



Published on behalf of the Latin American Association of Paleomagnetism and Geomagnetism by the Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

El Observatorio Magnético de Teoloyucan, México: más de 100 años de Historia de Datos

J. Esteban Hernández- Quintero, Avto Gogichaishvli, Gerardo Cifuentes-Nava

22 pages, 15 figures

Latinmag Letters can be viewed and copied free of charge at:
<http://www.geofisica.unam.mx/LatinmagLetters/>

Papers contents can be reproduced meanwhile the source is cited



El Observatorio Magnético de Teoloyucan, México: más de 100 años de Historia de Datos

J. Esteban Hernández-Quintero^{1*}, Avto Gogichaishvili², Gerardo Cifuentes-Nava¹

¹Servicio Magnético. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

²Servicio Arqueomagnético Nacional. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

* *corresponding author e-mail:* estebanh@geofisica.unam.mx

Recibida: 12 mayo 2018; Aceptada: 10 de julio de 2018; Publicada: agosto 2018

Abstract. The Teoloyucan Magnetic Observatory (IAGA code TEO) is located north of Mexico City. The history of its geographical location is considered of great interest being the country's only magnetic observatory for the last 103 years producing a very important dataset of magnetic elements. The current state of operation has remained uncertain for the past eight years due to the increase in high frequency noise and its harmonics near its facilities. Currently available data are valid for the study of diurnal variation, and the trend of secular variation through the international Intermagnet network. Nowadays, many institutions and individuals use the observatory data in real time such as some mining and oil exploration companies while more recent applications are related to the so-called Space Weather.

The objective of this work is to describe in an introductory way the history and background of this observatory, as well as to present a qualitative description of the way in which the data have been reported and its evolution through time. A special emphasis is paid to the importance of its geographical position covering a very large area with a single magnetic observatory providing reliable record for more than one hundred years.

Keywords: *Geomagnetic Observatory, Mexico, Magnetic Record*

Resumen. El Observatorio Magnético de Teoloyucán (código IAGA TEO) se localiza al norte de la Ciudad de México. La historia de su ubicación geográfica ha sido de gran interés para México debido a que es el único observatorio magnético en el país durante los últimos 103 años y ofrece una base de datos muy importante para ser analizada. El estado actual de operación ha permanecido incierto durante los últimos ocho años debido al incremento del ruido de alta frecuencia y sus correspondientes armónicos cerca de sus instalaciones. Actualmente sus datos son válidos para el estudio de la variación diurna, y de la tendencia de variación secular en la red internacional Intermagnet. Varios tipos de usuarios hacen uso de sus datos en tiempo real, tales como algunas compañías mineras y de exploración petrolera, así como para aplicaciones más recientes relacionadas con el denominado Clima Espacial; adicionalmente, a aquellos usuarios tradicionales en el ámbito académico.

El objetivo de este trabajo es describir de manera introductoria la historia de los antecedentes de este observatorio, así como una descripción cualitativa de la forma como se han reportado los datos, y su evolución en el futuro próximo. Se enfatiza la importancia de su posición geográfica en un área muy grande en donde es el único observatorio que proporciona información desde hace más de cien años.

Palabras Claves: *Observatorio Geomagnetico, Mexico, Registro Magnetico*

1. Introducción a la Ciencia del Geomagnetismo

Más de mil años antes de la era cristiana, los chinos sabían ya la propiedad inherente al imán de marcar el sur y el norte, y para dirigirse a través de las estepas inmensas de la Tartaria hacían uso de brújulas acuáticas, formadas de una aguja imantada que flotando libremente en el agua, hacía mover el



brazo de una figura miniatura que señalaba el Sur. Este instrumento estratégico, que en los comienzos de su descubrimiento sólo se usaba en los viajes por tierra, fue convirtiéndose en un importante auxiliar para la navegación; y así se sabe que, bajo la dinastía de los Tsin y en el siglo IV de la era presente, los barcos chinos, guiados por la brújula, visitaron los puertos indios y las costas orientales del África. Para ver incorporado el uso de la aguja imantada en los mares europeos, era preciso que se generalizara en todo el Océano Indico, sobre las costas de Persia y de Arabia, lo que no tuvo efecto sino hasta entrado el siglo XII.

Las fuentes históricas no han puesto de manifiesto de una manera certera, si la importación de la brújula fue debida a la influencia directa de los árabes, o de los cruzados, que desde el año de 1096 entraron en comercio con Egipto y el Oriente propiamente dicho; pero sí se sabe que los que más eficazmente contribuyeron al uso del nuevo instrumento, fueron los pilotos moriscos, los genoveses, los venecianos, los mallorquines y los catalanes.

Para aquella época, las brújulas primitivas flotantes presentaban una movilidad excesiva, y por lo tanto no eran útiles para medir con exactitud su dirección, se reemplazaron entonces por agujas que, moviéndose con libertad en el aire, estaban suspendidas de un hilo de seda de algodón muy delgado, según el procedimiento llamado hoy suspensión a la Coulomb y que Gilbert puso por primera vez en uso en la Europa occidental. Con este aparato comenzó a medirse la "variación" o declinación magnética en varios lugares de la tierra firme así como en los mares, y gracias a los viajes de descubrimientos que se realizaron en los siglos posteriores, se enriqueció la ciencia con nuevos e importantes elementos para el desarrollo del magnetismo terrestre, tanto desde el punto de vista práctico, así como las primeras especulaciones teóricas.

En su célebre viaje, Cristóbal Colon planteó a la cartografía magnética, un adelanto muy importante: el 13 de septiembre de 1492 reportó una línea sin declinación magnética, situada dos grados y medio al este de la Isla Corvo, en el archipiélago de las Azores. Al navegar por la parte occidental del Océano Atlántico notó que la variación en declinación pasaba sensiblemente del noreste al noroeste lo cual le condujo a la idea, que después ocupó tanto a los navegantes. Esto es, encontrar la longitud por medio de las curvas de las variaciones, que suponían todavía paralelas al meridiano.

Las ideas predominantes en aquella época hicieron transformar una línea física de demarcación, en una línea política y así fue cómo, la raya sobre la cual la aguja de marear (brújula) estaba exactamente dirigida hacia la estrella polar, se convirtió en el límite de separación de las posesiones portuguesas y españolas. Fue necesario determinar de una manera precisa, por los métodos astronómicos, su longitud geográfica. Esto se consiguió siguiéndola en ambos hemisferios sobre toda la superficie terrestre, quedando patente su trascendencia en el desarrollo histórico para la navegación y para los instrumentos magnéticos.

Por espacio de mucho tiempo, la atención de los observadores estuvo exclusivamente en el estudio de la declinación, es decir, de la distancia angular de la aguja horizontal al polo norte geográfico. Pero en el siglo XVI comenzó a medirse otro elemento de la fuerza magnética, la inclinación. En 1576, Robert Normann determinó en Londres esta propiedad de la aguja imantada, por medio de un declinatorio inventado por él mismo y con una gran precisión (Humboldt, 1867).



Dos siglos más tarde se hacían los primeros ensayos para estimar el tercer elemento del magnetismo terrestre: la intensidad (intensidad total) de esta fuerza. De acuerdo con Humboldt, se debe a la agudeza de ingenio de Jean-Charles de Borda, la idea de estudiar las diferencias de la intensidad magnética en diversos lugares de la superficie terrestre, medidas por la duración de las oscilaciones de una aguja colocada verticalmente en el meridiano magnético. Las conjeturas de Borda coincidieron a su vez con las observaciones que Robert de Lamanon recogió en su viaje alrededor del mundo en 1785. De esta forma comenzó a entreverse, aunque de una manera incompleta, la ley de la intensidad, variable con la latitud magnética. Ley que Humboldt sustentó con sus propias observaciones realizadas, entre 1798 y 1804, en Francia, España, Islas Canarias, en América tropical (México), el Océano Atlántico y en el Mar del Sur.

En la primera mitad del siglo XIX, el estudio del magnetismo recibió un gran impulso; debido al progreso casi simultáneo para todas las ramas de la teoría del magnetismo, el estudio de la declinación, la inclinación y la intensidad. Así mismo fueron impulsados los nuevos fundamentos sobre el magnetismo terrestre y su distribución geográfica, y lo más importante la teoría del campo geomagnético desarrollada y publicada por K.L.F. Gauss, desarrollada por medio de un riguroso razonamiento matemático (Gauss, 1839).

La gran influencia de los resultados de Humboldt, y sus buenas relaciones con los gobiernos de Europa, fueron elementos que Gauss puso siempre al servicio de la ciencia, y de sus iniciativas con la Academia Imperial de San Petersburgo y la Real Sociedad de Londres, al proponer el establecimiento de una red de observatorios magnéticos en las vastas posesiones de los imperios ruso y británico.

Bajo la dirección del profesor Kupffer se fundaron en Rusia un gran número de estaciones magnéticas, y desde 1832 se realizaron observaciones simultáneas entre el Mar Blanco y la Crimea, entre el golfo de Finlandia y las costas de la América Rusa, la actual Alaska.

En 1839 fueron establecidos varios observatorios magnéticos, en ambos hemisferios, bajo el patrocinio del gobierno británico, poniéndolos bajo la dirección del coronel Sabine, quien en 1818 realizó este tipo de estudios en el viaje de John Ross al Estrecho de Davy, a la Bahía de Baffin y al Estrecho de Lancaster (Henry, 1993).

