



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**VARIACIONES ATÍPICAS EN LA QUÍMICA DEL AGUA
EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD: SU VALORACIÓN
COMO MEDIO HACIA LA PREVENCIÓN DE SISMOS**

TESIS

**Que para obtener el Grado de:
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta:

Fidel Martínez García

DIRIGIDA POR:

Dr. Arturo Colín Cruz

Dr. Salvador Adame Martínez

Dr. Jorge J. Ramírez García

Toluca de Lerdo, Estado de México, Octubre, 2016





UAEMex



REGISTRO DEL PROYECTO

Este trabajo de investigación fue inscrito en el año 2014 ante la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados (SIEA) con el registro No. **DCAAM-0614** bajo el nombre de ***Variaciones atípicas en la química del agua en zonas de alta sismicidad: Su valoración como medio hacia la prevención de sismos.***



UAEMex



CAMPO TEMÁTICO DEL PROYECTO

El proyecto se inscribe en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) de la Prevención, Control y Efectos de la Contaminación Ambiental, Área de Calidad Ambiental del Programa de Posgrado en Ciencias Ambientales.



UAEMex



RESUMEN

Dentro del marco de los eventos precursores naturales que se presentan antes y después de la manifestación de los eventos sísmicos con capacidad de afectar las viviendas e infraestructura civil, se presentan los resultados obtenidos de tres años de investigación fundamentada en la suposición de que existen *variaciones químicas atípicas en agua superficiales cercanos a los epicentros durante el tiempo que se gesta un sismo importante*, debido a la presencia en los alrededores, de un flujo eléctrico capaz de modificar la atmósfera local e interactuar con el agua del subsuelo y cuerpos de agua superficiales vecinos, en particular con sus compuestos y elementos constituyentes, cambiando en forma iónica, las propiedades químicas del agua. Con este enfoque y con énfasis en la conductividad natural del agua, se presentan los resultados obtenidos del estudio de cuatro manantiales, una cisterna y dos pozos artesianos, cuerpos de agua localizados al sur del estado Morelos y región sísmica de México ubicada entre los estados de Guerrero y Oaxaca; como resultado del trabajo de investigación se obtuvieron dos artículos, los cuales han sido publicados en revistas arbitradas con reconocimiento internacional. Los resultados más sobresalientes revelan que la tendencia de la conductividad monitoreada en sitios dispuestos en áreas con alta frecuencia sísmica muestra variaciones atípicas en los registros, comportamiento cuyas causas pueden ser antropogénicas o por ligeros movimientos del terreno causados por la intensa y frecuente actividad sísmica local; de igual forma



UAEMex



por la posible presencia de flujos electromagnéticos locales que interactúan con los iones disueltos en el agua o con los componentes electrónicos del equipo utilizado para monitorear la conductividad natural del agua. También se presenta el análisis de los datos de monitoreo en dos sitios ubicados en el borde costero más sísmico de México, los resultados muestra dos patrones de comportamiento; en series de datos de 24 horas de registro se presenta un patrón caracterizado por incrementos y decrementos atípicos de la conductividad natural del agua posiblemente causados por la presencia de un flujo del agua subterráneo extremadamente rápido, indicando clara intervención humana y una recarga muy vigorosa en el subsuelo. Y un segundo patrón en series de datos de 12 semanas de registro indica que el incremento de la actividad sísmica tiene una correspondencia lineal con el decremento en la conductividad natural del agua, evento al parecer relacionado con procesos internos que se desarrollan en las capas geológicas más profundas del área.



UAEMex



SYNOPSIS

Within the framework of natural precursor events that occur before and after the presence of seismic events with ability to affect housing and civil infrastructure, the results of three years of research are presented; this work was carried out with the assumption that atypical chemical changes occur in shallow water near the epicenters during the time that a major earthquake is brewing, changes caused by the presence in the vicinity of an electrical flow that ionize the local atmosphere and interact with groundwater and surface water bodies neighbors in ionic form, particularly with their compounds and chemical elements, changing the chemical properties of water. With this approach and emphasized the natural water conductivity, the results of study of four wellsprings, a cistern and two artesian wells are showed, water bodies located to the south of Morelos state and the seismic region of Mexico located between the states of Guerrero and Oaxaca; as a result of the research work two articles have been published in refereed journals with international recognition. The most outstanding results reveal that the tendency of the conductivity on sites with high frequency seismic shows atypical variations in records possibly relates to an intense internal flow of water whose causes can be anthropogenic or slight ground movements caused by intense and frequent local seismic activity; equally by the possible presence of electromagnetic flux that interact with ions dissolved in water or with the electronic components of the equipment used to



UAEMex



monitor natural water conductivity. The analysis of monitoring data in two artesian wells located in the coastal border of Mexico seismic are presented too, the results show two patterns of behavior; in series recording of 24 hours a pattern characterized by increments and decrements atypical natural water conductivity possibly caused by the presence of underground water flow extremely fast is showed, indicating a very strong groundwater recharge and human intervention occurred. And a second pattern in sets of 12-week record indicates that increased seismic activity has a linear correspondence with the decrease in natural water conductivity, event apparently related to internal processes developed in the deeper geologic layers of the area.



UAEMex



Estructura de la tesis

El propósito de esta tesis tiene como primer argumento la divulgación y libre expresión de las ideas sobre un tema desconocido en el ambiente de la academia, ya que aborda indirectamente el estudio de la energía natural que emana de las capas internas de la Tierra y sus efectos en el ambiente externo. La tesis consta de seis capítulos principales y un anexo, y a lo largo de la lectura del documento se irán abordando contenidos que dan ejemplos de los efectos que dicha energía presenta en el ambiente. En este contexto en el Capítulo 1, **Introducción**, se abordan a los terremotos, cómo se expresan en el ambiente y consecuencias de la liberación de su energía en el medio acuático y la biocenosis; en cuanto a la justificación de la investigación, se enfatiza la existencia en el ambiente de energía y eventos precursoros relacionados a ésta, que advierten la presencia de un terremoto, pero que la sociedad actual tecnológicamente hablando, sigue siendo insensible para entenderlos; así como el enfoque, sustento y forma de abordar el problema, estudio que no tiene antecedentes en México, particularmente desde la perspectiva empleada en la investigación; se incluye la premisa de que existe una energía natural en el ambiente que se puede valorar indirectamente con el estudio de la conductividad natural del agua y los resultados obtenidos pueden dar la pauta para un monitoreo más sistemático de la energía que se manifiesta en el ambiente previa a un sismo y de esa forma, prevenirlos. En lo que corresponde al Capítulo 2, **Antecedentes**, se abordan las etapas físicas y mecánicas por la que transita un terremoto, así como los detalles de los principales eventos precursoros al evento telúrico, entre las que se involucran el abultamientos del terreno local, presencia de gases radioactivos en el ambiente, formación de niebla y nubes cerca de las fallas, presencia de luces en el relieve circundante al epicentro, anomalías en los campos magnéticos locales, anomalías termales, así como efectos en el comportamiento animal y humano. En el Capítulo 3, **Marco Teórico Conceptual**, se da atención a la definición de los conceptos y supuestos que se utilizan y aplican durante la investigación, todo esto en el ámbito de los eventos precursoros a los sismos, la energía natural circundante a estos y su estudio basado en la conductividad natural del agua. En el Capítulo 4, **Materiales y Método**, se detalla la



UAEMex



estrategia metodológica aplicada en la investigación y el equipo especializado que se empleó; complementa al capítulo, la descripción de los sitios que se eligieron para llevar a cabo la investigación, lugares ubicados desde áreas moderadamente sísmicas hasta áreas con alta sismicidad. En el Capítulo 5, **Resultados y Discusión**, fundamentalmente se dan los detalles de dos artículos donde se publicaron los sucesos que se presentaron durante la investigación; los detalles de las revistas y proceso de publicación. En cuanto a la discusión se detallan las etapas del proyecto, ajustes realizados a los procesos, así como las ventajas del monitoreo en áreas con moderada a alta sismicidad; se complementa con los aportes que la investigación realizada provee al escenario de los eventos precursoros a los sismos, entre los que destacan la codependencia que existe entre los datos obtenidos y la manifestación de los sismos; las variaciones atípicas de los datos obtenidos y las influencias externas de escala más regional; finalmente un diagrama de flujo, del modelo metodológico que describe y organiza los procesos o secuencia de actividades realizadas durante la investigación. En Capítulo 6, **Conclusiones**, se puntualizan cinco aspectos sobresalientes de la investigación, **a)** los marcados niveles atípicos de variación de los datos y su correspondencia con la cercanía a la franja costera más sísmica del país ubicada entre los estados de Guerrero y Oaxaca; **b)** las ventajas del monitoreo en un área altamente sísmica; **c)** la correspondencia que tiene el comportamiento de los datos, la influencia humana y recargas de agua en el subsuelo; **d)** la relación que tiene el comportamiento de los datos obtenidos y la manifestación o ausencia de actividad sísmica. Y finalmente, **e)** la estrecha relación que tienen los datos con las escalas de tiempo; de acuerdo con lo observado, el comportamiento de los datos es diferente cuando se obtiene información por periodos horarios, semanales, mensuales o anuales; su elección proporciona evidencias del tipo de influencia que opera entre ellos, en ocasiones de escala regional. En complemento se incluye un **Anexo** con imágenes de los sitios de monitoreo y equipo de muestreo utilizado.



