenca de Chalco; sin embargo, el desplazamiento horizontal es muy diferente al de los demás puntos, porque en este la dirección es hacia el sur y la magnitud es muy grande, lo que nos indica que existen otros factores que están afectando el comportamiento tectónico de la zona.

Los principales factores que pueden afectar a la estación Riachuelo Serpentino (SERP) son por ejemplo las construcciones civiles cercanas al punto, además de que existe un gran número de pozos de extracción de agua muy cercanos al lugar y las fallas existentes en la zona.

7.3 Análisis de la Relación Tectónica Regional con las Mediciones de Desplazamiento Horizontal con GPS

La importancia de las mediciones de desplazamiento horizontal realizadas en la CM radica principalmente en poder encontrar una relación entre los desplazamientos observados con GPS y las características estructurales de la geología de la Cuenca.

El estudio de las principales características de la estructura geológica de la CM ha sido de vital importancia y es por ello que diversos autores han contribuido en realizar distintos estudios, algunos relacionados con las zonas sísmicas en la Cuenca.

El trabajo realizado por de Cserna y colaboradores (1988) describe un sistema de fallas en dirección NE-SW (Fig. 7.14), sin embargo, sabemos que no es el único. En la figura se puede observar la presencia de una zona de cizallamiento en donde el bosquejo de las fallas y fracturas que se observan como líneas tienen una orientación predominantemente NE-SW que indican un desplazamiento lateral y otras con una orientación totalmente distinta que corresponde a un mecanismo de tensión.

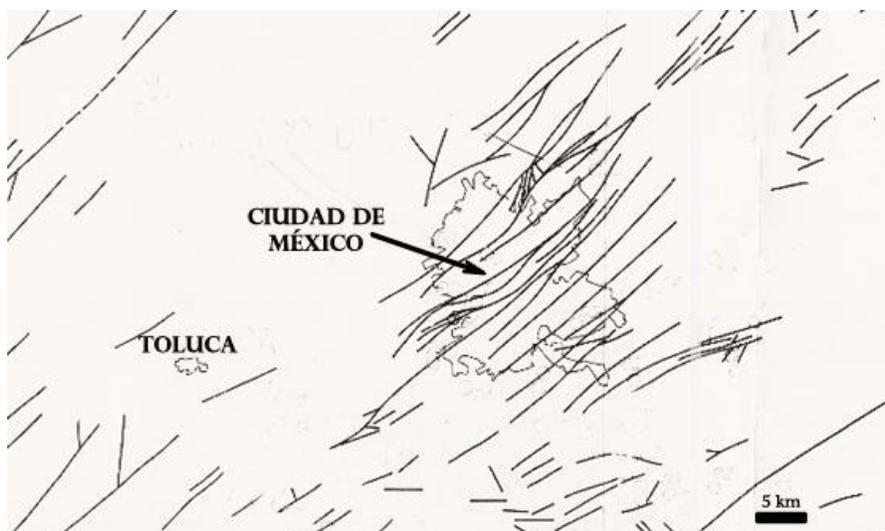


Fig. 7.14. Mapa que muestra los lineamientos principales en la Cuenca de México (Modificada de de Cserna y colaboradores, 1988).

De acuerdo con Chavacán, (2007), existen tres sistemas de falla, uno correspondiente a lo descrito anteriormente por de Cserna y colaboradores, (1988) en dirección al NE-SW, otro al SE-NW y en dirección E-W (Fig. 7.15).