Las observaciones comenzaron en Toronto en 1840 y el año siguiente en el Cabo de Buena Esperanza. Para continuar después con su publicación, esos trabajos contribuyeron de manera importante para perfeccionar el conocimiento de la distribución geográfica del magnetismo terrestre, poniendo, además, de manifiesto buen número de leyes relativas a las perturbaciones accidentales y a las variaciones periódicas de los elementos magnéticos, señalando también su conexión con otro tipo de fenómenos.

Para entonces, es posible encontrar varios ejemplos puntuales que contribuyeron de manera muy significativa en el estudio del magnetismo terrestre; sobre todo en el perfeccionamiento de los instrumentos y los métodos de observación, Wilhelm Eduard Weber junto con K. F. Gauss en Gotinga; Lamont en Munich, Airy en Greenwich, Quetelet en Bruselas; Loyd en Dublin; Arago en Paris o Secchi en Roma, eran de los más eminentes científicos en aquella época.



En el contexto internacional de la primera mitad del siglo XIX, México se encontraba históricamente en un periodo de formación como nación; pero es en las últimas tres décadas de ese siglo cuando se pueden vislumbrar los primeros esfuerzos por integrarse a la comunidad internacional para el estudio del fenómeno magnético. Humboldt contribuyó con su trabajo en México para estimular el conocimiento en esta área.

2. Antecedentes de la Cartografía Magnética en México y el Conocimiento en el Siglo XIX

Para el último tercio del siglo XIX, el fenómeno magnético en México estaba documentado debido a que esta disciplina era necesaria para la navegación. La variación o declinación magnética era la componente más estudiada; sin embargo, los datos recabados por naves de otros países, contribuyeron a dar un conocimiento burdo de su comportamiento.

En la década de 1889 las líneas isogónicas de 6° y 13° Este, se encontraban enmarcando a la República Mexicana. La primera iba del sur al mar Caribe atravesando el canal de Yucatán, dirigiéndose hacia el norte hasta la costa de los Estados Unidos a la altura de Mobile. La isogónica de 13° se proyectaba desde el Pacífico con rumbo Este en la Península de Baja California al sur (Bahía de Todos Santos), y entraba en el Continente recurvando al norte.

Se reportaba que las isogónicas de 8° y 9° Este, distaban más entre sí que las otras líneas de igual declinación, variando de grado en grado, surcando el territorio mexicano hacia el noroeste de San Blas (Nayarit). Por consiguiente, desde Minatitlán hasta Matamoros, en la costa del Golfo, y desde Salina Cruz hasta San Blas, en el Pacífico; las variaciones de la declinación magnética son cortas por el cambio de posición geográfica después de realizar una sustracción de la influencia de los efectos locales.

En 1950 R. Sandoval reconstruye algunos de estos mapas y le da sentido a las descripciones reportadas en algunas publicaciones de la época (Figura 1).

Se sabía que la declinación magnética experimentaba cambios tanto espaciales como temporales con distintos periodos: variación secular, variaciones anuales, diurnas, estacionales e irregulares de varios tipos de amplitud.

Es importante notar el análisis reportado por Reyes (1884), en donde describe ya de manera detallada la variación diurna del campo geomagnético: *"La amplitud de la variación diurna depende de la latitud magnética del lugar, habiéndose observado que en el hemisferio Norte la aguja alcanza su extrema posición occidental hacia las dos de la tarde, y hacia las ocho de la noche su extrema posición oriental; por consiguiente, en los puntos que tienen una declinación occidental, la máxima tiene lugar hábil las 2 p.m., y hacia las 8 p.m. en los puntos que tienen declinación oriental."*

La tecnología de aquellos años permitía reconocer la variación de la inclinación magnética en la República Mexicana (las isóclinas variaban entre 35° y 60° en 1884).

El tercer elemento del magnetismo terrestre estudiado fue la intensidad de la fuerza total, la cual puede también representarse gráficamente en las cartas por un sistema de líneas isodinámicas. Se sabía que

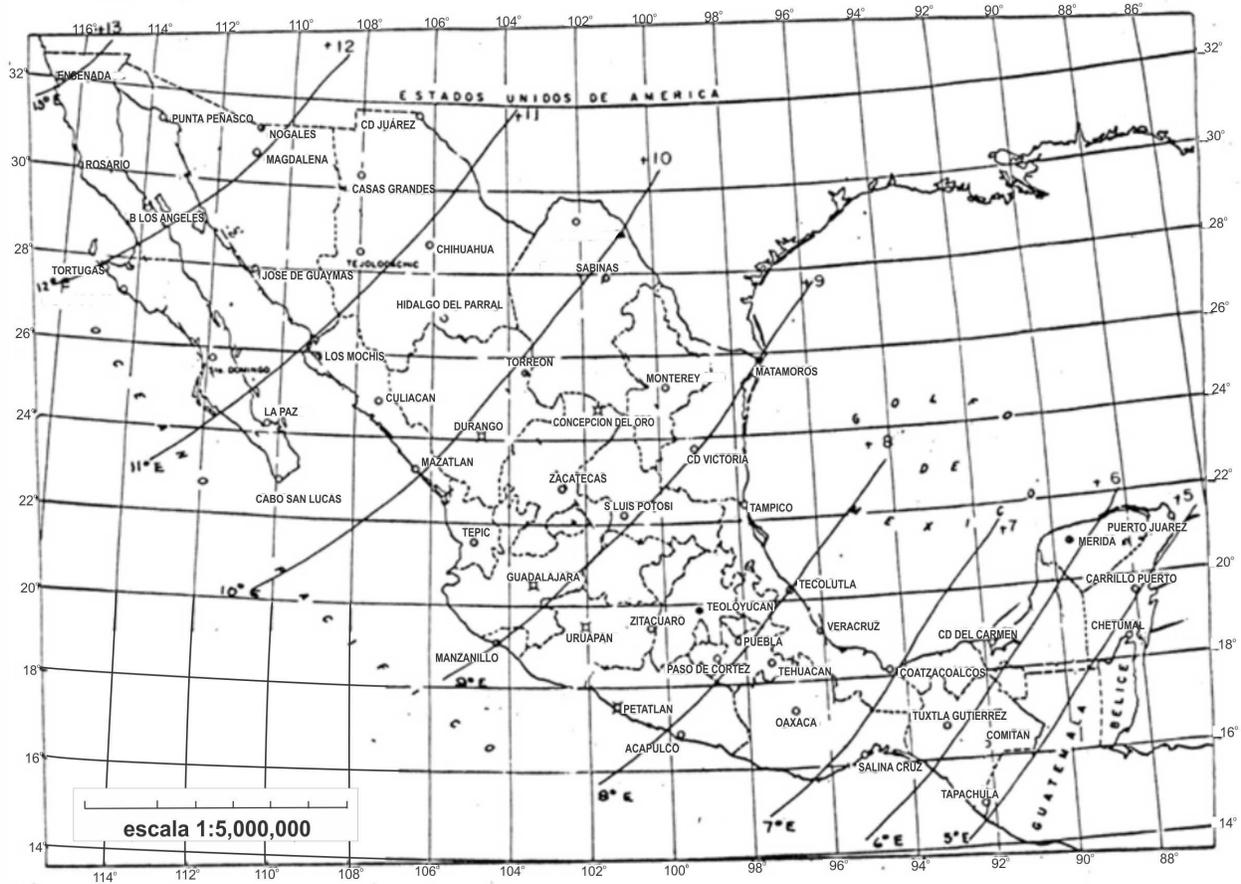


Figura 1. El conocimiento de la variación espacial de la declinación magnética en 1889 construida con los datos de Sandoval (1950) para la República Mexicana (editada a partir del original).

estas líneas difieren notablemente de las líneas isóclinas; la línea de mínima intensidad dista poco, pero se sabía que no llega a confundirse con el ecuador magnético, y además a lo largo de la línea llamada ecuador magnético verdadero, la intensidad total tiene valores variables.

El estudio y la medida de la fuerza magnética, por un método ampliamente conocido y denominado de las oscilaciones de una aguja vertical u horizontal, comenzó a cobrar importancia desde principios del siglo XIX y se aplicó durante gran parte del mismo. Gracias a los recursos perfeccionados de la óptica y de la cronometría, las medidas de la intensidad fueron de una exactitud superior a las otras componentes magnéticas. Las líneas de la misma declinación magnética (isógonas) fueron en verdad, las líneas que más interesaron al navegante y al piloto; pero tratándose de la teoría general del magnetismo terrestre, las líneas de igual intensidad fueron objeto de particular importancia para los físicos.

Es interesante reconocer los avances que existían para las postrimerías del siglo XIX; cuando se examina atentamente la dirección de las líneas isodinámicas se hacía referencia a líneas "más débiles", o a las "líneas interiores", cuya fuerza característica aumentaba gradualmente, según se reconocía ya en cada hemisferio. A distancias desiguales de los polos de rotación y de los polos magnéticos, existían dos puntos o focos de intensidad máxima, uno más intenso y otro más débil. De estos cuatro puntos, el más intenso era el foco americano, situado en el hemisferio Norte, en una posición geográfica de $52^{\circ}19'$ de latitud y $97^{\circ}05'$



longitud oeste de París. El otro punto, más débil, llamado también foco siberiano, se ubicaba a los 70° de latitud Norte; y a los 117° 40' de longitud Este; finalmente el medio de la lemniscata, que liga los dos focos del hemisferio septentrional se hallaba al noreste del Estrecho de Bering, más cerca del foco asiático que del americano.