UAEMex



CONTENIDO

<i>Dedicatoria</i>	II
<i>Agradecimientos</i>	III
REGISTRO DEL PROYECTO	IV
CAMPO TEMÁTICO DEL PROYECTO.....	V
RESUMEN.....	VI
SYNOPSIS	VIII
Estructura de la tesis	X
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN	3
1.1. Introducción.....	4
1.2. Justificación	5
1.3. Hipótesis.....	7
1.4. Objetivo General.....	7
1.4.1. <i>Objetivos específicos</i>	7
Capítulo 2. ANTECEDENTES.....	9
2.1. Antecedentes.....	10
2.1.1. Fenómenos precursores a los sismos.....	10
2.1.1.1. Deformaciones o abultamientos en la corteza terrestre local.....	11
2.1.1.2. Presencia y contenido de Radón.....	11
2.1.1.3. Formación de niebla y nubes	12
2.1.1.4. Luces en las crestas y cimas de las montañas.....	14
2.1.1.5. Anomalías en los campos magnéticos locales.....	14
2.1.1.6. Anomalías termales en la superficie terrestre local.....	15
2.1.1.7. Cambios del comportamiento animal y humano	15
2.1.1.8. Posible origen de los eventos asociados a un sismo.....	18
Capítulo 3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	21
3.1. Marco teórico conceptual.....	22
3.1.1. Los sismos y los eventos precursores.....	22
3.1.2. La expresión de los eventos precursores.....	23
3.1.3. La presencia de energía en el ambiente próximo los sismos.....	25
3.1.4. La conductividad eléctrica del agua.....	26
Capítulo 4. MATERIALES Y MÉTODO.....	29
4.1. Materiales y Método	30
4.1.1. Sitios de Muestreo.....	31
Capítulo 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
5.1. Resultados	34



5.1.1. Artículo de investigación I, aceptado y publicado..... 36

5.1.2. Artículo de investigación II, aceptado y publicado. 56

5.1.3. Información no publicada..... 90

5.1.3.1. Calidad del agua de los sitio de estudio 90

5.1.3.1.1. *Calidad del agua del sitio “LA SOLEDAD”*..... 90

5.1.3.1.2. *Calidad del agua del sitio “LAGUNA 1”*..... 91

5.1.3.1.3. *Calidad del agua del sitio “LAGUNA 2”*..... 92

5.1.3.1.4. *Calidad del agua del sitio “RÍO CORTIJOS”*..... 93

5.1.3.1.5. *Calidad del agua del sitio “PAPALUTLA”*..... 94

5.1.3.1.6. *Calidad del agua del sitio “TEOIXTLA”*..... 95

5.1.3.1.7. *Calidad del agua del sitio “EL BORBOLLÓN”*..... 96

5.1.3.2. Primeras evidencias de variaciones atípicas de la química del agua. 98

5.2. Discusión General..... 102

5.2.1. Etapa inicial del proyecto. 102

5.2.2. Ajustes a los procesos. 104

5.2.3. Los primeros avances significativos 105

5.2.4. Procesamiento e integración de los resultados..... 108

5.2.4.1. Divulgación de resultados 108

5.2.5. El monitoreo en sitios con alta sismicidad 110

5.2.5.1. Divulgación de los nuevos resultados. 110

5.2.6. Aportaciones importantes del trabajo de investigación 112

5.2.6.1. Codependencia de los datos y la actividad sísmica. 112

5.2.6.2. Variaciones atípicas de los datos e influencias externas..... 113

5.2.6.3. Modelo metodológico..... 114

Capítulo 6. CONCLUSIONES..... 115

6.1. Conclusiones..... 116

6.2. Recomendaciones. 119

BIBLIOGRAFÍA..... 121

ANEXO 133

Figuras

Figura 1. Área de Estudio..... 32

Figura 2. Comportamiento de los registros de calidad del agua durante el día de monitoreo..... 99

Figura 3. Comportamiento de los registros de calidad del agua durante el día de monitoreo. Cont. 100

Figura 4. Primeras evidencias de variaciones atípicas de la química del agua..... 101

Figura 5. Actividad sísmica registrada durante el día seis de junio del 2014 en el estado de Guerrero 101

Figura 6. Ubicación de sitio de monitoreo “Papalutla” con referencia a los eventos sísmicos 102

Figura 7. Equipo utilizado: analizador multiparamétrico..... 103

Figura 8. Sitios de muestreo. 106



UAEMex



Capítulo 1.

INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN



1.1. Introducción

Las ondas sísmicas son las más dramática e intensamente estudiadas en la manifestación de un terremoto, empero poco se conoce de otros fenómenos que preceden a este evento a pesar de que se tiene información que abarca periodos hasta de miles de años. Más aún se da mínimo crédito a la correlación entre los orígenes de los fenómenos previos con fenómenos físicos de origen geológico que se difunden en el ámbito terrestre y acuático, lo cual ha sido un tema confuso y controversial por años, siendo inclusive, considerado como supersticiones en el ambiente científico (Cicerone *et al.*, 2009). En este contexto, el propósito de este trabajo aborda un tema inexplorado en México, caracterizando las condiciones químicas de cuerpos de agua circundantes a regiones con alta sismicidad con el propósito de identificar posibles variaciones previas a un evento telúrico; de acuerdo con la literatura, el medio acuático es uno de los principales componentes del ambiente que inmediatamente manifiesta cambios por procesos de óxido-reducción promovidos por la presencia de iones cargados positivamente (radicales libres), (Grant y Halliday, 2010; Grant *et al.*, 2011; Dologlou, 2010), estos portadores de energía originalmente provienen de áreas donde se está gestando un sismo importante con potencial de generación de energía suficiente para dañar viviendas e infraestructura civil (magnitud >4.5); durante el periodo previo al evento, estas partículas son activadas de los silicatos contenidos en la roca estresada (epicentro) y liberan una carga eléctrica, reacción que se dispersa en las inmediaciones hacia rocas menos estresadas por kilómetros o decenas de kilómetros a la redonda, constituyendo un verdadero flujo eléctrico con capacidad de ionizar la atmósfera local e interactuar con agua del subsuelo y cuerpos de agua superficiales vecinos, cambiando sus propiedades químicas (Freund, 2003; Freund, 2007a; Freund, 2007b). Los iones inician una reacción química en el medio acuático, dando como resultado la oxidación de la molécula de agua y formación de radicales ($\bullet\text{OH}$ solution + $\bullet\text{OH}$ solution) que se combinan para formar H_2O_2 (solution), este último considerado un agente altamente reactivo (Grant *et al.*, 2011); otros cambios asociados son la caída del pH, conductividad eléctrica e incremento en la concentración de bióxido de carbono (CO_2) que



aunque en bajas concentraciones, son suficientes para afectar y cambiar las condiciones locales, iniciándose una reacción temporal a nivel de componentes orgánicos e inorgánicos.

El comportamiento químico de los portadores de carga eléctrica (h^*) en forma de flujo eléctrico, liberados de áreas con alta incidencia sísmica por estrés en la roca por movimientos tectónicos, tiene repercusiones importantes en la interface agua-tierra por las transformaciones que promueve en las moléculas con las cuales entra en contacto (acidificación y diferencias de potencial eléctrico), además por las consecuencias negativas que tiene en los organismos vivos (estrés oxidativo y citotoxicidad). La presencia de dicho flujo eléctrico puede ser constatado indirectamente en cuerpos de agua circundantes a epicentros donde se está gestando un sismo importante, mediante la valoración del comportamiento de los parámetros asociados a la química del agua de éstos (pH, materia orgánica, O_2 , CO_2 , H_2O_2 , conductividad eléctrica, iones de K^+ , Na^+ , Cl^- , Ca^{2+}), cuyas características teóricamente asumirían una tendencia anormal en el medio acuático durante el tiempo previo a un sismo.

1.2. Justificación

De acuerdo con los expertos los sismos son impredecibles pero aseguran que se pueden prevenir los daños con construcciones más seguras y sistemas de alerta tempranas. Sin embargo, lo cierto es que existen eventos precursoros que advierten la manifestación cercana de un sismo (Asada *et al.*, 2001; Fielding *et al.*, 2009; Freund, 2003; Grant y Halliday, 2010; Grant *et al.*, 2011; Heraud y Lira, 2011), eventos que ahí están pero que la sociedad actual tecnológicamente hablando, sigue siendo insensible para entenderlos. Toda vez que estos mensajes puedan ser traducidos mediante mecanismos técnicos más eficientes, los sismos podrán ser identificados y caracterizados con suficiente tiempo para evitar futuros desastres en la población humana.



UAEMex



Con base en los argumentos mencionado en los párrafos anteriores, se eligió el muestreo de parámetros relacionados a las condiciones físicas y químicas del agua en ambientes lentos circundantes a los epicentros como una opción alternativa de estudio, bajo el supuesto que están presentes en el ambiente partículas portadoras de energía (plasma o flujo eléctrico) provenientes de estos sitios, que interactúan y modifican a los componentes del sistema acuático, llegando a ser por tanto un evento precursor a un movimiento telúrico importante ($>M4.5$). Este campo de investigación está desierto para México ya que las únicas referencias al respecto a nivel internacional se relacionan con lo reportado por [Grant y Halliday \(2010\)](#) y [Grant *et al.* \(2011\)](#), donde se abordan las variaciones en la química de aguas subterráneas y comportamiento animal (anfibios); en términos hidro-geoquímicos [Biagi *et al.* \(2001\)](#), reporta el estudio de anomalías químicas y la actividad sísmica importante (Magnitudes de 6.9 a 7.1 grados), cuyas conclusiones cuestionan a dichas anomalías como eventos previos a los sismos, empero es importante mencionar que los sitios a donde se realizaron las mediciones de los iones estaban muy alejados de los sitios donde se presentó la actividad telúrica, los epicentros estaba al menos a 80 km mar adentro, situación que modifica el efecto que tiene la energía liberada por el sismo al haber barreras importantes como la masa continental y marítima.

Con la corroboración de las variaciones atípicas en la química del agua previas a un sismo, sería factible considerar a futuro el monitoreo sistemático por entidades gubernamentales de dichos ambientes, tomando en cuenta alguno o algunos de los parámetros mencionados en este trabajo de investigación como indicadores orientados a la prevención y detección temprana de sismos importantes.



1.3. Hipótesis

La química del agua en cuerpos de agua superficiales cercanos a los epicentros presenta anomalías temporales en su composición durante el tiempo que se gesta un sismo importante ($>M5$).

Su valoración y monitoreo bajo estas condiciones, puede ser un buen indicador de alerta temprana de los sismos.

1.4. Objetivo General

- Identificar y comparar el comportamiento en el tiempo de la química del agua de medios acuáticos cercanos a áreas con alta actividad sísmica, mediante el análisis de sus parámetros (pH, materia orgánica, O_2 , CO_2 , H_2O_2 , conductividad eléctrica e iones de K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^-).

1.4.1. *Objetivos específicos*

- Realizar muestreos sistemáticos de la química del agua con énfasis en la conductividad del agua, preferentemente en cuerpos de agua lenticos (estanques y bordos) y alternativamente manantiales en áreas sísmicas, cuya frecuencia e intensidad estará determinada de acuerdo al comportamiento de los datos obtenidos.
- A partir de las muestras obtenidas realizar directamente en campo el análisis de los potenciales parámetros de conductividad eléctrica y temperatura ($^{\circ}C$).