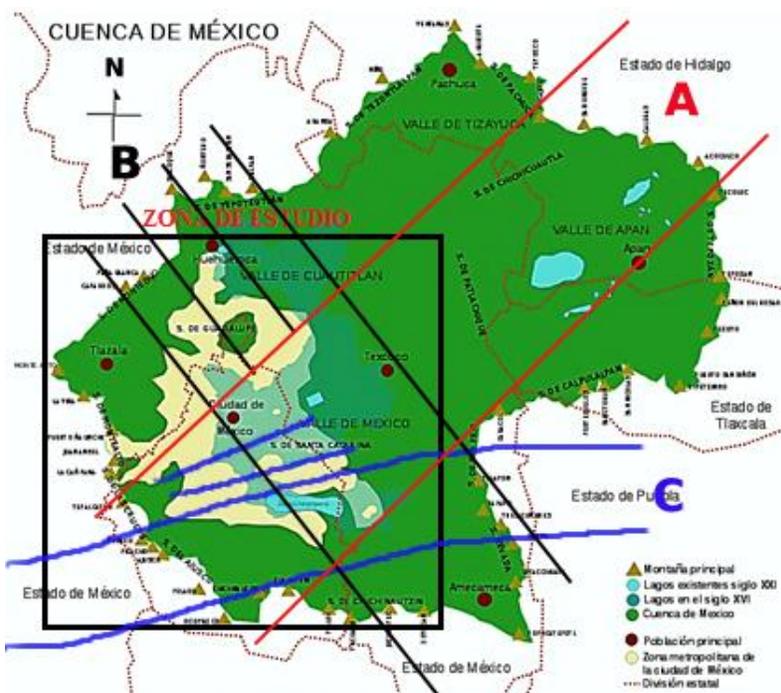


Fig. 7.15. Direcciones de los principales sistemas de fallas en la CM. A: esencialmente en dirección al NE-SW; B: en dirección al SE-NW y C: en dirección al E-W (Modificada de Chavacán, 2007).



Además dicho autor a partir de mecanismos focales obtiene un mapa (Fig. 7.16) en el que describe estos mecanismos y las fallas asociadas dentro de la CM y que podrían estar relacionadas con los vectores de desplazamiento obtenidos con GPS.