3. Antecedentes Geomagnéticos en México en los siglos XVIII y XIX

Los estudios magnéticos más antiguos, en la porción del continente americano que ocupa la República Mexicana, se comenzaron a realizar en la ciudad y en el valle de México. Se observa que apenas se medían los elementos magnéticos de tarde en tarde y no siempre de una manera metódica y continuada. En cambio, en las costas es tal vez donde mejor se ha estudiado la declinación magnética, esto es debido a las exploraciones de las oficinas hidrográficas extranjeras. En el valle de México, los primeros trabajos sobre la declinación, dignos de fe, se practicaron en 1775 por D. Joaquín Velázquez de León. El Barón de Humboldt determinó más tarde la declinación de varios lugares de la entonces Nueva España, en su célebre viaje, y posteriormente algunos ingenieros se ocuparon de este género de observaciones; desgraciadamente los resultados obtenidos son poco conocidos, se encuentran dispersos en diversas obras, se midieron en épocas distintas y son insuficientes para trazar con alguna seguridad el curso de las líneas isogónicas sobre la carta de la República para aquella época.

Hablando de las observaciones hechas en el Valle de México, Orozco y Berra (1864, 1867) reporta: *"el Ingeniero Iglesias, que practicó sus observaciones con un tránsito americano, obtuvo en 1862 una declinación hacia el este de 8° 34' 50"*. Datos aislados de declinación magnética como estos se presentan en la Tabla 1 y ejemplos de los reportes originales se muestran en la Figura 2.

Tabla 1. Observaciones reportadas de Declinación Magnética en el Valle de México (Reyes, 1884)

Año	Observador	Declinación al E
1775	Velázquez de León	6° 42' 0"
1804	Barón de Humboldt	8° 08' 0"
1849	Gómez de la Cortina	8° 30' 12"
1857	Dr. Sonntag	8° 46' 05"
1858	Almazán	8° 22' 18"
1860	Salazar Ilarregui	8° 30' 0"
1862	Iglesias	8° 34' 50"

En la obra de Reyes (1884) se encuentran referencias detalladas de las primeras mediciones: *"Las observaciones metódicas emprendidas en el Colegio de Minería, podrían enseñarnos alguna cosa, si los resultados finales hubieran visto la luz pública; a nuestro conocimiento no han llegado más de las relativas al período corrido de 11 de Mayo a fin de Julio de 1857 que, como de luego a luego se comprende, así aislados son datos trancos de los que no deben sacarse conclusión alguna. Resulta de ellos que el 12 de Mayo la declinación era de 8° 50' 15" a las siete de la mañana, aumentada a 8° 56' 55" a las seis de la tarde; la desviación creció el 14 hasta 9° que disminuyó durante el día, y desde las seis de la tarde del 15, que se observaron 9° 20' 55", la aguja se mantuvo avanzando y retrocediendo hasta el 18 de Junio a las doce de la*



mañana, que volvió a señalar $8^{\circ} 55''$. Retorno a 9° , el 25 y se mantuvo así hasta el 5 de Julio, en que dio a las nueve de la mañana $8^{\circ} 31'$ y así permaneció con poco más o menos hasta el fin de aquel mes".

	Temperatura media.	Altura media del barómetro á 0?	Inclinación.	Declinación.
1769 Alzate.....	$17^{\circ}00$ C	" "	" "	" "
1803 Humboldt.....	16 8	585mm 00	$42^{\circ}10'$	$8^{\circ} 8' 00''$ E.
1826 Burkart.....	15 8	585 29	" "	" "
1833 Gerolt.....	19 92	586 24	" "	" "
1842 Plana mayor.....	18 59	584 77	" "	" "
Cortina.....	21 2	585 00	" "	$8^{\circ} 30' 12''$ E.
1858 Jimenez.....	19 43	586 04	" "	" "
Meteorología de K.	16 6	583 13	" "	" "
1866 Cornejo.....	18 29	585 930	$45^{\circ}20'$ á $43 40$	$8^{\circ} 8' 47''$ á $7^{\circ} 56' 27''$

"Las temperaturas mas acordes presentadas por esta tabla son, en primer lugar, las del Sr. Humboldt y Meteorología de Kaemetz, que solo presentan dos décimas de diferencia; en seguida la de la Plana mayor y la mía, con tres décimas de diferencia. Comparadas con la obtenida por mí, la que mas difiere es la del Sr. Conde de la Cortina, cuya diferencia llega a $2^{\circ} 91$. La del Sr. Jimenez, obtenida con el mismo Instrumento de que yo usé, presenta, sin embargo, $1^{\circ} 14$ en mas."

Figura 2. Ejemplo de la obra original Manuel Orozco y Berra 1867, "Memoria para el plano de la Ciudad de México" reporta Inclinación y Declinación Magnética (editada para mayor claridad de lectura a partir de fotografía original)

La descripción es clara y metódica, y demuestra cómo denota variación de la declinación magnética en los primeros esfuerzos por llegar a ser un observatorio magnético, se pueden desprender conclusiones en relación con el carácter de una posible tormenta geomagnética descrita en este párrafo. Es importante reconocer que no es sino hasta mediados de la década de 1950 que se introducen los conceptos relacionados con el comportamiento magnético por interacción entre el Sol y la Tierra.

En esta misma obra el autor (Reyes, 1884), inserta datos que le fueron suministrados por el Sr. Ingeniero Ignacio Cornejo, acerca de las observaciones meteorológicas y magnéticas que practicó en la Escuela de Minas durante el año de 1866, y cuyos resultados ponen de manifiesto que en el año al que se ha hecho referencia, la inclinación de la aguja magnética varió entre $45^{\circ} 20'$ y $43^{\circ} 40'$, oscilando la declinación entre $8^{\circ} 8' 47''$ y $7^{\circ} 56' 27''$.

El Sr. Cornejo se ocupó así mismo de reportar observaciones magnéticas y también, en menor número, de observaciones de datos meteorológicos; tales datos merecieron entera confianza. Contaba para medir la declinación con una brújula de variaciones horarias del sistema de Gambey, construida por Secretan y con un limbo dividido en grados sexagesimales, con aproximación de diez en diez segundos. La aguja queda encerrada en una caja y libre de las agitaciones del aire, suspendida por un sistema de pivote en el centro; es muy sensible a toda variación. La brújula de inclinación es inglesa, construida por Blunt, con graduación sexagesimal, sin nivel; de tal forma que no exige mucho tiempo para ponerla en observación. En su parte



superior contaba con suspensión de cardan, por su propio peso se coloca siempre en el plano vertical. Parece un primer intento sistemático de la medición del magnetismo terrestre planificado en México. Se consideró un espacio con dos ventanas, al Norte y al lado contrario al del barómetro.

La primera operación practicada fue la de quitar todos los goznes, clavos y objetos de hierro, sustituyéndolos con otros semejantes de latón o bronce. Abiertos los claros en el muro de fachada, de un espesor suficiente para evitar variaciones drásticas de temperatura, fueron inapreciables sobre los instrumentos los movimientos que producían los carruajes a su paso por la calle.

La colocación de la brújula de inclinación se reporta como una tarea sencilla; no así la de declinación, ya que fue preciso instalarla en tres ocasiones, mediante el apoyo de Miguel Ponce, observador del Observatorio Astronómico, y el ingeniero de minas Luis Espinosa. Ambos calcularon varios pasos de la estrella polar por el meridiano para determinar su ecuación y asegurar la medición de la declinación magnética de una manera altamente precisa, notando que en el centro de la Ciudad de México era posible observar la estrella polar y que las condiciones de las últimas décadas del siglo XIX ofrecían una buena expectativa para la operación de un lugar para la medición del campo magnético terrestre.

Examinando atentamente los valores que se midieron para la declinación, no se logra obtener de ellos una tendencia determinada para la variación secular. Pues aunque la disminución o aumento gradual de la desviación de la aguja magnética no se registraba de una manera constante en determinado sentido, para la época, la oscilación secular general se hallaba subdividida en ciclos menores de diez a once años. Ciclos probablemente relacionados con el ciclo de las variaciones de las manchas solares. Sin embargo, el movimiento general en los dos primeros tercios del siglo XIX no acusaba una tendencia, ya sea un decremento o un incremento de la declinación. Comparando los resultados que obtuvo Humboldt en 1804, con los del Conde de la Cortina en 1849, aparentemente la declinación experimentó un incremento de 29" por año; entre 1849 y 1857 la variación anual mostraba +1'59". Entre 1857 y 1858 aparece una diferencia de 23' 47", que corresponde a un excesivo decremento, tornándose después en un incremento de 3'51" por año, entre 1858 y 1860. Finalmente Orozco y Berra (1864, 1867) reporta una variación de 25" entre 1860 y 1862.

La literatura más importante disponible entre los siglos XVIII y XIX da evidencia de una serie de importantes discrepancias en extremo sensibles. Se interpretaba, entre otras causas, que su origen se debía al uso de instrumentos sin una calibración adecuada, es decir la falta de comparación de los nuevos instrumentos con los antiguos, para tomar en cuenta sus diferencias, refiriendo a los más precisos las declinaciones obtenidas en estas épocas.

Estas incongruencias aparentes, se explicaban porque las observaciones no se habían practicado en una misma época, o bien por la eliminación de la influencia de las variaciones anuales, pues puede muy bien haber acontecido que los datos de un observador se referían a la época de máxima actividad solar y los de otro a la de la mínima.

El hecho de no haberse ejecutado estas observaciones en el mismo punto geográfico, para que fueran constantes los errores motivados por las influencias locales, a las que no es fácil sustraerse completa-



mente cuando el observador se encuentra rodeado de construcciones en el centro de las grandes ciudades. Era un motivo importante pues de manera incipiente se requerían condiciones muy especiales para la medición adecuada del campo.