UAEMex



- Realizar a los datos obtenidos, pruebas estadísticas para determinar las diferencias significativas entre éstos, así como un análisis estadístico de correlación para determinar la correspondencia de estos valores con eventos sísmicos posteriores.



UAEMex



Capítulo 2.

ANTECEDENTES



2.1. Antecedentes.

La manifestación de los sismos, particularmente aquellos con liberación suficiente de energía para dañar viviendas e infraestructura civil ($> M4.5$), pasan por cinco etapas (Nava, 2011): en la primera ocurre una deformación elástica de la roca y las partículas de ésta se comprimen en conjunto. En la segunda se presenta el aumento y aparición de las fracturas de la roca, es característico entonces el aumento de volumen por la formación de fisuras y el agua dentro de los poros de la roca es forzada a salir, estas deformaciones pueden apreciarse en ocasiones en la superficie por elevación e inclinación del terreno. En la tercera se presenta la entrada de agua y la deformación inestable en la zona de falla, corresponde al agua que fue forzada a salir de los poros de la roca, deteniendo la expansión de las grietas, esta agua proporciona lubricación para la eventual liberación de la tensión acumulada. En la cuarta se manifiesta la ruptura de la falla ya que la roca no resiste la tensión y se presenta el sismo, con la subsecuente liberación de calor y presencia de ondas sísmicas características del evento. En la quinta etapa cae repentinamente la tensión y se presentan las réplicas, la energía que provocó la deformación es liberada. La energía de deformación remanente es liberada paulatinamente por las réplicas hasta que se recuperan las condiciones de equilibrio.

2.1.1. Fenómenos precursores a los sismos.

Según Lomnitz (1990), en la literatura se han mencionado una increíble variedad de posibles fenómenos precursores a los sismos, desde anomalías magnéticas hasta cambios en el comportamiento de animales, pasando por fluctuaciones en los patrones de ocurrencia de sismos pequeños dentro y fuera de la región.

Los fenómenos que preceden a los grandes sismos y su posible origen, se resumen en los siguientes puntos (Asada *et al.*, 2001; Kirschvink, 2000; Freund, 2003; Freund *et al.*, 2006; Cicerone *et al.*, 2009; Dologlou 2010; Heraud y Lira 2011).



2.1.1.1. Deformaciones o abultamientos en la corteza terrestre local.

Los cambios en la superficie asociadas a un sismo han sido constatados por percepción remota (Fielding *et al.*, 2009; Yadav *et al.*, 2015), las deformaciones pueden ser de algunos metros antes del evento; posteriormente al episodio, la alteración remanente del terreno solo es de unos centímetros. Conjuntamente con estas deformaciones se han apreciado cambios locales en el magnetismo, en las propiedades eléctricas de la roca y velocidades sísmicas; otros fenómenos apreciables son cambios en la porosidad del subsuelo, en los niveles del agua, así como la liberación y presencia en la superficie de gases radioactivos como el Radón²²² (Thomas, 1988; Omori *et al.*, 2007), gas proveniente de la descomposición natural del Uranio presente en forma nativa en las rocas, el suelo y el agua (Plastino *et al.*, 2010).

2.1.1.2. Presencia y contenido de Radón.

El sismo de M6.3 que sacudió al poblado de L'Aquila (Italia) en 2009, convierte al caso del Radón en un claro ejemplo de la nula credibilidad del público en general, respecto a la predicción de sismos; a pesar de que la presencia del gas anticipaba el evento y de la presencia de varias evidencias físicas caracterizadas por una baja sismicidad, pero que dramáticamente aumentó en los días previos al evento mayor (Papadopoulos *et al.*, 2010; Plastino *et al.*, 2010). De acuerdo con información local e internacional, las consecuencias de esta omisión fueron 308 muertos, 1,500 heridos y unas 50,000 personas damnificadas por el sismo de 6.3 grados manifestado durante la madrugada del día 6 de abril del 2009 (Papadopoulos *et al.*, 2010). La omisión por las autoridades fue desvincular las emisiones detectadas de radón con el sismo que se aproximaba.



De acuerdo con [Cicerone *et al.* \(2009\)](#), se han llevado a cabo gran cantidad de estudios relacionados con el gas radón, aunque no ha sido el único ya que se ha estudiado el hidrogeno, helio, argón, metano, iones de cloro y mercurio, empero el radón destaca por su relativa facilidad para estudiarlo. De acuerdo con los estudios realizados este gas se manifiesta desde sismos con magnitudes de 1.5 a más intensos (M7), pero la mayoría de los estudios han sido con sismos de magnitud 4, demostrando que en el 83% de las observaciones, sus niveles aumentan antes que se manifieste el sismo; otro aspecto sobresaliente fue que su presencia se constató entre los 30 a los 200 días antes del evento, regularmente muy cerca de los epicentros y fallas tectónicas ([Ge *et al.*, 2014](#)).

2.1.1.3. Formación de niebla y nubes

La formación de niebla y nubes es un fenómeno que ha sido observado desde de la antigüedad por Chinos e Italianos como una manifestación previa a un gran sismo ($>M7$). En el ámbito científico inicialmente fue explicado como la presencia de agua en las grietas internas de la falla donde se presentaría el sismo; los procesos de fricción internos, en ocasiones con duración de años, generan calor que puede alcanzar los $1500\text{ T }^{\circ}\text{C}$, fenómeno que forma vapor de agua el cual finalmente alcanza la superficie local y las capas de la atmósfera próximas a ésta. Sin embargo, esta no parece ser la razón de su presencia, la formación de nubes aparentemente tiene relación con impulsos rápidos de energía provenientes del interior de la tierra, proceso que ha sido correlacionado con fenómenos luminosos ([Guo y Jie, 2013](#); [Guo y Wang, 2008](#); [Shou, 2007](#); [Santos *et al.*, 2012](#); [Heraud y Lira, 2011](#)).

De acuerdo con [Pulinets *et al.* \(2006\)](#), derivado de un estudio de las anomalías atmosféricas observadas durante el sismo de M7.8 ocurrido en Colima en 2003, el origen de las nubes tiene que ver con cuestiones naturales causadas por la radioactividad nativa de la tierra y provocada por la presencia de radón proveniente de las capas internas de la corteza,



la cual provoca que la atmósfera se ionice derivando en cambios de su conductividad, una situación importante es la formación de aerosoles en el aire; este proceso simultáneamente cambia la carga eléctrica de la atmósfera, la temperatura y la humedad relativa lo que trae consigo una gran cantidad de repercusiones en el escenario local (Koren *et al.*, 2012).

Conforme con Dunajecka y Pulinets (2005), los cambios en la electricidad de la atmósfera, la temperatura y la humedad relativa tienen una estrecha relación con la actividad previa que se desarrolla cercana a un sismo. De acuerdo con los análisis del sismo de Colima del 2003 (M7.8), estas anomalías tuvieron un origen local, lo que corrobora lo observado en otros sismos estudiados en otras partes del mundo (Pulinets *et al.*, 2006); en el caso del sismo de Colima tal información fue confirmada por percepción remota apreciándose que las anomalías se presentaban muy cercanas al epicentro. En Sharma *et al.* (2006), se menciona que existe una estrecha relación entre el flujo electromagnético asociado con la actividad de un sismo y la ionósfera local.

Otra explicación en cuanto al origen de las nubes es la de Freund (2003); Freund *et al.* (2006) y Freund (2007), quién menciona que los granos minerales en las fracturas de la roca generalmente están llenos de pequeñas cantidades de gas, específicamente átomos de oxígeno en estado débilmente ionizado. Los millones de átomos en cada pieza de silicato mineral con un electrón corto forman una unión de peróxido, cuando esta se rompe por cualquier razón da como resultado un par de huecos o “holes” donde están ausentes electrones. Estas partículas liberadas de las profundidades por estrés sísmico pueden salir como plasma, dando origen a un sinnúmero de fenómenos: luces, emisiones infrarrojas, ruido de radio, disturbios a gran escala en la atmósfera superior, además afectar el comportamiento animal y humano (Freund *et al.*, 2006; Bleier *et al.*, 2009; Shiro *et al.*, 2012). La forma molecular más conocida de este tipo de uniones es el peróxido de hidrogeno, sustancia que según la Agency for Toxic Substances and Disease Registry de los USA, no es inflamable pero si es un agente oxidante potente que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica. Lo anterior al parecer tiene una estrecha



relación con dos modelos mencionados por [Cicerone et al. \(2009\)](#), en el modelo de colapso de poro, establece que los intersticios de la roca colapsan debidos al estrés, dando como resultado la liberación de especies químicas al subsuelo originando anomalías geoquímicas. El segundo modelo refiere al aumento de la superficie reactiva, el cual establece que las micro-fracturas previas a un sismo tiende a liberar iones y concentraciones de gases al subsuelo mediante dos formas: la primera permite que el gas atrapado en los poros de la roca escape hacia la roca madre, la segundo da origen a nuevas superficies de silicato, tales minerales promueven el aumento en la tasa de reacción con el agua del subsuelo. Las micro-fracturas y la dilatación de la roca pueden incrementar la porosidad de la roca hasta en un 400% lo que amplía la interacción de iones en el agua del subsuelo.

2.1.1.4. Luces en las crestas y cimas de las montañas

Las luces que ocurren antes y después de los temblores han sido abordadas y discutidas con frecuencia ([Kirschvink, 2000](#)), se caracterizan por ser frías y quietas, coloreadas de blanco, azul o rojo, usualmente opacas pero algunas veces son más brillantes que la luz emitida por la luna ([Straser, 2009a](#); [Straser, 2009b](#); [Fidani, 2010](#)). Durante el sismo del 15 de agosto del 2007 al sur de Perú, testigos presenciales de origen extranjero apreciaron la manifestación de una gran luminosidad nunca antes vista en Lima, que se originaba a nivel de superficie y ascendía hacia las partes altas, la explicación que se dio fue asociada a los fuertes movimientos de las fallas locales lo que liberó gran cantidad de energía estática que fue descargada desde el suelo, empero tal aseveración fue considerada como mera especulación que merecía una investigación más precisa ([Heraud y Lira, 2011](#)).

2.1.1.5. Anomalías en los campos magnéticos locales.

Con respecto a los cambios electromagnéticos en [Asada et al. \(2001\)](#) se determina la presencia de tales procesos y su asociación a los temblores; en este estudio se reporta una



fuerte correlación temporal entre las señales electromagnéticas de baja frecuencia y el sitio donde se encuentra el posible epicentro, señales identificadas fueron corroboradas hasta con cuatro días de anticipación previos al temblor (Li *et al.*, 2015; Febriani *et al.*, 2014; Athanasiou *et al.*, 2015a).