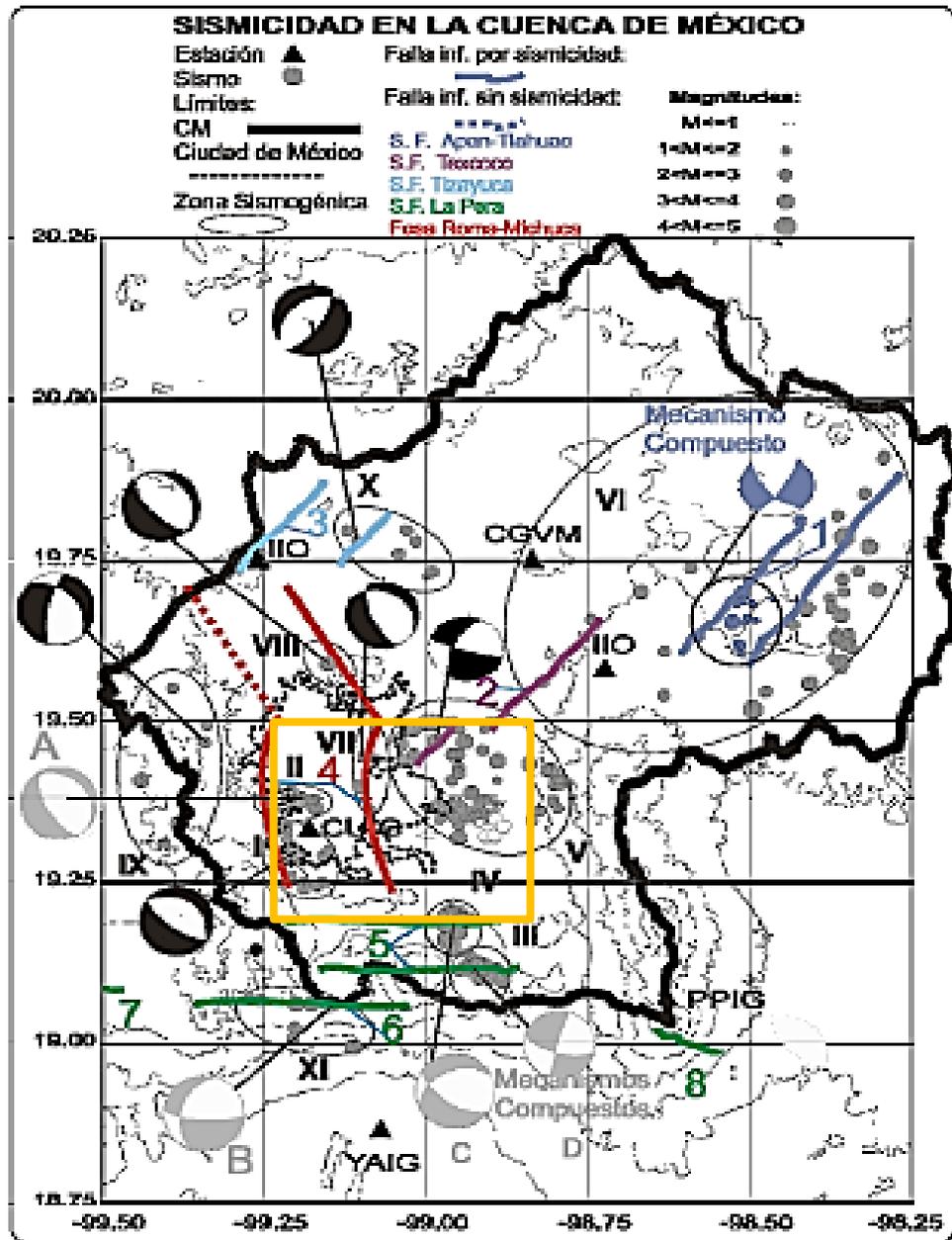


Fig. 7.16. Mecanismos focales y fallas asociadas (líneas en color rojo, verde y azul) en la CM y área en la que se localizan las estaciones GPS (recuadro amarillo) (Modificada de Chavacán, 2007).



La sismicidad en la CM está regida principalmente por los tres sistemas mencionados con anterioridad. En este trabajo se trata de en dar una probable explicación a los desplazamientos horizontales obtenidos con GPS y que de acuerdo con las fallas localizadas e inferidas podrían estar representando el movimiento de bloques que se desplazan hacia distintas direcciones.

Debido a que las estaciones GPS no cubren la totalidad de área de la CM, solo se propone una posible explicación a la gran diferencia que existe entre los vectores de estaciones que están relativamente cercanas (Fig. 7.17).