Es altamente probable que estas incongruencias aparentes coincidieran con alguna perturbación magnética notable, evidenciadas por las mediciones de la aguja magnética que se apartaron de su valor medio normal.

En esta etapa de la historia resulta evidente la carencia del desarrollo tecnológico necesario para explicar los fenómenos que ahora conocemos de manera más clara. Conceptos tales como tormentas geomagnéticas, corrientes inducidas por la ionósfera o, lo más interesante, un cambio trascendente en la deriva al Oeste en la declinación magnética medida en aquel siglo. Más escasos son todavía los datos relativos a las observaciones hechas en México sobre la inclinación de la aguja magnética: Humboldt encontró en 1803, $42^{\circ}10'$; Sonntag en 1856, encontró $41^{\circ}26'$; y Cornejo en 1866, $44^{\circ} 30'$ (Humboldt, 1867; Sonntag, 1860; Reyes, 1884)

Son de gran importancia los estudios sobre el magnetismo terrestre que promovió el Instituto Smithsoniano en 1856 bajo la dirección del Dr. A. Sonntag y el Baron Von Muller (Reyes, 1884). Esos trabajos son de suma importancia, ya que constituyen una serie de experimentos meticulosos ejecutados desde Veracruz hasta la ciudad de México, haciendo uso los observadores de los métodos e instrumentos de última generación en aquél entonces, lo que permitió resultados de relevancia, puesto que sirvieron de referencia para los estudios posteriores sobre los elementos magnéticos.

No es aventurado asegurar que, desde principios del siglo XIX Humboldt ejecutó en México observaciones sobre la intensidad de la fuerza magnética, cuando tales observaciones eran incipientes, y desde entonces no volvieron a ser emprendidos en el valle de México, sino hasta 1856, cuando se determinó por primera vez la intensidad horizontal con un aparato de precisión, el Magnetómetro Unifilar de Gauss, perfeccionado por Lamont (Sonntag, 1860). Un resumen de los resultados reportados por Sonntag entre 1856 y 1857, se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las observaciones magnéticas hechas por A Sonntag, bajo la dirección del Baron Von Muller, entre 1856 y 1857 (Sonntag, 1860)

Sitio	Lat N	Long W	Declinación	Inclinación	H	Fecha
Veracruz	$10^{\circ}12'$	$96^{\circ}09'$	$8^{\circ}17'$	$43^{\circ} 58'$	7.530	Agosto 7, 1856
Potrero	$18^{\circ}56'$	$96^{\circ}48'$	$8^{\circ}39'$	$42^{\circ} 51'$	7.570	Agosto 16-17, 1856
Totolapa	$18^{\circ}53'$	$97^{\circ}04'$	$8^{\circ}28'$	$42^{\circ} 51'$	7.580	Agosto 16-17, 1856
San Andrés	$18^{\circ}59'$	$97^{\circ}15'$	$8^{\circ}13'$	$42^{\circ} 38'$	7.590	Septiembre 17-18, 1856
Mirador	$19^{\circ}13'$	$96^{\circ}37'$	$8^{\circ}02'$	$43^{\circ} 05'$	7.520	Octubre 10-11, 1856
México	$19^{\circ}26'$	$99^{\circ}05'$	$8^{\circ}46'$	$41^{\circ} 26'$	7.756	Diciembre 10-17, 1856
Chalco	$19^{\circ}18'$	$98^{\circ}51'$	$9^{\circ}03'$	$43^{\circ} 12'$	7.540	Enero 6, 1857
Tlamacas	$19^{\circ}03'$	$98^{\circ}39'$	$8^{\circ}28'$	$42^{\circ} 34'$	7.571	Enero 25, 1857



Los valores de la fuerza horizontal están expresados en la escala inglesa, tomando por unidades respectivas el pie inglés; el segundo de tiempo medio solar y el gramo. En la escala métrica, las unidades son: el milímetro, el segundo de tiempo y el miligramo, y para reducir los valores ingleses a los métricos, basta multiplicarlos por el factor 0.46108.

Una variable importante para el estudio del magnetismo en el Valle de México durante el siglo XIX fue su altura sobre el nivel del mar. Se le asignó una importancia particular a las observaciones magnéticas en esta localidad dado que se acumulaban los datos con el fin de estimar la disminución de la intensidad total del campo magnético a esta altura, dado que las medidas realizadas previamente no daban resultados siempre en el mismo sentido. Es de mencionar la atención que se prestó a la importancia de las cadenas montañosas que rodean al valle de México y su probable influencia por el contenido mineralógico y composición de estos macizos montañosos (Royal Society of London, 1878 en Reyes, 1884).

Antes de la aparición de una entidad encargada en México para la organización de la información del campo magnético terrestre, existía una corriente hipotética en la cual se pensaba que las perturbaciones magnéticas y las variables meteorológicas, tales como la presión y la temperatura, tenían una relación causal, esto fue resultado del pobre conocimiento de la ionosfera o alta atmosfera. Estas herramientas se desarrollaron para rastrear la aproximación de temporales, ciclones, o huracanes; reportando de manera sensible la ocurrencia de perturbaciones notables en el magnetismo bajo la inminente llegada de un meteoro (Reyes, 1884).

Es importante señalar que para el Primer Año Internacional Polar, se realizó un esfuerzo internacional entre agosto de 1882 y agosto de 1883 para realizar observaciones, principalmente en la áreas de meteorología, geomagnetismo y las denominadas luces polares (auroras). Bajo esta filosofía se acuñó el término Aeronomía, el cual relaciona estas tres disciplinas (Fukushima, 1994).

4. El Departamento Magnético del Observatorio Meteorológico Central de México

Es claro que para las últimas décadas del siglo XIX, las líneas de desarrollo para el geomagnetismo tenían un panorama amplio y con grandes posibilidades de desarrollo. Es por esto que durante el tiempo en que la Secretaría de Fomento del gobierno de México estuvo a cargo del General Vicente Riva Palacio, fundador de los Observatorios Meteorológico y Astronómico y celoso protector de los estudios científicos; encargó a la fábrica Negretti & Zambra, de Londres, un magnetómetro unifilar primero, y más tarde una brújula de inclinación (Figuier, 1878). Antes de ser recibido en México, el magnetómetro fue cuidadosamente verificado en el Observatorio de Kew, donde estuvo algún tiempo en calibración, habiendo sido determinadas las constantes y coeficientes de corrección y computadas las tablas para facilitar los cálculos por Mr. F. G. Figg, bajo la superintendencia de G. M. Whipple.

Las primeras observaciones en el Departamento Magnético de la declinación y la fuerza horizontal, fueron ejecutadas entre Enero y Mayo de 1879 en una pequeña barraca de madera, contigua al Observatorio Central Astronómico situado en la azotea del Palacio Nacional (Figura 3).



Figura 3. Palacio Nacional alrededor de 1884, con el Departamento Magnético en funcionamiento desde septiembre de 1879 (Comisión Nacional del Agua, 2012).

Antes de comenzar esa primera serie de observaciones, se tuvo cuidado de asegurar las tablas únicamente con espigas de madera, quitando del piso, techo y paredes de la barraca, todo clavo de fierro. Además el herraje de la puerta y ventanas fue también reemplazado por piezas análogas de cobre o bronce. El magnetómetro estuvo instalado sobre un poste de ladrillo de un metro de altura, teniendo el cuarto dos ventanas orientadas al norte y al sur, con la puerta hacia el oeste.

La brújula de inclinación se recibió varios meses después y fue necesario proceder a una construcción especial, donde los instrumentos estuvieron establecidos en las mejores condiciones posibles. Se dio entonces principio a la nueva serie regular de observaciones completas sobre los tres elementos del magnetismo terrestre, el 1 de septiembre de 1879, bajo la responsabilidad de José Collado y Vicente Reyes, ambos personal auxiliar del Observatorio Central Meteorológico (Reyes, 1884).

Para esta época resultaba muy peculiar la adquisición de los datos, ya que cumplía con las horas de oficina en la que laboraba el personal; se realizaban mediciones en domingo también. Sin embargo, los instrumentos que se utilizaban (magnetómetro unifilar; brújula para declinación y brújula para inclinación) eran transportados en campañas a los alrededores del Valle de México para la realización de mediciones de interés científico y siempre correlacionadas con la faceta meteorológica (Comisión Nacional del Agua, 2012).

Este es considerado el primer antecedente del Observatorio Magnético en México. Las coordenadas geográficas del salón magnético fueron 19°26' de latitud Norte, y 99° 6' 39" de longitud Oeste.



El primer Observatorio Magnético en México fue parte entonces, del Departamento Magnético, el cuál dependió del Observatorio Meteorológico Central en México, como consecuencia del decreto del Presidente de la República Porfirio Díaz y por iniciativa del entonces Ministro de Fomento Vicente Riva Palacio. Haciendo un seguimiento de la historia de este antecedente, es posible reconocer los motivos por los cuales quedó clausurado en 1887. V. Reyes (1884) describe en su obra:

“Cuando se está en el centro de una gran ciudad, no es posible sustraer por completo los instrumentos magnéticos a la influencia de la proximidad de los edificios, que determinan la alteración de los valores de los resultados, particularmente por la presencia del fierro, cuyo uso está tan generalizado en las construcciones modernas, por una parte; y por la otra, aunque el fierro no figure en ellas al estado metálico, no por eso dejarán de ejercer cierta acción sobre la dirección y los movimientos de la aguja imantada, ya por la masa misma de los edificios, ya por la existencia de otros materiales de construcción, artificiales o naturales, como el ladrillo y las rocas, que, como se sabe, contienen el fierro más o menos encubierto al estado de óxido. Por lo demás, la vecindad de grandes masas de agua, de carbón, de mercurio y otros cuerpos, producen pequeñas desviaciones sobre la aguja...”