2.1.1.6. Anomalías termales en la superficie terrestre local.

Con el advenimiento de la percepción termal remota, ha sido factible monitorear la emisión de calor en la superficie terrestre previo a un sismo, por tanto, la detección de anomalías termales en áreas circundantes a los sismos ha sido también posible con estas técnicas. En Saraf y Choudhury (2005); Arun K Saraf *et al.* (2008) y Arun K. Saraf *et al.* (2008) se monitorea tres eventos importantes, utilizando datos NOAA-AVHRR, en el intervalo termal infrarrojo: Gujarat, India (Mw 7.7), Boumerdes, Algeria (Mw 6.8) y Bam, Iran (Mw 6.6), respectivamente. El incremento de temperatura fluctuó entre 4 y 10 grados °C, estas anomalías desaparecieron después de los sismos.

Desde una perspectiva global física en el análisis de los eventos precursores a un sismo Cicerone *et al.* (2009) da una serie de conclusiones interesantes de cómo se manifiestan los eventos previos en tiempo y espacio. Con base en una exhaustiva revisión en la que el autor enfatiza la dependencia de cada evento precursor a los grandes sismos, menciona que las anomalías de mayor amplitud (emisiones electromagnéticas) ocurren antes de que se presenten los sismos más grandes ($< M7$) y con un mes de anticipación en promedio, pero conforme se acerca el evento, se desencadena una mayor variedad de eventos precursores.

2.1.1.7. Cambios del comportamiento animal y humano

Un tema ampliamente documentado ha sido también el cambio en la conducta de los animales en respuesta a un sismo (Liso y Fidani, 2014; Yamauchi *et al.*, 2014; Hayakawa,



2013; Freund y Stolz, 2013). Como medio de supervivencia los animales responden a cuatro procesos físicos relacionados con los sismos: a los abultamientos de la superficie terrestre, cambios en la humedad atmosférica, a flujos eléctricos y a variaciones a los campos magnéticos (Kirschvink, 2000).

Al respecto Grant y Halliday (2010) y Grant *et al.* (2011), de acuerdo con sus observaciones, detalla la respuesta que los anfibios presentaron durante el sismo de 6.3 grados en L'Aquila, Italia central (2009). Observaron que el proceso de reproducción disminuyó cinco días antes del sismo y tres días antes del evento el número de pares reproductores intempestivamente habían desaparecido del área. Las causas precisas de este cambio en el comportamiento aún son inciertas, pero existe el reporte que en el área del sismo se presentaron cambios en la ionósfera local (Walker *et al.*, 2013). Según Dologlou (2010), los cambios en la conducta de los anfibios y otros vertebrados acuáticos se debe a un trastorno entre los iones K^+ , Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} que están presentes tanto al interior como al exterior de la membrana celular, la presencia de un campo eléctrico externo provoca una oscilación o vibración de estos iones que a nivel de membrana se manifiesta como una fuerte presión en términos de carga eléctrica.

Otros ejemplos son la suspensión de sus estados de hibernación; abandono de los nidos por parte de las aves y roedores; y la invasión de viviendas por insectos y arácnidos. En las granjas, las aves dejan de poner y empollar sus huevos (Buskirk *et al.*, 1981). El ganado y los caballos no quieren volver a corrales ni establos, ni ser atados ni encerrados, corren nerviosos en los corrales y tratan de alejarse a zonas abiertas, donde permanecen en grupos mostrándose alterados. En zoológicos y lugares donde permanecen encerrados, buscan escapar de sus jaulas o tratan de esconderse evitando el exterior (Hayakawa, 2013; Yamauchi *et al.*, 2014; Cicerone *et al.*, 2009).

En ocasiones los animales domésticos quieren huir de sus sitios de confinamiento en busca de territorios aislados (aves y gatos); el comportamiento de los caninos domésticos es



agresivo y presentan mayor apego a sus dueños y frecuentemente aullan y ladran incesantemente; se ha documentado que previo a un sismo el número de mascotas extraviadas aumenta, otras evidencias son el encallamiento de ballenas y delfines; el abandono de sitios de apareamiento y anidación por parte de los flamencos (Hayakawa, 2013; Yamauchi *et al.*, 2014; Cicerone *et al.*, 2009).

Un suceso sobresaliente fue durante el terrible terremoto de 9.0 grados en la escala de Richter que sacudió Sumatra el 26 de diciembre de 2004 y su posterior y mortífero tsunami; fue notorio como los elefantes huyeron a las partes altas con todo y turistas a cuestas, y lo más sorprendente fue que algunos paquidermos segundos previos a la tragedia ayudaban a rescatar más personas de las que ya tenían en sus lomos, para posteriormente alejarse hacia las colinas más altas. Fue indudable que después del Tsunami, el mar devolvió cientos de cadáveres de personas, pero no se observaron ningún elefante, felino o cualquier otro animal salvaje, fueron vistos sólo animales domésticos como gatos y perros muertos; la explicación que se dio fue que “los animales salvajes pudieron sentir el desastre”, poniéndose a salvo con tiempo suficiente; se sabe que los elefantes poseen capacidades sensoriales especiales para detectar frecuencias extremadamente bajas, ELF, como aquellas que se generan con los sismos (Garstang, 2009)

Con apoyo en los nuevos avances de la tecnología, la respuesta a los fenómenos naturales particularmente de los mamíferos, se ha justificado debido a su capacidad para escuchar infrasonidos, oler gases y percibir los cambios eléctricos del aire; por ejemplo, durante el desarrollo de sismos de baja intensidad, se presentan sonidos con frecuencias de 2 a 20 hertzios por la vibración de las capas tectónicas, ondas imperceptibles por el oído humano (Kirschvink, 2000; Hayakawa, 2013).

Experimentalmente se han realizado pruebas para determinar la respuesta de los ratones a pulsos electromagnéticos inducidos de baja frecuencia, muy similares a aquellos que se han registrado previos a un sismo; los resultados mostraron cambios extraños en su



comportamiento y alteraciones del reloj interno (trastornos en el sueño), (*Li et al., 2009*; *Yanai et al., 2012*).

Para el caso del ser humano es frecuente la incomodidad en los oídos o malestar generalizado en todo el cuerpo: irritabilidad, mareo, insomnio, dolor en los oídos, jaquecas; algunos eventos asociados han sido documentados basados en la experiencia relatada de algunas personas, estos malestares en algunos sitios son asociados con el denominado mal de Taos (*Deming, 2004*).

Posterior a la manifestación de un sismo también se han constatado las consecuencias que estos eventos han tenido en la población; El caso documentado más reciente es el siniestro ocurrido en abril de 2009 en la población de L'Aquila en la región de Abruzzo (Italia), derivado de las secuelas del evento la población local sufrió trastornos psicológicos importantes, pero la capacidad de sobreponerse con los años ha sido relevante (resiliencia). Sin embargo, ha sido necesario continuar el monitoreo de las alteraciones y la identificación de los síntomas de angustia psicológica ha sido útil para orientar los esfuerzos de salud pública (*Stratta et al., 2012*).

2.1.1.8. Posible origen de los eventos asociados a un sismo.

En *Freund (2003)*; *Freund et al. (2006)*; *Freund (2007)*; *Grant y Halliday (2010)* y *Grant et al. (2011)*, se menciona que la mayoría de los eventos previos a un sismo tienen un origen físico. Lo relacionan con las fuerzas que se generan en la roca dentro de las fallas tectónicas al momento de manifestarse su desplazamiento.

Estos movimientos ocasionan estrés en la roca, específicamente en los minerales que la constituyen cambiando su estado energético al activar portadores de carga eléctrica que



interactúan con las moléculas que forman uniones de peróxidos; al romperse estas uniones se origina un proceso de óxido-reducción al comportarse químicamente como radicales, estas partículas permanecen en el ambiente junto con electrones libres que tienen la capacidad de fluir en la roca estresada y dispersarse en las inmediaciones de rocas menos estresadas por kilómetros o decenas de kilómetros a la redonda, constituyendo una verdadera carga eléctrica con capacidad de ionizar la atmósfera e interactuar con cuerpos de agua, cambiando sus propiedades químicas y como consecuencia alterando a la flora y la fauna circundantes, siendo esta última, la que manifiesta un comportamiento inmediato como respuesta al fenómeno, desplazándose a lugares alejados de sus hábitats.

Los portadores de carga eléctrica (h^*) entran en la capa de agua y dentro de los cuerpos de agua de la región, dando origen a las siguientes reacciones químicas [O^- -surface + H_2O solution $\rightarrow OH^-$ -surface + $\bullet OH$ solution + $\bullet OH$ solution $\rightarrow H_2O_2$ (solution)]. Como se aprecia en la reacción química, el portador de carga h^* (O^-) oxida al H_2O y forma radicales hidroxilo, originando H_2O_2 , una molécula con capacidad altamente oxidante y reductora, su presencia oxida la materia orgánica disuelta en el líquido, acidificándola; bajo condiciones normales las células de los organismos producen una gran cantidad de enzimas y antioxidantes como una defensa al estrés oxidativo, balanceando los procesos de oxidación y reducción. Sin embargo, toda vez que el balance se altera, el estrés oxidativo puede llevar a la muerte celular y necrosis de los tejidos de los organismos acuáticos (Grant *et al.*, 2011).

Según Grant y Halliday (2010) y Grant *et al.* (2011), otro fenómeno asociado es la caída en el pH, el cual deteriora las células y al animal en su totalidad, reduciendo la síntesis proteínica lo cual afecta negativamente el crecimiento y la reproducción. Algunos de los productos de la oxidación de la materia orgánica disuelta son neurotoxinas y además monóxido de carbono, causando la muerte por la unión preferente de hemoglobina en lugar de oxígeno, formando carboxihemoglobina, así que el oxígeno no puede ser liberado a los tejidos y órganos del cuerpo. Asimismo, altas concentraciones de cationes pueden afectar el agua y el balance de sodio en los animales.



UAEMex



Grant *et al.* (2011) menciona que los anfibios son particularmente sensibles a los cambios en la química del agua ya que poseen una piel permeable a los electrolitos. Si se produce CO₂ por oxidación de la materia orgánica en el suelo y en la columna de agua, aún en bajas concentraciones, se puede presentar un deterioro neuropsicológico en los organismos.