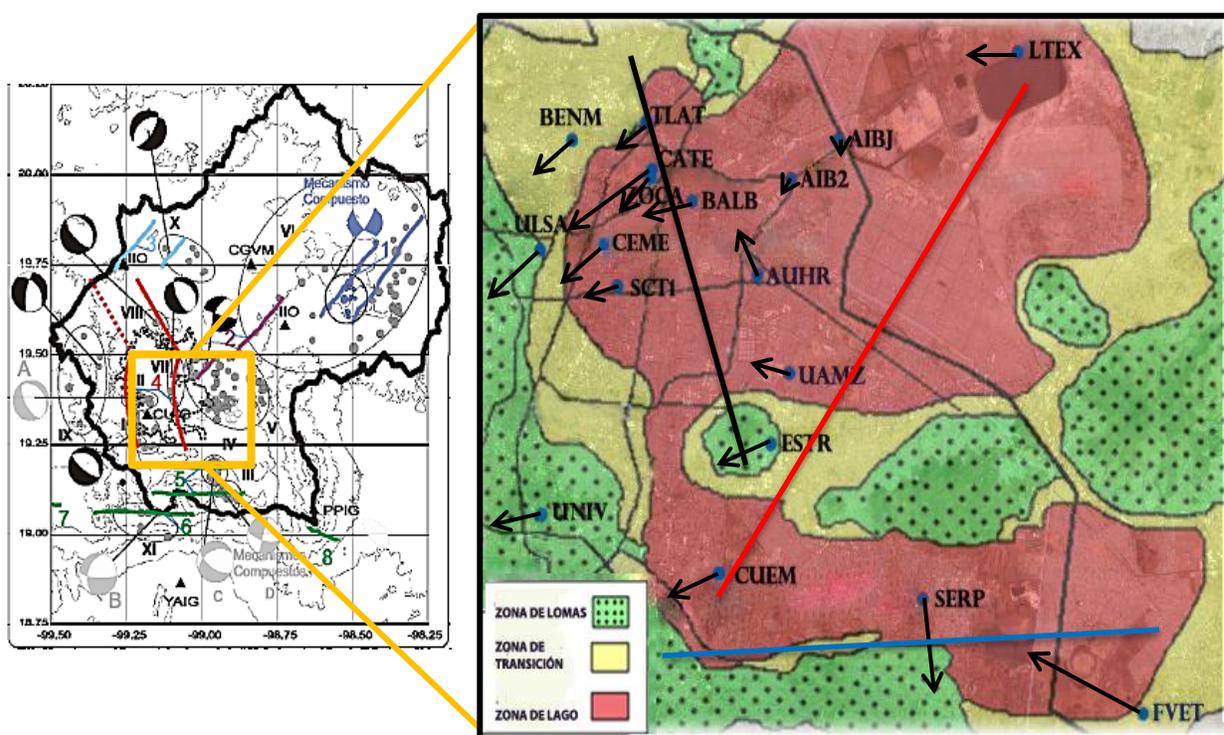


Fig. 7.17. Mecanismos focales y los principales sistemas de sistemas de fallas A, B Y C (Líneas roja, negra y azul respectivamente) que influyen en los resultados de las estaciones GPS (Modificada de Chavacán, 2007).

Los vectores que llaman la atención a simple vista son los de las estaciones FVET y SERP debido a que a pesar de estar tan cercanas una de la otra, son completamente diferentes, al comparar con el mapa de obtenido por Chavacán, (2007) y tratar de encontrar una relación entre las fallas que él infiere, podemos proponer la existencia de una falla probablemente activa que atraviesa entre estas dos estaciones, como ilustra la línea en color azul, y que corresponde también con fallas inferidas por otros autores. Lo mismo puede estar



ocurriendo con las otras estaciones, por ejemplo el sistema de fallas A (línea roja) podría estar influyendo en los resultados que se obtuvieron con las estaciones CUEM, ESTR, UAMZ Y UNIV, mismas que describen un comportamiento muy parecido y que están relativamente cerca.

El sistema B (Línea negra) de la figura 7.17 puede describir una falla en la que el movimiento de dos bloques, uno con dirección preferentemente al suroeste y correspondiente con la gran mayoría de las estaciones que se encuentran al NW de la CM, y otro bloque que se podría decir que tiene cierta rotación al norte y que es que describe el vector obtenido con las mediciones de la estación AUHR. Cabe hacer notar que en este caso, no se puede asegurar con certeza, pues como ya se ha mencionado con anterioridad, algunas estaciones tienen mayor incertidumbre, y este es el caso de AUHR. Este es un sitio donde se recomienda realizar más mediciones para poder verificar su comportamiento.

Información cartografiada con anterioridad ha permitido identificar varias estructuras aledañas a la CM que influyen directamente en su comportamiento debido al proceso de subducción a lo largo de la costa meridional de México y los eventos de sismicidad que en ella influyen. La CM está sometida a una acumulación de esfuerzos a lo largo de la zona de cizallamiento y que es mayor en la región frontal de la subducción. Dichos rasgos se pueden observar en la figura 7.18, que indican las direcciones de estos esfuerzos.

La energía de los esfuerzos acumulados a lo largo de la zona de cizallamiento se liberan en forma de sismos locales y someros que han permitido identificar varias de las trazas de fallas que están cartografiadas en el mapa, algunas otras han sido identificadas a partir de anomalías obtenidas por métodos gravimétricos y otras por medio de datos geológicos anteriormente publicados (Huesca Pérez, 2008).