“Ahora bien: el objeto principal de las largas series regulares de observaciones magnéticas que se emprenden en los observatorios, es el de establecer las leyes de las variaciones seculares anuales, diurnas, y de las perturbaciones accidentales; y como esas variaciones se estiman por las diferencias entre los resultados obtenidos en épocas determinadas o por las diferencias de los máximos y mínimos con los valores medidos o normales, si la influencia de las causas locales es constante, porque no varíe de una manera sensible la situación respectiva de los cuerpos que originan las alteraciones, es evidente que también será constante el error que afecte a cada uno de los resultados individuales, y por consiguiente las variaciones, apreciadas como antes se ha dicho, tienen necesariamente que aparecer independientes de tales errores”.



Para 1878 el Observatorio Meteorológico y Astronómico fue trasladado al Castillo de Chapultepec donde estuvo a cargo de un grupo de científicos que en ese entonces eran capitaneados por el ingeniero Mariano Bárcena, Jefe de la primera Comisión Geográfica Exploradora del Territorio Nacional y primer director del Observatorio Meteorológico Central, después del cierre en 1887 del observatorio de la Ciudad de México. Los instrumentos se almacenaron también en el castillo de Chapultepec (Figura 4), hasta que a principios de 1889 el Observatorio Astronómico de Tacubaya lo fundó de nuevo, en sus jardines (Figuras 5 y 6).

Figura 4. Magnetómetro unifilar para la medición de la Intensidad Horizontal del Campo Magnético Terrestre mediante el método de Oscilaciones (acervo fotográfico del Observatorio Magnético de Teoloyucan)



Figura 6. Magnetómetro unifilar para la medición de la Intensidad Horizontal del Campo Magnético Terrestre con trípode para prospección de campo (acervo fotográfico del Observatorio Magnético de Teoloyucan)



Figura 5. Instalaciones del Observatorio Meteorológico Central de México, en Tacubaya hacia inicios del siglo XX (archivo UNAM, 2017).

Para el inicio del siglo XX, este observatorio enfrentó los mismos problemas que en su posición geográfica anterior; esto se originó después de la instalación de la línea de tranvías eléctricos México - Tacubaya. Se encontró, sin embargo, un predio privado que entre 1903 y 1912 logró mantener en funcionamiento el observatorio; la agitación social de la Revolución Mexicana, en combinación con la llegada de tranvías eléctricos al pueblo, obligó nuevamente al cierre del observatorio magnético (Sandoval, 1950).

5. La Era de Teoloyucan (1914-2017)

Después de cerrar Cuajimalpa en el año 1912, los instrumentos permanecieron guardados mientras el conflicto armado de la Revolución Mexicana se desarrollaba. En relación con los acontecimientos de ese tiempo, se firman los Tratados de Teoloyucan (Figura 7), en el Estado de México el 13 de agosto de 1914, entre los representantes del Cuerpo de Ejército del Noreste (Álvaro Obregón, Lucio Blanco, Gustavo A. Salas y José Refugio Velazco) y la Armada del régimen usurpador (Almirante Othon P. Blanco). Estos tratados establecieron las condiciones en que se verificaría la evacuación de la Plaza de la Ciudad de México por el Ejército Federal y la

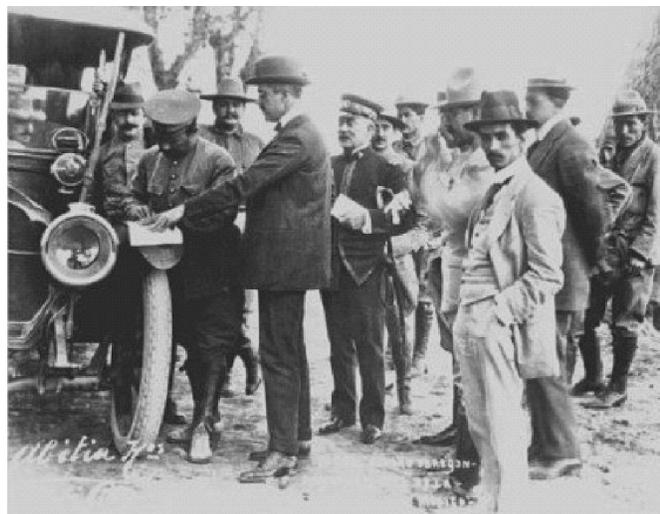


Figura 7. Firma de los tratados de Teoloyucan el 13 de Agosto de 1914 (Foto, UNAM)



disolución definitiva del mismo (Galeana, 2015)

En Cuajimalpa funcionaban los variómetros registradores fotográficos tipo Mascart, y aunque se había logrado coleccionar sus magnetogramas, no fue posible aprovechar los datos, pues de acuerdo con Sandoval (1950), no se pudieron encontrar los datos de las constantes de las calibraciones ni de los coeficientes de temperatura de los instrumentos. Por esta razón los documentos que sobrevivieron son tablas con valores absolutos observados; se trata, sin embargo, de una herencia de gran importancia para la historia del observatorio magnético de Cuajimalpa (Sandoval, 1950).

Con estos instrumentos, el Observatorio Magnético de Teoloyucan comienza sus observaciones en las coordenadas geográficas de $19^{\circ} 44' 47.49''$ de latitud Norte y $99^{\circ} 10' 53.4''$ de longitud Oeste y a una altitud de 2,200 metros sobre el nivel del mar. Conservaba el requisito de medir las variaciones del campo magnético en una altura importante para los estudios de aquella época; asimismo, se aseguraba una permanencia prolongada en este sitio dada la distancia que lo separaba de la ciudad de México (más de 50 kilómetros). La nueva posición del observatorio le dio estabilidad, un requisito imprescindible para medir de manera adecuada el fenómeno magnético (Figura 8).

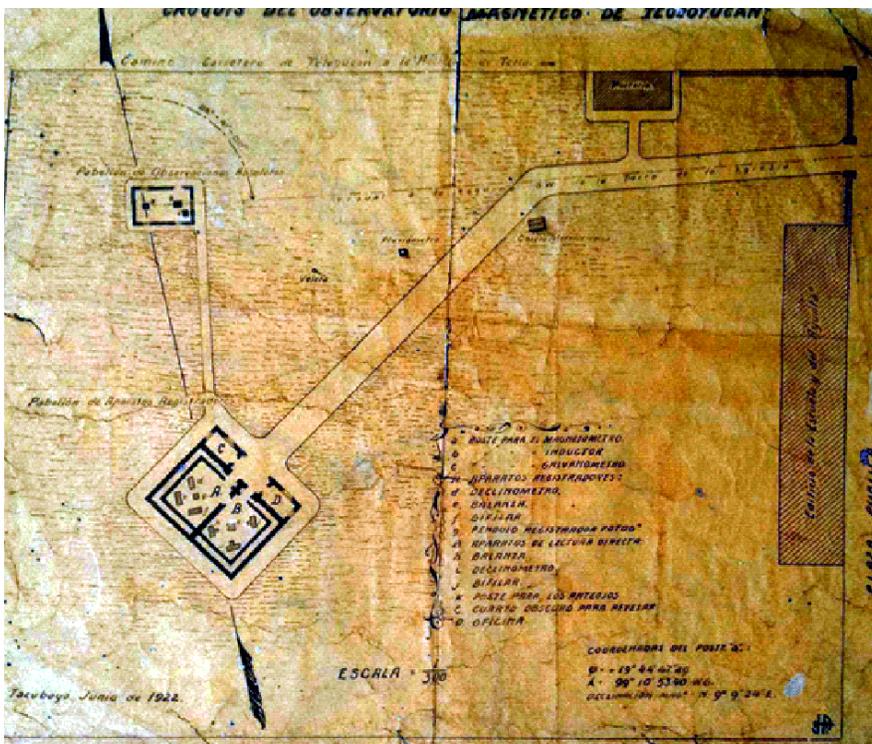


Figura 8. Primera ubicación del Observatorio Magnético de Teoloyucan fundado el 13 de Agosto de 1914 (plano correspondiente a Junio de 1922, acervo Teoloyucan).

En 1929 el Observatorio Astronómico de Tacubaya, y por tanto su Departamento Magnético, paso a depender de la Universidad Nacional Autónoma de México (en el mismo año que la Universidad había obtenido su autonomía). Además del Observatorio Magnético de Teoloyucan, la Red Nacional de Estaciones de Repetición, pasó a formar parte de la Universidad cuando se declara la apertura del Instituto de Geofísica en 1949. Es en este periodo cuando el Departamento de Geomagnetismo se concibe como parte del instituto.

En Teoloyucan se siguió usando el mismo instrumental de Cuajimalpa; empero, debido a las vicisitudes nacionales, solo fue posible registrar observaciones de la declinación, dos o tres veces por mes entre los



años de 1914 a 1922. De 1923 a 1930 ya funcionaban los tres variómetros registradores fotográficos D, H, Z, el magnetómetro Dover 123 y las brújulas de inclinación Fauth 73, Negretti- Zambra 65 y Chasselon 64.

Posteriormente, se observaron las discordancias de los valores determinados, debido a desperfectos en los aparatos, no siendo posible sustituir éstos sino hasta 1927, cuando se adquirió el magnetómetro C.I.W. 107 y hasta 1931, año en que se compró el juego de variómetros registradores fotográficos Eschenhagen, de la Casa Askania.