Las anomalías que se presenta en el medio acuático por cambios en su física y química por la presencia de los portadores de carga eléctrica generados durante el estrés de las rocas en áreas donde se está gestando un sismo ($>Mw4.5$), es un tema inexplorado para México, el cual se aborda en este documento como una forma de aportar información que contribuya a entender aún más los fenómenos que preceden a un sismo y tomar las medidas adecuadas para prevenir sus efectos (Biagi *et al.*, 2001; Asada *et al.*, 2001; Freund, 2003; Freund *et al.*, 2006; Grant y Halliday, 2010; Grant *et al.*, 2011).



UAEMex



Capítulo 3.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL



3.1. Marco teórico conceptual

La investigación realizada se relaciona con los sismos pero en el ámbito de su prevención, considerando las consecuencias catastróficas que estos fenómenos tienen, en particular en las poblaciones humanas. Ejemplos de estos eventos sísmicos existen a lo largo de la historia no solo nacional sino también internacional, en este sentido están las experiencias relativamente recientes de la provincia de L'Aquila (308 muertos) y las provincias de Rieti, Ascoli Piceno y Perugia (294 muertos), en Italia central, con la presencia sismos de magnitud 6.3 grados manifestado el día 6 de abril del 2009 y el 24 de agosto del 2016 (Papadopoulos *et al.*, 2010); la de China con el terremoto del 12 de mayo de 2008 que sacudió al condado de Wenchuan (67227 muertos), en la provincia de Sichuan, el cual tuvo una magnitud de 8.0 grados (Jin *et al.*, 2013); otro ejemplo fue el caso de México con el sismo de 8.1 grados, ocurrido el 19 de septiembre de 1985 que dejó 3000 a 20000 pérdidas humanas.

3.1.1. Los sismos y los eventos precursoros

Correspondiente a los sismos existen una serie de eventos previos que desde épocas antiguas han sido estudiados pero muchas veces han derivado erróneamente en la ridiculización dentro del ambiente científico, dichos eventos se manifiestan a nivel de las capas internas de la corteza y superficie terrestre, además de la atmósfera, teniendo repercusiones en el comportamiento animal. Estos sucesos derivan de la presencia de partículas cargadas de energía (transportadores) provenientes del área donde se está gestando un sismo (Freund, 2003; Freund, 2007a; Freund, 2007b), algunos ejemplos de sus secuelas son: las variaciones en los niveles del agua tanto en volumen como en su química; otros son cambios atmosféricos, con formaciones de nubes y luminosidades, por mencionar solo algunos ejemplos (Asada *et al.*, 2001; Shou, 2007; Santos *et al.*, 2012; Shiro *et al.*, 2012).



En términos de comportamiento animal la interacción tiene un amplio espectro, en animales domésticos se presentan tendencias a huir, agresividad o mayor apego a los dueños (Cicerone *et al.*, 2009; Yanai *et al.*, 2012; Fidani, 2010). Abandono de la costa o encallamiento en el caso de los cetáceos; alejarse de sitios de apareamiento y anidación en especies terrestres; o a huir a sitios de mayor elevación en otras tantas especies (Yamauchi *et al.*, 2014). Muchas de estas respuestas se han explicado debido a las capacidades que los animales han desarrollado a lo largo de millones de años de evolución y adaptación, ya que el movimiento de las placas es un fenómeno que existe hace millones de años, incluso antes de que existieran especies vivas en la superficie de la tierra, particularmente los vertebrados, por lo tanto es de esperarse que las especies animales y vegetales a lo largo del proceso evolutivo, hayan recibido infinidad de estímulos, dando como resultado diversas adaptaciones genéticas, más aún cuando implicaban la supervivencia de las especies (Garstang, 2009; Freund y Stolc, 2013). El ser humano no ha permanecido ajeno a estos cambios y se puede manifestar en malestar generalizado en todo el cuerpo lo que involucra aspectos físicos y emocionales, pero que erróneamente, muchas veces asocia a otros fenómenos (Stratta *et al.*, 2012; Yamauchi *et al.*, 2014).

3.1.2. La expresión de los eventos precursores

A lo largo de decenas de años varios investigadores han querido dar respuesta por separado a los denominados "eventos previos" asociados a los sismos, pero muchos de ellos han caído en la desacreditación. Las posibles respuestas que a últimas fechas han tomado más fuerza como elementos disparadores de toda esta serie de manifestaciones se relaciona con las fuerzas que se generan al interior de la corteza terrestre, en particular en las áreas donde se está gestando un sismo importante. En esencia ha sido asociada a un proceso de ionización proveniente de partículas cargadas energéticamente activadas al momento de producirse los movimientos tectónicos, las cuales viajan de las capas interiores a las capas exteriores de la litosfera. Una primera opción de sus orígenes pueden deberse a la presencia



de Radón²²², producto del decaimiento de las series de uranio; de acuerdo con Vishal *et al.*, 2011 y Singh *et al.*, 2010, dicho gas tiene una vida media de unos cuatro días periodo que le confiere una pobre movilidad, por tanto su fuente emisora se ubica a una corta distancia por debajo de los instrumentos que se han utilizado para su medición.

Otra respuesta factible está relacionada con los silicatos, minerales cuya abundancia en al ámbito planetario solo es comparable con la del agua. Muchos de los "eventos previos o precursores a los sismos" los relacionan con lo que ocurre al momento que la roca se fractura (estrés) por movimientos de la corteza terrestre (Freund, 2003; Freund, 2007a; Freund, 2007b); durante este proceso se presenta la liberación y flujo de partículas cargadas las cuales utilizan como medio de transporte a las capas de roca contiguas no estresadas, formando un verdadera flujo eléctrico que circula rápidamente varios kilómetros a la redonda. Se teoriza que la cantidad de partículas es tal que forma a nivel de superficie un plasma con capacidades de ionizar la atmósfera y cuerpos de agua que se encuentre en su camino (Freund, 2003; Freund, 2007a; Freund, 2007b).

Aunque varias de las conclusiones han sido teóricas derivadas de comprobaciones y simulaciones de laboratorio ante la imposibilidad de presenciar el fenómeno dentro de las capas interiores de la corteza (Freund *et al.*, 2006), los resultados han dado algunas posibles respuestas a muchos investigadores sobre el origen de los "eventos" que preceden a un sismo (Freund, 2007a; Freund, 2007b). Por ejemplo, las emisiones electromagnéticas de baja frecuencia; cambios en la conductividad del aire y capacidad de la roca de conducir electricidad (Asada *et al.*, 2001; Bleier *et al.*, 2009; Shiro *et al.*, 2012; Scoville *et al.*, 2015). Otros ejemplos son los cambios en la química del agua en ambientes subterráneos y cambios en la conducta animal (Grant y Halliday, 2010; Dologlou, 2010; Grant *et al.*, 2011; Liso y Fidani, 2014).



Las variaciones en la composición del agua en respuesta a un sismo (antes y después), teóricamente son tan fuertes que puede interferir en el comportamiento de los organismos afectados, un ejemplo de la respuesta a cambios en la química del agua es la de los anfibios durante el sismo del 6 de abril en L'aquila, región centro de Italia. Conforme a la literatura, la supervivencia de los individuos fue más fuerte que la etapa de apareamiento; los sapos en este caso, "dieron más prioridad" a la supervivencia de los organismos que a "reproducirse" (Grant y Halliday, 2010; Dologlou, 2010; Grant *et al.*, 2011).

3.1.3. La presencia de energía en el ambiente próximo los sismos.

Con base en las evidencias anteriores y partiendo del supuesto que los sismos importantes desencadenan por cortos periodos de tiempo toda esta serie de eventos a nivel de superficie terrestre por la presencia de una nube de electrones provenientes del posible epicentro, en este trabajo de investigación se evaluó y constató indirectamente la posible presencia del plasma (flujo eléctrico), monitoreando con énfasis en la conductividad natural, la química del agua en cuerpos de agua cercanos al probable sismo, fundamentalmente ambientes lénticos (bordos y pequeños estanques) o afloramientos de agua como los manantiales. Conceptualmente la química del agua se consideró en un sentido amplio en términos de su estudio como materia y los cambios que experimenta (Chang, 2002).

La presencia de iones en la atmósfera y sustrato al interactuar con el medio acuático, desencadenan una reacción química generando agentes oxidantes, lo cual conlleva variaciones adversas de la conductividad eléctrica, del pH y en las concentración de bióxido de carbono, para los organismos, reacciones principales se dan en el ámbito de los componentes inorgánicos y orgánicos (Freund, 2003; Freund, 2007a; Freund, 2007b).



Con base en las consideraciones anteriores, la evaluación y monitoreo de parámetros químicos, pueden aportar indirectamente información valiosa de la gestación del sismo. Durante el desarrollo de la investigación se esperó que durante el monitoreo se presentaran uno o varios sismos con magnitudes mayores a 4.5 grados de magnitud, así como la presencia de cambios atípicos en la química del agua que antecederan al movimiento telúrico. De la información resultante se evaluó la relación entre estas dos posibilidades, las variaciones de los datos de la conductividad y su posible correspondencia con los sismos.

La comprobación del supuesto proveería la posibilidad de proponer a la autoridad competente el establecimiento formal de estaciones de monitoreo continuo con fines preventivos, ya que a diferencia de lo acontecido en Italia donde se ignoraron señales (*foreshock signals*) previas al sismo acontecido el 6 de abril en L'aquila ([Papadopoulos et al., 2010](#)), se dispondría de tiempo suficiente para tomar precauciones. Dichas estaciones trabajarían en forma complementaria con el sistema de alerta sísmica que la federación tiene instalada en las costas de Guerrero.

Ciertamente los datos obtenidos no darán certidumbre de la fecha y hora en que va a ocurrir el evento, pero si sería una forma de anticiparse a sus efectos negativos en áreas cercanas o lejanas al epicentro tal como ocurre en la prevención de eventos climatológicos y volcánicos, de esta forma se lograría avanzar en el entendimiento de lo que ocurre en derredor a los movimientos telúricos importante y dar la pauta para proyectos de investigación más detallados.

3.1.4. La conductividad eléctrica del agua.

La conductividad de una sustancia se define como: *la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido*. Las unidades de medición son Siemens por metro [S/m]



de acuerdo al Sistema de Internacional de medición (SI). La corriente eléctrica es el resultado del movimiento (flujo) de partículas cargadas eléctricamente (electrones) en respuesta a un campo eléctrico aplicado. Con este enfoque, el flujo de electrones es denominado conducción eléctrica, la cual depende en gran medida del número de electrones disponibles que participan en el proceso de conducción. En el agua la generación del movimiento de partículas o corriente eléctrica por el movimiento de electrones se denomina, “*Conducción Iónica*”, (Gali *et al.*, 2012; Mettler-Toledo, 2014).