Las fallas originadas por un desplazamiento lateral han sido inferidas a partir de datos estratigráficos y estructurales, se extienden desde la vertiente oriental de la Sierra de las Cruces hasta la región costera de Guerrero (de Cserna y colaboradores, 1988) y revelan que se dirigen hacia la zona urbana. Los rasgos volcánicos de la CM han sido resultado de fracturas de extensión que se orientan generalmente al NE-SW ya que el cizallamiento, provocó el ascenso de material magmático.



Haciendo un análisis de los resultados obtenidos con las mediciones de GPS se realizó la siguiente figura que muestra los mecanismos de desplazamiento de los vectores, las principales fallas y fracturas cartografiadas e inferidas por de Cserna y colaboradores (1988), como resultado de la deformación de la Placa de Norteamérica que está cabalgando sobre la Placa de Cocos tal y como se describe en la sección 6.3.

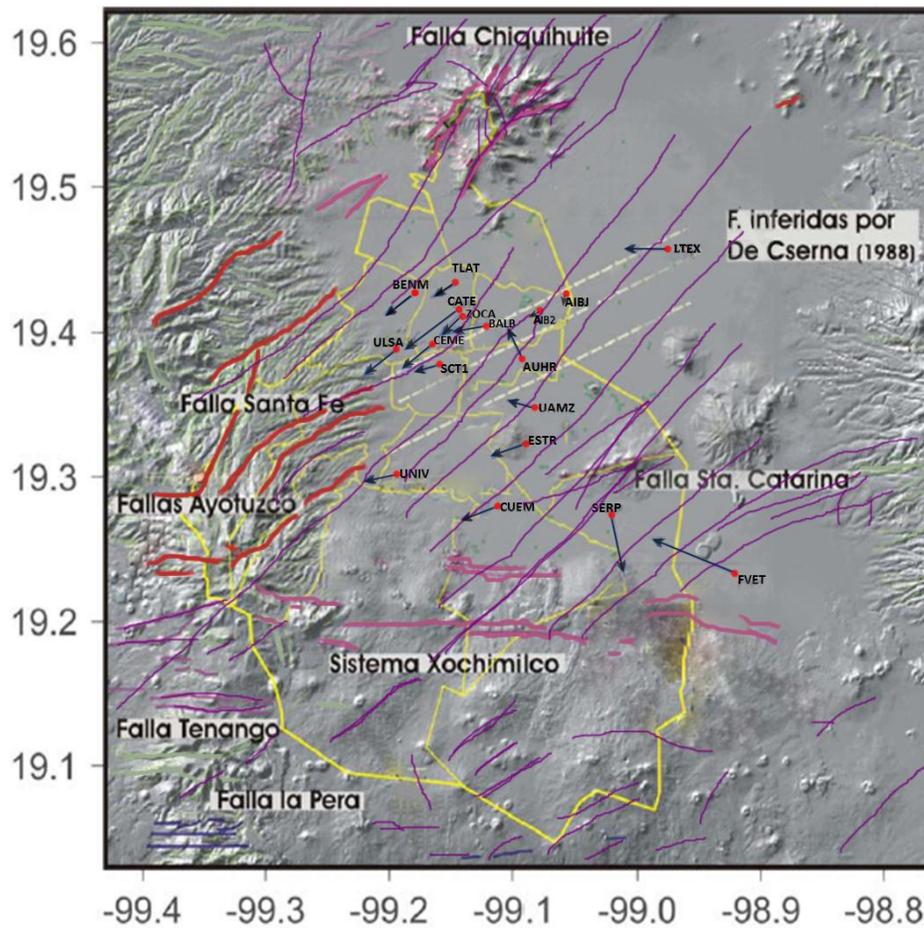


Fig. 7.18. Mapa que muestra la relación entre desplazamientos horizontales medidos con las estaciones GPS, fallas inferidas por de Cserna y colaboradores (1988) (líneas moradas), y por otros autores (Modificada de Huesca Pérez, 2008).