No poseyendo más que un solo magnetómetro, fue indispensable utilizarlo como patrón del Observatorio y como instrumento de campo, lo que naturalmente afectó a las líneas de base de los magnetogramas.

En algunos meses de 1945 y 1946 se careció de suficiente papel fotográfico. Adicionalmente en 1947, un accidente por causa de una pequeñísima araña que se introdujo en el variómetro H, dañó el único hilo de cuarzo de que se disponía. Finalmente, hubo que hacer ciertas reparaciones urgentes en los pabellones del Observatorio.

En el seno universitario, el departamento de Geomagnetismo se encargó de la realización del inventario de los datos con los que hasta entonces se contaba. En la obra del Ing. Octavio Rosendo Sandoval, denominada "*Valores Magnéticos*", se ve reflejado todo el acervo de información que hasta 1950 se tenía en México en esta disciplina (Sandoval, 1950).

Además del trabajo sistemático de la medición del campo magnético y la elaboración de cartas magnéticas, se incursionó también en el área de la exploración geofísica y la física espacial. La investigación sobre los temas relacionados se refleja en los trabajos de A. Chargoy, R. Gall o R. Sandoval, por ejemplo. A este período se le ha designado como de "estabilización", pues su característica es que los datos comienzan a consolidarse en un solo punto geográfico en la República y lo más importante, el observatorio alcanza las características ideales en su funcionamiento.

Entre 1949 y 1978, el grupo de Geomagnetismo del Instituto de Geofísica tuvo su mayor desarrollo en casi todos los sentidos; presumiblemente este periodo es el de mayor auge. El personal relacionado con este grupo fluctuó entre siete y diez. Este lapso se caracterizó por un aumento en infraestructura, tanto de instrumentación como en el personal participante, adicionalmente a los elementos heredados de la etapa anterior.

El año 1978 marca un cambio muy importante en lo referente al Observatorio Magnético de Teoloyucan, pues de la posición geográfica que ocupó desde 1914, se desplazó setecientos metros al suroeste. La infraestructura con que el grupo de Geomagnetismo contaba en 1978 no permitió hacer este cambio de manera adecuada desde el punto de vista técnico. Era necesaria la medición de la variación de campo magnético en los dos sitios durante al menos seis meses antes del cambio, acción que no pudo realizarse.

El resultado es que la curva de variación secular de este punto geográfico no presenta una adecuada continuidad antes y después de 1978. Entre las consecuencias encontradas posteriormente, es que precisamente en el año de 1978 se reportó un "Jerk" geomagnético en casi todos los observatorios europeos



en operación en aquel entonces, esto hubiese permitido corroborar este fenómeno en el hemisferio con los datos completos (Bloxham *et al.*, 2000).

En el marco del Observatorio Meteorológico Central de México, otros proyectos consistían en la elaboración de cartas de Inclinación y Declinación Magnética en los alrededores del Valle de México (Figuras 9 y 10).

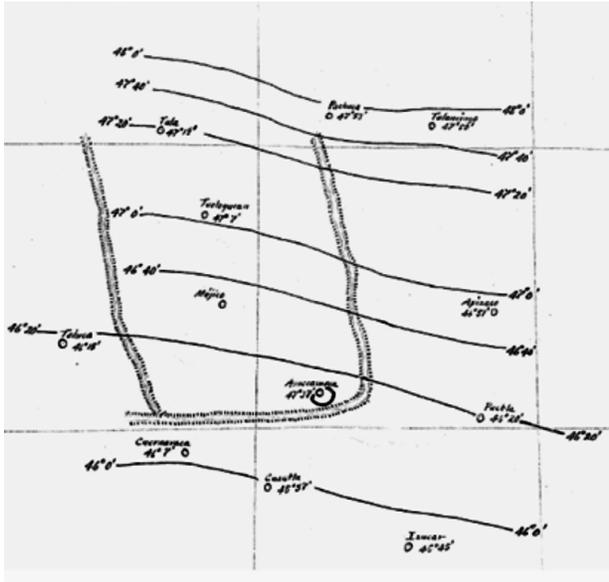


Figura 9. Carta de Inclinación Magnética en los alrededores del Valle de México (Observatorio Astronómico de Tacubaya, 1934).

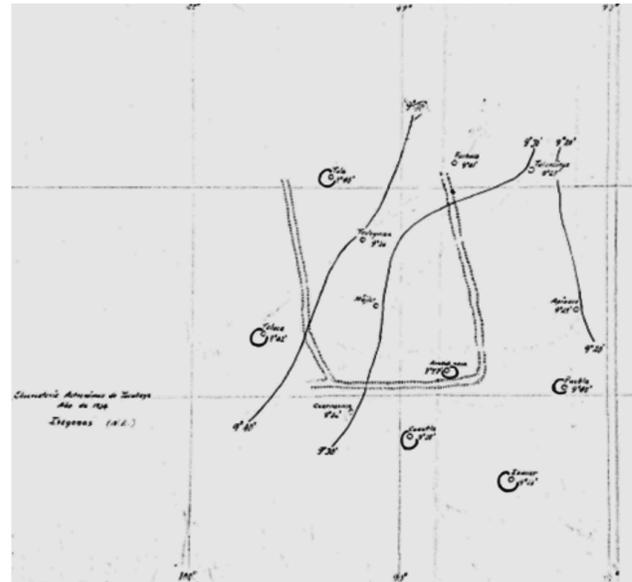


Figura 10. Carta de Declinación Magnética en los alrededores del Valle de México (Observatorio Astronómico de Tacubaya, 1934).

El periodo que abarca 1978-1996, podemos considerarlo como de “consolidación”, pues a pesar de la grave crisis de personal, los fondos apenas mínimos para operar aceptablemente, y otras variables de índole técnico, la comunidad internacional puso sus ojos en estos problemas. Gracias a proyectos latinoamericanos que instituciones como el Instituto Panamericano de Geografía e Historia apoyaron, Teoloyucan se calibró por primera vez en 1993 con un observatorio patrón de primera categoría (Friedericksburg, USA). Se realizó la carta magnética nacional (1990-1991; Cañón *et al.*, 1993). Se realizó el primer congreso Latinoamericano de Instrumentación Geomagnética con sede en el Observatorio Magnético de Teoloyucan (1996), entre otros logros con fuentes de apoyo principalmente externas.



Figura 11. Pabellones de observaciones absolutas (izquierda) y de variación (derecha) en el Observatorio Magnético de Teoloyucan en el año de 1922, como parte del Observatorio Meteorológico Central (Acervo Fotográfico Teoloyucan, 2018).



En 1996 podemos concebir al Servicio Magnético como un concepto de un sentido más práctico. En virtud a que además de la operación del observatorio magnético, ahora digital, y la obtención de la carta magnética de la República Mexicana; la etapa denominada “analógico-digital”, constituye un período de transformación radical del mismo concepto de observatorio. La automatización de la adquisición de datos geomagnéticos dio la pauta para incursionar en nuevas aplicaciones. Para 1997 se instaló la primera Estación Geomagnética Temporal en un volcán activo en México. En 1999 personal del Servicio Magnético fue capacitado con apoyo de la ONU en métodos de medición del campo magnético en regiones sismogénicas. Se estimuló la participación y la organización de foros de discusión internacionales a nivel latinoamericano (1995, la Segunda Escuela Latinoamericana de Geomagnetismo en Taxco, Gro.; 1996, Primer Taller latinoamericano de Instrumentación Geomagnética, Teoloyucan, Edo. de Mex.; 1997, Tercera Escuela latinoamericana de Geomagnetismo, Huancayo, Perú; 1998, Taller sobre Procesamiento de Datos Geomagnéticos y su relación con zonas sismogénicas, Beijing, China; 2000, Workshop on Geomagnetic Processing and Observatory Instrumentation, Hurbanovo, Eslovakia; 2012, primer Workshop on Geomagnetism, en México; 2017, segundo Workshop on Geomagnetism, en Brasil).

Entre 1996 y 2010 el personal se conformó por un investigador, dos técnicos académicos, un técnico administrativo (asignado al Observatorio Magnético de Teoloyucan) y un observador. Durante este periodo se reconoció la necesidad de establecer estos elementos de producción de datos para la investigación científica (el observatorio y las estaciones geomagnéticas de repetición) y así postular la formación del “Servicio Magnético”.

El último periodo, 2003-2009, es considerado como el correspondiente a la concepción del Servicio Magnético; dado que la comunidad internacional sigue los pasos del desarrollo de esta rama. En 2004, México vuelve a organizar la V Escuela Latinoamericana de Geomagnetismo (Juriquilla, México). En 2005 se organiza por primera vez en Latinoamérica, la reunión anual del consorcio Intermagnet (Instituto de Geofísica, UNAM), sumándose a la participación de México ya de manera sistemática en los talleres organizados por la Internacional Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA) en Belsk (Polonia, 2006) y Boulder (EEUU, 2008). En el año 2004, el US Geological Survey dona un magnetómetro de observaciones absolutas para Declinación e Inclinación con el objetivo de aumentar la calidad y cantidad de observaciones. Ese mismo año se incorpora un observador que se hace responsable de las observaciones de calibración en Teoloyucan.