La conductividad eléctrica (CE) en el agua es una medición indirecta de la presencia de Sólidos Totales Disueltos (STD), directamente relaciona la concentración de sales disueltas en la solución y refleja su capacidad para conducir corriente eléctrica. Por tanto, la conductividad eléctrica en el agua es realmente una medida de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente (Bhat, 2005).

Su determinación es con equipos portátiles, siendo rápida y económica, pero su medición está condicionada al voltaje aplicado; tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes; y de la viscosidad del medio. Estrictamente los equipos que determinan la conductividad no la miden directamente, la medición es mediante la resistividad (r , [$W*m$]), (Chapin, 2014).

En cuanto a la condición química del agua, las sales en ésta se disuelven en forma de iones con carga positiva y carga negativa, que conducen electricidad, por lo anterior el agua destilada no contiene sales disueltas, en consecuencia, no conduce la electricidad.

A altas concentraciones de sales la conductividad eléctrica ya no se relaciona con los volúmenes de sales presentes. Las altas concentraciones de sales conlleva a la presencia de pares de iones que debilitan sus cargas mutuamente; la proximidad de los iones en solución



UAEMex



inhibe su actividad y en consecuencia su capacidad de transmitir corriente lo cual obstaculiza su medición.

La conductividad eléctrica del agua es directamente proporcional con la temperatura, por tanto, mientras más alta es la temperatura, más alta sería la conductividad eléctrica. La temperatura disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, por lo que la conductividad eléctrica del agua aumenta en un 2-3% por grado Celsius de temperatura, sin embargo, muchos medidores comerciales de CE normalizan automáticamente las lecturas a 25 °C. En algunos equipos, es necesario calibrar el dispositivo con una medición externa e independiente de la temperatura para obtener una medición más exacta de la conductividad eléctrica.



UAEMex



Capítulo 4.

MATERIALES Y MÉTODO



4.1. Materiales y Método

El método para la toma de muestras y selección de los sitios es común y frecuentemente utilizado en acuicultura, considero técnicas de muestreo convencionales muy difundidas y aplicados en la evaluación de la fisicoquímica de cuerpos de agua *in situ*.

Para el registro de los datos se utilizaron dos equipos, un analizador Hanna multiparamétrico HI 9828 para evaluar los parámetros T °C, pH, ORP (potencial REDOX), OD (oxígeno disuelto en ppm), $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductividad), $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ (resistividad), mbar (presión atmosférica) y un registrador de datos Hobo (Data Logger) (Chapin y Todd, 2014).

Las evaluaciones de la química del agua iniciaron en ambientes lénticos pero, de acuerdo con los objetivos de la investigación, los resultados fueron más pertinentes en ambientes lóticos (manantiales), bajo esta perspectiva se evaluaron bordos y pequeñas lagunas, las cuales se fueron descartando durante la toma de muestras en cada una de las campañas de muestreo, incorporando otros sitios, la justificación de estas adecuaciones se detalla en el apartado de discusión de esta tesis. La identificación y valoración del comportamiento en la química del agua en sitios de alta y baja actividad sísmica, considero evaluaciones semanales hasta muestreos mensuales, la frecuencia e intensidad de los muestreos fue dependiente de las condiciones o comportamiento de los parámetros evaluados. Para cada campaña de muestreo se realizaron mediciones de la calidad del agua en ocasiones de una semana pero, no mayor a las cuatro semanas, debido a limitantes del equipo.

Los parámetros elegidos inicialmente fueron materia orgánica, O_2 , pH, conductividad eléctrica, pero posteriormente se dio más énfasis a la conductividad natural del agua. La justificación de tales cambios se detalla también en el apartado de discusión de esta tesis.

En complemento a los resultados del proyecto de investigación se realizó una revisión actualizada de información relacionados con los sucesos, eventos y fenómenos precursores



a los grandes sismos ($>M4.5$), mediante búsquedas lo más exhaustivas posibles en sitios Web de revistas especializadas y centros e institutos de investigación, los resultados de esta actualización de incluyen en el apartado de antecedentes de este documento.

4.1.1. Sitios de Muestreo

Como referente, el área principal de estudio de intensa actividad sísmica, se ubica entre los municipios de Ometepec, Gro., y Santiago Pinotepa Nacional, Oax., donde el 20 de marzo del 2012 se presentó un sismo de 7.4 grados en la escala de Richter con epicentro en las coordenadas $16^{\circ}31'15.60''N$, $98^{\circ}14'24.00''O$, otro más con una intensidad de 6 grados de magnitud se presentó el 02 de abril, del mismo año. Posterior a este par de eventos importantes se presentaron al menos 730 réplicas de acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional.

La zona de estudio se caracteriza por ser una de las más activas del país ([Martínez-García et al., 2015](#)) y en los últimos 12 años se han presentado al menos 1664 eventos de los cuales el 97% tienen un rango de magnitud (M_w) que fluctúa entre los 4 a los 5.0 grados por tanto, la probabilidad de ocurriera un sismo importante, en ese intervalo fue bastante alta. Ciertamente solo el 0.2% de los eventos caen dentro de los sismos fuertes ($>6M_w$) y los más atractivos ocurrieron en 2006 ($M7.4$) y 2012 (7.4). En términos de liberación de energía ([Vassiliou y Kanamori, 1982](#)), presenciar un sismo de entre 5.0 a 5.5 (0.5%) ya es de considerar; de acuerdo con las estadísticas, en un rango de 50 km a la redonda tomando como eje central el área de estudio, entre 2006 y 2011 ocurrieron en promedio, unos 200 eventos al año, pero en 2012 ocurrieron 475 por causas desconocidas (Sistema Sismológico Nacional).



Las coordenadas del nodo central del área de estudio con mayor intensidad sísmica son $16^{\circ}19'2.43''\text{N}$, $-98^{\circ}13'13.78''\text{O}$, Figura 1. Tiene una extensión de 870 km^2 y es en su mayoría de uso agrícola. Presenta una completa red de vías de comunicación, ya que está cruzada por la carretera federal No. 200 (Marquelia - Santiago Pinotepa Nacional, así como un gran número de terracerías.

El área corresponde a una planicie aluvial, inmersa en la región fisiográfica Sierra Madre del Sur que se extiende paralela a la Costa del Pacífico, propiamente es un ambiente de llanura costera. Se asienta en la fosa o trinchera Mesoamericana (TMA), frontera entre la placa continental de Norteamérica y la placa oceánica de Cocos, que en su movimiento hacia el noreste choca frontalmente con la placa continental de Norte América, donde se ubica la mayor parte del territorio nacional, es una franja donde históricamente se han producido la mayor cantidades de movimientos telúricos que han afectado al país (Pérez-Campos *et al.*, 2008 y Yamamoto *et al.*, 2013).

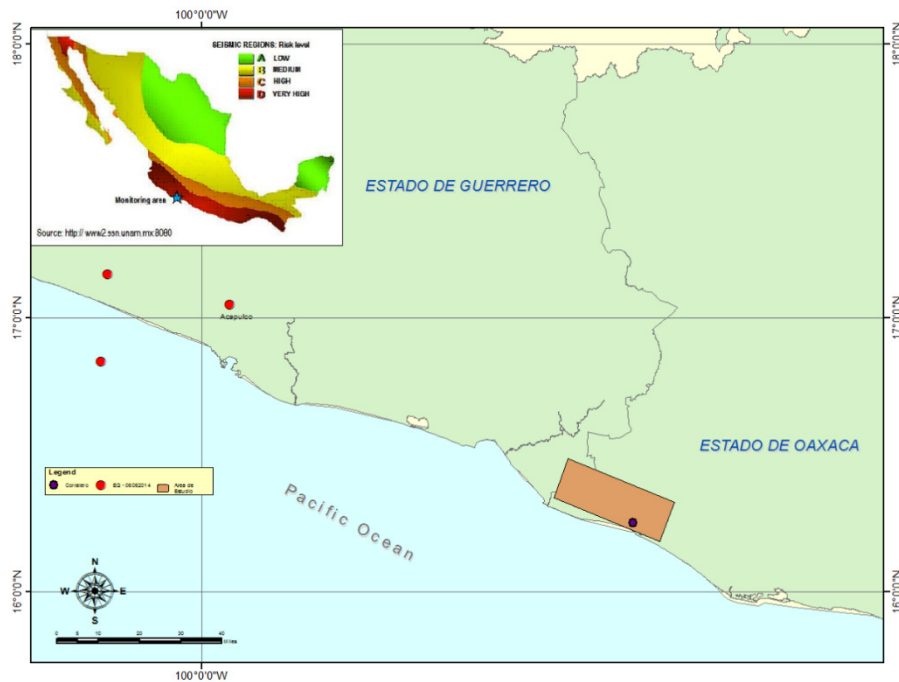


Figura 1. Área de Estudio.



UAEMex



Capítulo 5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



UAEMex



5.1. Resultados

El contenido de este apartado considera dos incisos, uno que refiere a los resultados del trabajo de investigación publicados en dos artículos y, otro donde se conjunta información no publicada pero que sirvió de base para el desarrollo de las publicaciones. Los artículos de investigación fueron publicados en las revistas “*International Journal of Geosciences*” y “*Open Access Library Journal*”, el primero lleva por título “*Atypical Variations of Water Conductivity Prior to Tectonic Earthquakes*” publicado el día 29 de diciembre del 2014, refiere los resultados obtenidos del monitoreo de la conductividad natural del agua en seis sitios de muestreo que consideraron a una cisterna, a cuatro afloramientos naturales de agua denominados Los Manantiales, Teoixtla, Papalutla, el Borbollón y, un pozo artesiano, localizados en lugares estratégicos dentro de los estados de Morelos, Guerrero y Oaxaca.

La segunda publicación intitulada “*Natural water conductivity behavior within the seismic Pacific coast of southern Mexico*” resume los resultados del monitoreo en dos pozos artesianos, localizados en el poblado de “Corralero”, perteneciente al municipio de Pinotepa Nacional, en el estado de Oaxaca, demarcación considerada la más sísmica de los sitios elegidos para el trabajo de investigación; este documento se publicó el 28 de julio del 2016. De cada artículo se presentan las evidencias del proceso de publicación que considera fundamentalmente la comunicación escrita con los detalles de las revistas donde se publican, volumen de la revista, nombre de ésta e hipervínculo para su consulta y obtención.