Bajo estos conceptos y combinando la secuencia histórica y las variables analizadas; un diagnóstico no puede plantearse sin combinar la misión de la Universidad con la del Servicio Magnético: la educación, la investigación, y la difusión de la cultura (en este caso de la cultura científica). Además la misión propia del Instituto de Geofísica, que es la de realizar investigación científica y tecnológica, tanto en geofísica como en otras disciplinas afines, tiene como propósito apoyar la labor de investigación, docencia, difusión y divulgación científica de su personal académico. Las variables que permiten evaluar los distintos periodos que han definido la evolución de esta rama de la geofísica se concibieron como válidas a través de 130 años de operación.



6. La Era de Teoloyucan (1914-2017), producción de datos

Una definición simple de un observatorio geomagnético es la constancia a través del tiempo para la obtención de datos de calidad, es decir la mayor continuidad posible en el tiempo y en un sitio geográfico definido. Aunque en este reporte no es tiene por objetivo describir detalladamente el desarrollo de este tipo de observaciones, es al menos imprescindible definir cualitativamente la existencia de al menos cinco posiciones geográficas en donde se realizaron mediciones constantes en periodos de entre 8 a 10 años. Basados en valores medios anuales del campo geomagnético, se pueden definir los que a continuación se describen y un resumen de lo sitios donde han operado los observatorios geomagnéticos en México se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de los distintos sitios de los observatorios geomagnéticos que han operado en México entre 1879 y 2018 (Reyes, 1884; Sandoval, 1950; Hernández-Quintero, *et al.*, eds., 2017)

Observatorio	Periodo	Latitud N	Longitud W	Entidad Responsable
Ciudad de México	1879-1887	19°26' 0"	99° 6' 39"	Observatorio Meteorológico Central de México
Chapultepec	1887-1888	19°25' 7"	99°10'51"	Observatorio Meteorológico Central de México
Tacubaya	1889-1900	19°24'16"	99°11'43"	Observatorio Meteorológico Central de México
Cuajimalpa	1903-1912	19°21'46"	99°17'17"	Observatorio Meteorológico Central de México
Teoloyucan A	1914-1978	19° 44' 47.5"	99° 10' 53.4"	Observatorio Meteorológico Central de México y Universidad Nacional Autónoma de México
Teoloyucan B	1978-2018	19° 44' 45.1"	99° 11' 35.7"	Universidad Nacional Autónoma de México

Observatorio Ciudad de México (1879-1887). Aunque se tienen antecedentes de observaciones en el Palacio de Minería de la Ciudad de México, fue en 1879 cuando se logró la precisión y calidad necesarias, como para asumir que los datos fuesen de alto nivel de confianza. Bajo estas características, este observatorio tuvo que cerrar sus operaciones tras la llegada de las construcciones de acero, la luz eléctrica, las instalaciones telegráficas, así como los tranvías eléctricos, a partir del año 1888 aproximadamente, al zócalo de la ciudad. Durante 1887 y 1888, los instrumentos se almacenaron en Chapultepec, sin tener datos de medición.

Observatorio Magnético de Tacubaya (1889-1900). Los datos localizados pueden estar asociados con el observatorio astronómico que operó en las colinas de Tacubaya los últimos años del siglo XIX. La tecnología asociada a la electricidad llevó a reubicar este observatorio, que hasta ese momento era patrocinado por la Secretaría de Fomento.

Observatorio de Cuajimalpa (1903-1912). Los datos aportados por este observatorio permitieron darle continuidad a las posiciones anteriores y aunque solo son nueve años de promedios anuales de declinación magnética, son muy importantes puesto que se correlacionan con la tendencia del comportamiento de la variación secular con treinta y tres años acumulados.

Observatorio Magnético de Teoloyucan "A" (1914-1978). Al término de la Revolución Mexicana, la Secretaría de Fomento primero, el Instituto de Geología después (1929) y finalmente el Instituto de



Geofísica (1949), ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México, continuaron una labor cuidadosa y sistemática en los sesenta y cuatro años en que el observatorio se ubicó en la Presidencia Municipal del pueblo. Esta etapa marcó la pauta para darle una consolidación al observatorio como tal. Este acervo de datos se muestra en la Figura 12.

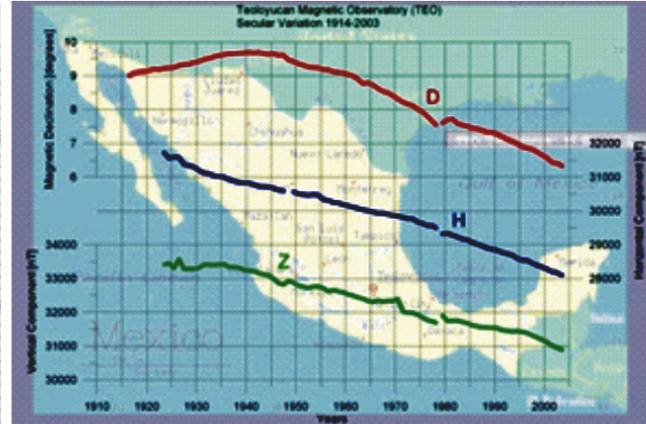
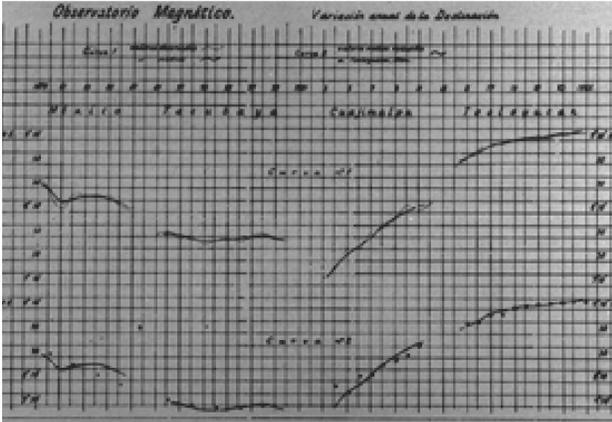


Figura 12. Comparación de bases de datos en diversos sitios geográficos en México como antecesores del Observatorio Magnético de Teoloyucan.

Observatorio Magnético de Teoloyucan (1979-2018). Aunque el sitio geográfico donde se continuó midiendo el campo magnético cambió menos de un kilómetro de su primera posición en 1914, es importante señalar la falta de experiencia y de instrumentación adecuada para darle una continuidad a la base de datos; esto sin embargo es salvable en términos prácticos para dar continuidad a una serie de tiempo de 140 años.

INSTITUTO DE GEOFISICA
Servicio Geomagnético.
OBSERVATORIO MAGNETICO DE TEOLOYUCAN
DECLINACION, D. (H.E.)
Valores medios diarios

Coordenadas geográficas Coordenadas geomagnéticas
 $\psi = 19^{\circ} 44' 47.5''$ $\psi = 29^{\circ} 33' 50''$ N.
 $\lambda = 99^{\circ} 10' 53.4''$ W. de Gr. $\lambda = 327^{\circ} 4' 20''$ E.
 Altitud = 2280 mtrs. La x indica valor perturbado

		1948					
		Enero		Febrero		Marzo	
		8	9	8	9	8	9
1	9	30.4	29.1	29.0	27.9	28.7	28.4
2		30.6	29.3	28.8	27.9	28.8	28.4
3		30.8	28.9	29.1	28.5	28.1	27.6
4		30.5	29.9	28.6	27.5	27.8	-
5		30.2	29.4	28.2	27.9	28.1	-
6		30.5	28.9	28.2	27.1	28.1	-
7		30.1	29.1	28.4	27.9	30.4	-
8		30.1	28.9	28.2	28.1	28.4	-
9		30.1	28.4	28.5	27.0	28.3	-
10		30.8	28.8	28.3	27.4	28.2	-
11		-	28.6	28.0	27.6	28.2	28.5
12		-	28.8	28.3	27.3	28.2	28.3
13		-	28.6	28.7	27.3	28.4	28.3
14		-	28.9	28.7	27.3	28.9	28.2
15		30.3	28.8	28.7	27.7	29.1	28.0
16		30.1	28.9	28.9	27.7	28.9	27.5
17		30.1	28.6	28.1	27.3	29.0	27.9
18		30.3	28.8	28.0	27.0	28.6	28.0
19		30.9	28.5	28.5	28.5	28.7	28.7
20		30.9	28.3	28.7	28.1	29.1	28.2
21		30.4	28.6	28.7	27.4	30.1	28.7
22		30.9	28.3	28.4	29.4	28.8	28.8
23		30.9	28.3	28.7	28.9	28.1	28.3
24		30.3	28.5	28.9	28.9	30.6	28.9
25		30.1	28.4	28.1	28.8	29.4	28.9
26		30.4	28.4	28.4	28.7	29.1	29.5
27		30.4	28.4	28.4	28.4	29.1	28.2
28		30.3	29.2	29.2	29.7	29.7	29.5
29		30.5	28.0	28.0	28.0	28.4	29.4
30		28.4	28.9	28.9	28.3	28.3	28.6
31		28.4	28.9	28.9	28.3	28.3	28.6

Nota: Desaparición del Registrador donde faltan datos.

Datos Promedios Diarios Asociados al Observatorio.

Un producto del Observatorio catalogado como estándar es el dato promedio diario. En las distintas etapas descritas anteriormente es posible encontrar periodos prolongados con valores promedios diarios. A fines de la década de 1940 la sistematización de la información promovió una mejor calidad de los datos. Es por esto que esta información puede tener gran valor poniendo especial cuidado en la influencia de fenómenos geomagnéticos con periodos estables como cambios estacionales, anuales y variación diurna, por poner algunos ejemplos. La Figura 13 muestra un ejemplo de la forma de este tipo de información.