Complementar el inciso, información no publicada que incluyen los resultados de las primeras etapas del proyecto, en principio corresponden a los registros de la calidad del agua de cuerpos de agua superficiales a los que se les determinó los estadísticos básicos, así como ubicación geográfica y accesos al sitio. Se agrega a este apartado una serie de 11



UAEMex



gráficas referente a los parámetros T °C, pH, pH mV, ORP (óxido reducción), OD %, OD ppm, $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductividad), TDS ppm, MOhm-cm y salinidad, donde se presentan las primeras evidencias de posibles variaciones atípicas en la química del agua en uno de los sitio de muestreo.



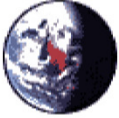
UAEMex



5.1.1. Artículo de investigación I, aceptado y publicado.



UAEMex



ijg@scirp.org
29/12/2015 02:38 a.m.

Para fidel.martinez@cfe.gob.mx, acc756@gmail.com,
adame_ms@yahoo.com, jjrg1311@yahoo.com.mx

cc

cco

Asunto Your paper is published on IJG: Vol.6 No.12 2015! [ID:
2801135]

Historial: Este mensaje ha sido remitido.

Dear **Fidel Martínez-García**,

I am writing with my pleasure to let you know that **your paper has been published** in the latest issue (**Vol.6 No.12 2015**) of **International Journal of Geosciences** (IJG). It is accessible at:

<http://www.scirp.org/journal/IJG/>.

IJG is now implementing Google Scholar citation service for its impact factor calculation and its impact factor has achieved to be [0.78]. Your intellectual contribution to this field is very much appreciated. We look forward to receiving your future progress on your research.

There are several tips for you after your paper publication:

1. After the publication of your paper, could you share it to your social networks (Facebook, LinkedIn or so) by just clicking the share button on the top right of your paper page [<http://www.scirp.org/Journal/PaperInformation.aspx?PaperID=62347>] It is very easy for your friends or colleagues to read your paper, and good for the spread of your paper as well as the journal.
2. There is a discussion section under your online publication, for readers to share their opinions on your paper, and increase the influence of your paper among the scientific community.
3. We will submit the journal to various databases, in case your paper can be indexed by more.
4. Drop us an email to subscribe a hardcopy or reprints.
5. Recommend your paper to your colleagues or library by emailing them the link of your paper.
6. We would like to invite you to submit papers often.

Thank you very much again for the achievement you have made. Wish you further progress in your research field! Hope to hear your news soon!

Best regards,

Editorial Assistant of IJG
Scientific Research Publishing
Email: ijg@scirp.org
Website: <http://www.scirp.org/journal/ijg>

Atypical Variations of Water Conductivity Prior to Tectonic Earthquakes

Fidel Martínez-García^{1,2*}, Arturo Colín-Cruz², Salvador Adame-Martínez³,
Jorge J. Ramírez-García²

¹Center of Proposed Drafts of the South Pacific, Federal Electricity Commission, Cuernavaca, Morelos, Mexico State, Mexico

²Faculty of Chemistry, Autonomous University of Mexico State, Toluca de Lerdo, Mexico State, Mexico

³Faculty of Urban and Regional Planning, Autonomous University of Mexico State, Toluca de Lerdo, Mexico State, Mexico

Email: *fidel.martínez@cfe.gob.mx, *fmg1376@yahoo.com.mx

Received 5 November 2015; accepted 26 December 2015; published 29 December 2015

Copyright © 2015 by authors and Scientific Research Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Within the framework of precursor events related to earthquakes, this paper analyzes the possible effect on the aquatic environment of the surrounding energy that accompanies earthquakes, particularly in the area where oceanic and continental plates collide (Cocos Plate and North American Plate, south of Mexico). As a preamble, the types of precursor events, characteristics, and their possible origin are described. A project was designed under the assumption that in areas with high frequency and intensity seismicity there is an electrical and electromagnetic potential promoter which is detectable and assessable indirectly by measuring water conductivity behavior, which also may have atypical variations of data; the outcome of intensive conductivity monitoring in different settings, natural as well as manmade (wellsprings, artesian well and a cistern), are presented herein. The results of the conductivity monitoring for seven months, highlight two patterns in data behavior: one pattern shows the subtle dependence of data behavior on the geographic location of data monitoring instruments, revealing that could have a slight relationship between areas with increased seismic frequency and intensity and the presence of atypical conductivity variations. Another pattern reveals the possible relationship between atypical variations in conductivity and subsequent earthquake events; a total of 241 seismic events were analyzed and 59 of them are provided as evidence related with patterns mentioned.

Keywords

Earthquakes, Precursor Events, Natural Water Conductivity, Subduction Plates, Cocos Plate, Electromagnetic Fields, Earth's Electromagnetic Pulses

*Corresponding author.

1. Introduction

Frequently, phenomena linked to earthquake are associated with the interaction of the electric and electromagnetic energy emanating from the Earth's interior with surrounding natural environment. The power of energy ionization upon reaching the surface through faults or unstable areas is manifested by low frequency electromagnetic waves [1]-[5]; alterations of the local ionosphere [6]-[14]; luminous phenomena in the local atmosphere [15]-[17]; and the formation of aerosols and clouds [1] [2] [4] [5] [18]-[20]. Energy flow and electromagnetic fields also strengthen and promote the attraction of surrounding radiation issuing from each fracture of rock, thus intensifying the presence of ionizing energy, similar to the phenomenon that occurs near power transmission lines [21] [22].

Usually, these types of phenomena are associated with various origins: one is apparently related to the internal dynamics of the Earth's deep layers which cause electric and electromagnetic energy pulses that interact with the external layers by lithosphere fractures [1] [2] [18]. Another possible origin is mechanical and relates to the endogenous forces generated in the fault zones, particularly due to the movement of the Earth's crust [2] [23]; these phenomena have also been associated with the natural decay of unstable radioactive isotopes such as uranium, radium, radon, polonium, lead, and bismuth [7]-[9] [11] [12] [24]-[26]. A further cause, also mechanical in nature, is linked with endogenous forces that develop in the tectonic faults and their effect at the molecular level, specifically on the minerals that make up the rock, which results in the formation of an electric and electromagnetic potential flowing within a radius of several kilometers [27]-[32]. This energy has the ability to interact with surrounding water bodies, affecting the behavior of terrestrial and aquatic life prior to and subsequent to an earthquake [31]-[33]. A recently published example is the behavioral changes found in some amphibians due to disturbances among K^+ , Na^+ , Cl^- , and Ca^{2+} , ions present both inside and outside the cell membrane [31] [32]; the presence of an external electric field triggers an ionic oscillation or vibration which exerts a strong internal pressure in terms of electric charge [34].

Based on the above considerations, research relying on two hypotheses was designed. The first one states that such electric and electromagnetic potential is indirectly detectable and calculated with conductivity measuring instruments, particularly in areas where oceanic and continental plates collide and where seismic activity is frequent and intense. The second one is that the natural energy emanating from the surrounding environment (electromagnetic field and electric potential) could interfere with the normal functioning of the instruments being used, causing unusual variations in conductivity measurements, possibly by interrupting ionic conduction. According with this, a series of measurements to monitor conductivity in aquatic environments were performed in two different settings: a natural setting consisting of wellsprings, and a semi controlled setting using a cistern (tank) and an artesian well.

2. Study Area Description

After Japan, Indonesia, Chile, Papua New Guinea and Turkey, Mexico is one of the countries with the most seismic activity in the world, and data about its territory and its history on the subject dates from 1460 to the present day [35], **Figure 1**. Based on this frame of reference, monitoring sites were selected within the states of Guerrero, Oaxaca, and Morelos close to areas with a significant seismic history. These sites were located in the C and D seismic regions of the Mexican national territory (**Figure 1**), associated with the subduction process of the Cocos Plate, which moves beneath the North American Plate at a rate of six centimeters per year, and shifts 300 kilometers almost horizontally to enter the mantle with a 55° inclination angle [36].

For the development of this research, painstaking monitoring of the conductivity was carried out in an aquatic environment by a brief series of time, monitoring 90 days using two different settings: a natural setting, consisting of wellsprings and, a semi artificial setting using a cistern and an artesian well. The chosen wellsprings are located at coordinates $17^\circ 33.606'N$, $99^\circ 24.583'W$ and $18^\circ 28.697'N$, $99^\circ 9.209'W$, **Figure 2** and **Table 1**. The first site is located in the town of Tixtla in the state of Guerrero, Mexico, and it belongs to a recreational center called "Teoixtla" in an area having a geology of sedimentary volcanic rock and gypsum from the Neogene period [37]. The second site is located in the town of Tlaquiltenango in the state of Morelos, Mexico. It is also a recreational center, called "Los Manantiales", having a geology of Paleogene rhyolites [38]. The semi artificial site corresponds to an artesian well of $1 \times 1 \times 6$ meter located at the geographic coordinates $16^\circ 14.180'N$, $98^\circ 11.406'W$ (**Figure 2**) in the community of "Corralero", a municipality of Pinotepa Nacional in the state of Oaxaca, Mexico, site located in a region with the largest number of earthquakes per square kilometer. The geomorphology and