Figura 13. Ejemplos de datos publicados y de acervos históricos de Cuajimalpa en 1906, y en Teoloyucan para 1948 en donde se reportan los datos promedios diarios.



Datos Promedios Horarios Asociados al Observatorio. Es posible encontrar a partir de 1965 que los datos se comenzaron a reportar como promedios horarios. Esto se relaciona con los años geofísicos y las expectativas que en aquella década podían alcanzar los datos. La era espacial estaba en sus inicios y era muy importante reconocer fenómenos geomagnéticos de periodos menores. Es por esto que la comunidad internacional adopta el reporte de los datos de observatorios geomagnéticos (Figuras 14 y 15).

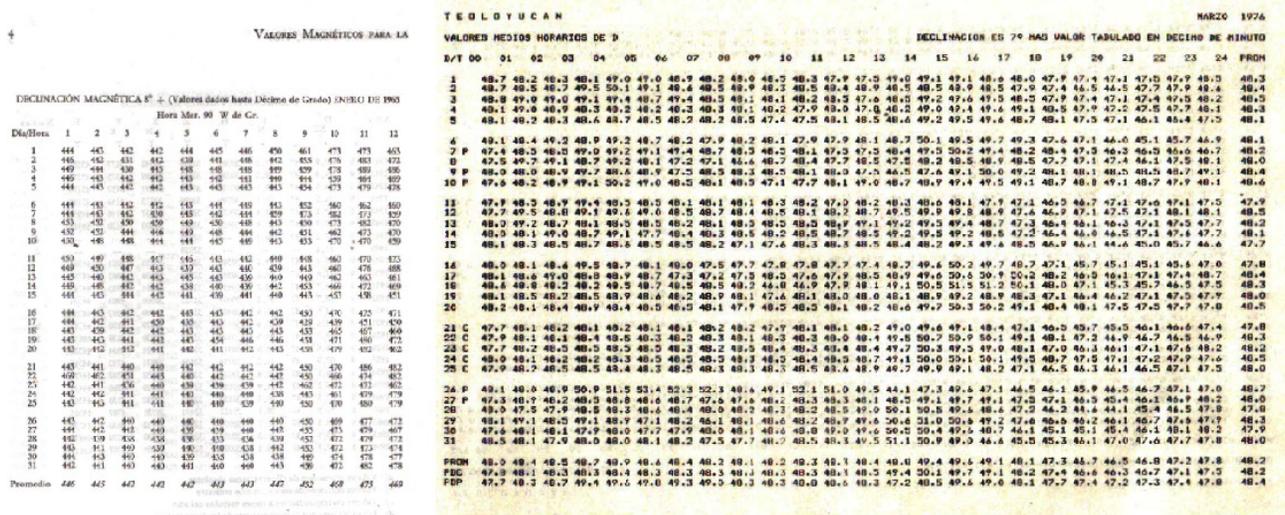


Figura 14. Ejemplos de datos publicados y de acervos históricos de Teoloyucan para 1965 y 1976; cuando estos datos son reportados como promedios horarios en forma impresa, la cual desaparece después de 1995.

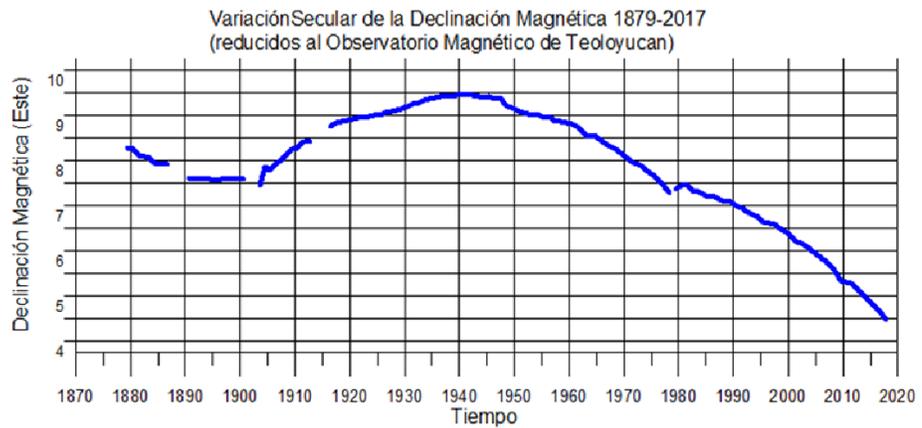


Figura 15. Serie de promedios anuales de Declinación Magnética (D) reducidos al Observatorio Magnético de Teoloyucan entre 1879 y 2017.

7. Variación Secular en La Era de Teoloyucan (1879-2017)

Además del análisis histórico de la evolución de las mediciones del campo geomagnético en México, un resultado que se desprende de este volumen de información es la curva de 130 años de variación secular para la declinación magnética en el centro de la República Mexicana (Figura 15). De esta manera, se complementan distintas bases históricas reportadas en la literatura (Campos-Enríquez *et al.*, 1994; Hernández-Quintero *et al.*, 1994; Flores-Ruiz *et al.*, 2000; Hernández y Orozco, 1997).

De esta curva se pueden observar rasgos de variación muy interesantes, siendo el principal la inflexión que presenta la declinación magnética en los inicios del siglo XX (1900-1905); y un decremento del



campo para fines del siglo XIX. El alcance en esta etapa de trabajo es puramente descriptivo. Es claro que se requiere complementar esta información para revisar el efecto de este comportamiento.

La larga historia de procurar la medición del campo geomagnético en México desde el siglo XVII (Sandoval, 1950) y posteriormente los distintos episodios para mantener una medición sistemática y permanente mediante un observatorio, suman ya varios siglos. Es muy importante la conservación y el análisis de esta información; principalmente con la intención de pronóstico y evaluación para la aplicación en nuevas áreas.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Dra. Ana Caccavari Garza y al Fis. Manuel Mena Jara por sus aportaciones para la realización de este trabajo.

Referencias

- Campos-Enríquez J.O., E. Hernández-Quintero H. Nolasco-Chávez A. Orozco-Torres C. Cañón-Amaro, Alvarez-García G., Urrutia-Fucugauchi J., 1994. A Preliminary Assesement of IGRF-1990 for Mexico. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 82, 2, 105-111.
- Cañón A., Hernández J.E., Nolasco H., Orozco A., 1993. Cartas Magnéticas de la República Mexicana para la época 1990.0, escala 1:5,000,000. *Instituto de Geofísica UNAM - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI*, México.
- Comisión Nacional del Agua, 2012. *Servicio Meteorológico Nacional: 135 años de historia en México*. ISBN: 978-607-7908-63-0, 76 pp.
- Flores-Ruíz J.H., Marines-Campos R., Hernández-Quintero J.E., Campos-Enríquez J.O., Urrutia-Fucugauchi J., 2000. Evaluación Geo-Estadística de la Red de Estaciones Magnéticas de la República Mexicana. *Revista Geofísica IPGH*, 52-53, 107-122.
- Figuier, L. 1878. *L'annee Scientifique et Industrielle*. Librairie Hachette et Cie, Paris
- Fukushima N., 1994. Some topics and historical episodes in geomagnetism and aeronomy. *Journal of Geophysical Research*, 99, A10, 19113-19142.
- Galeana, P., 2015. El triunfo del Constitucionalismo. Gobierno de la República, Secretaría de Educación Pública. Instituto Nacional de Estudios Históricos de las Revoluciones de México, 184 pp.
- Gauss, C.F., 1839. Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus, in Resultate aus den Beobachtungen des Magnetkchen Vereins im Jahre 1838, eds Gauss, C.F. & Weber, W., Gottingen und Leipzig. (Reprinted in Werke, 5, 121-193.)
- Henry, R., 1878. Report of the Kew Committee for the year ending October 31, 1878. In Proceedings of the Royal Society of London, 28 (1878 - 1879), 80-97.
- Hernández-Quintero J.E., Cifuentes Nava G., Caccavari Garza A., López Alcántara V., Editores. 2017. *Catálogo de Estaciones Magnéticas de Repetición de la república Mexicana*. Servicio Magnético, Instituto de Geofísica, UNAM, México. 107 pp.
- Hernández-Quintero E., Nolasco-Chávez H., Campos-Enríquez J.O., Cañón-Amaro C., Orozco-Torres A., Urrutia-Fucugauchi J., Alvarez-García G., 1994. Evaluación preliminar del campo geomagnético de



referencia internacional IGRF-1990 para México y anomalías magnéticas corticales. *Geofísica Internacional* 33, 2, 235-241.

Hernández E., Orozco, A., 1997. Magnetic Field work and IGRF models for México, three examples for the 20th Century. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 49, 2-3, 387-392.

Humboldt A.V., 1867. *Cosmos*, tomo IV, pág.67, París.

Orozco y Berra, M. 1864. *Memoria para la Carta Hidrográfica del Valle de México*. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, México. 185 pp.

Orozco y Berra, M. 1867. *Memoria para el plano de la ciudad de México*. Ministerio de Fomento, México. 231.

Reyes, V. 1884. *Memoria sobre el departamento magnético del observatorio meteorológico central de México*. 111 p.

Sandoval O.R. 1950. *Elementos magnéticos en la República Mexicana*. Servicio Geomagnético. Instituto de Geofísica. UNAM, México. 182 p.

Sonntag A. 1860. *Smithsonian Contributions to Knowledge. Observations on terrestrial magnetism in México, conducted under the direction of Baron Von Muller, with notes and illustrations of an examination of the Volcano Popocatepetl and its vicinity*. Washington.60 pp.