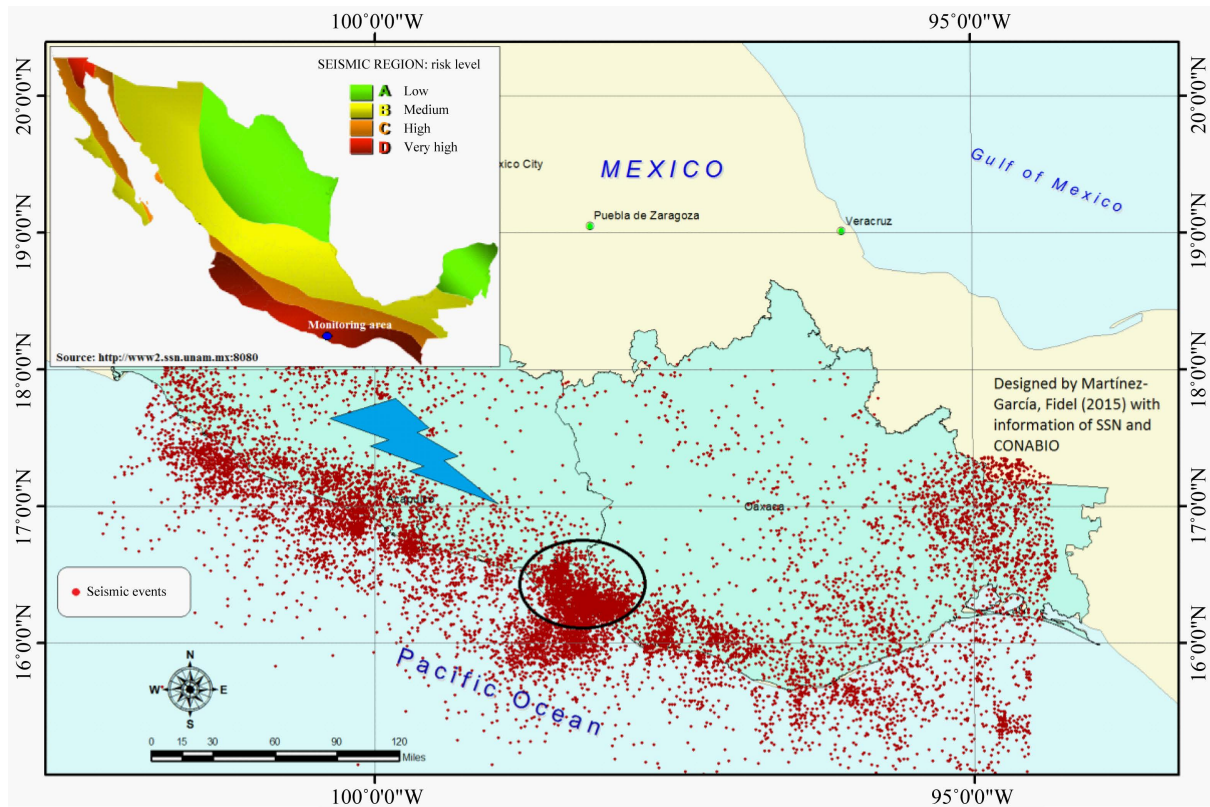


Figure 1. Study area location as regards the seismic regions of Mexico. The area has the highest number of earthquakes per km², corroborated by processing 12757 seismic events (red points) in a geographic information system, occurred in the states of Guerrero and Oaxaca, Mexico, from 2006 to 2014 with a range of magnitude between 3.5 to 7.4 Mw. Additional Mapping information was obtained of National Commission for Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO: <http://www.conabio.gob.mx>).

Table 1. Monitoring periods of selected sites.

Site	Start date	Date ending	Monitoring period (days)
Teoixtla	22/09/2014	28/09/2014	6
Teoixtla	29/09/2014	05/10/2014	6
Teoixtla	06/10/2014	12/10/2014	6
Los Manantiales	13/10/2014	19/10/2014	6
Cistern	04/11/2014	10/11/2014	6
Cistern	15/11/2014	21/11/2014	6
Cistern	06/12/2014	12/12/2014	6
Cistern	13/12/2014	19/12/2014	6
Corralero	19/01/2015	26/01/2015	14
Corralero	26/01/2015	02/02/2015	14
Corralero	03/02/2015	10/02/2015	14

geology of this area correspond to a coastal plain with Quaternary alluvial material. Another semi artificial setting corresponds to a cistern located at coordinates 18°53.377'N, 99°12.293'W, with no specific geology. This site corresponds to a 2 × 2 × 1.8 meter reservoir; its liquid content was in contact with the field's surrounding environment through a grounded electrode, using an iron bar buried 60 centimeters deep.

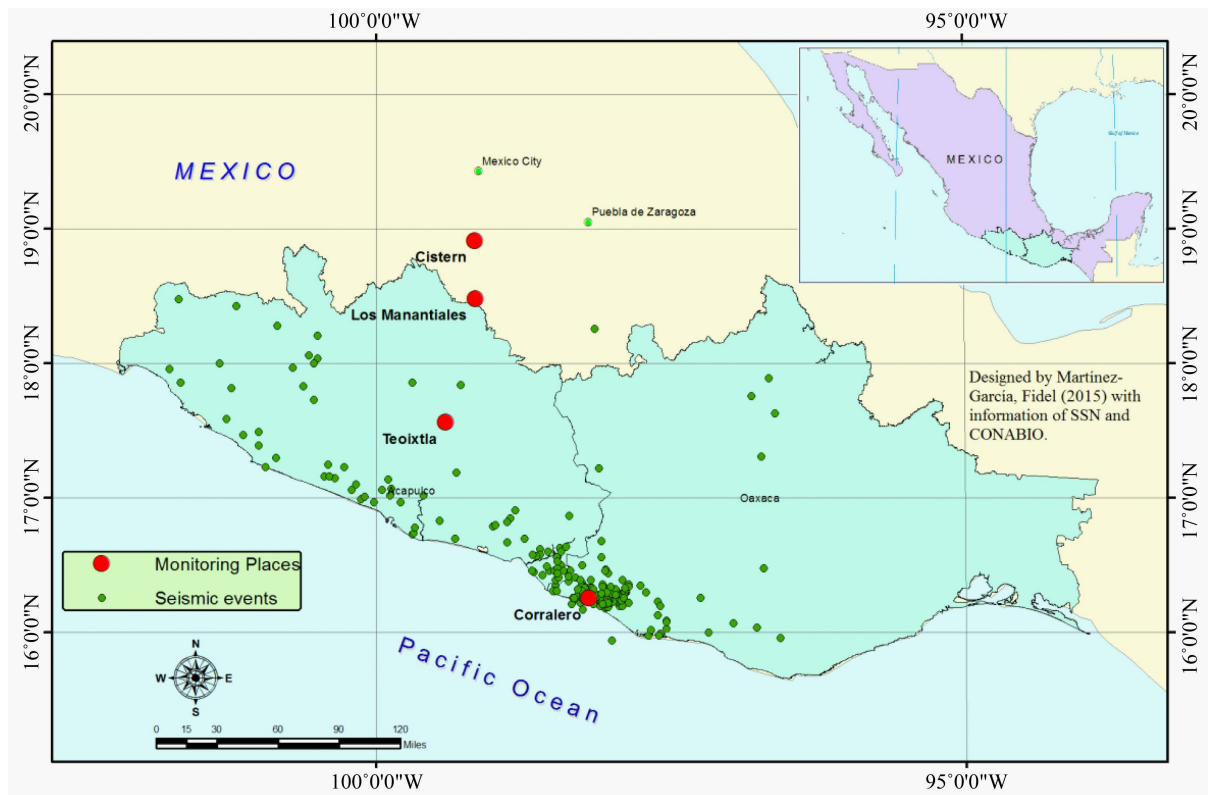


Figure 2. Study area location of the monitoring sites. Seismic events used corresponded to 241: 25 events for “Teoixtla”, 9 events for “Los Manantiales,” 101 events for “Cistern”, and 106 events for “Corralero”.

3. Materials and Methods

Intense monitoring in the sites above mentioned were conducted using by submersion, a HOBO U24-001 Data Logger to determine conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$), complementarily a HI 9828 multiparameter meter was used, to determine water quality (**Figure 3**). Each site was continuously monitored at a sampling frequency of 45 seconds on average, representing a total collection of 18,550 data per monitoring period obtained at least during two weeks per each campaign. Readings of basic water quality parameters of $^{\circ}\text{C}$, pH, Dissolved Oxygen (ppm), and salinity were determined every second with the HI 9828 device for a period of 30 minutes, from which the average value was calculated; monitoring periods for each of the settings are included in **Table 1**.

Information of all $>M_w3.0$ earthquakes occurred within each monitoring period was gathered, particularly within the territorial limits of the states of Guerrero and Oaxaca, Mexico. Data was obtained from the National Seismological Service (SSN: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/index.html>) of Mexico. Concerning the well-springs, only information of seismic events located within a radius not greater than 220 kilometers was gathered. Seismic events obtained for the cistern were located at a distance not greater than 320 kilometers. In both cases, the magnitudes of the earthquakes were normally not higher than 4.5 degrees; however, any earthquake with a magnitude of 5 or greater was addressed regardless of its distance from the location where the conductivity Data Logger had been installed. Regarding the seismic data obtained for the artesian well, the distance was not greater than 50 kilometers, taking in a count that this site is located in a place with the highest seismicity of the region. The general criteria employed to vary the distances was the instrument’s geographic position in relation to seismic events occurring in the surrounding area as well as the speed and distance of seismic wave propagation in the ground and the area of influence.

Tabulated data of seismic events obtained from SSN were imported to a geographic information system (GIS) for spatial distribution. The position in geographic coordinates of the Data Logger were taken as reference to filter seismic data according to the place of monitoring (**Table 2**), and the distance of each seismic event was determined in relation to the Data Logger position. The resulting table was edited, removing events located in



Figure 3. Equipment used: (a) HOBO Conductivity Logger U24-001 and (b) HI 9828.

Table 2. Quantification of seismic events used during the study at each site.

Filtered seismic events				
Site	Starting	Ending	Events	
Teoixtla	Sept/22/2014	Sept/27/2014	8	
Teoixtla	Sept/29/2014	Oct/04/2014	6	
Teoixtla	Oct/06/2014	Oct/11/2014	11	
Los Manantiales	Oct/13/2014	Oct/18/2014	9	
Cistern	Nov/04/2014	Nov/11/2014	18	
Cistern	Nov/15/2014	Nov/22/2014	24	
Cistern	Dec/06/2014	Dec/12/2014	12	
Cistern	Dec/13/2014	Dec/20/2014	47	
Corralero	Jan/19/2015	Jan/25/2015	14	
Corralero	Jan/26/2015	Feb/01/2014	36	
Corralero	Feb/03/2014	Feb/09/2014	12	
Corralero	Feb/10/2014	Feb/15/2014	14	
Corralero	Feb/16/2014	Feb/22/2014	14	
Corralero		Mar/01/2014	16	
			Total	241

the marine environment as well as those located beyond the distances set in the aforementioned criterion. Information was plotted for each of the locations listed in **Table 2**, using the 18,550 conductivity data obtained with the HOBO conductivity U24-001. Every seismic event shown in the list resulting from the filtering process was positioned in each chart according to the day and time it occurred; this process was replicated for each of the monitored locations.

4. Results

For the wellsprings, cistern and the artesian well, variations in the frequency of the monitoring sampling did not represent any significant changes at the time of processing and plotting the results. Another aspect that distinguished the chosen sites, besides their geological conditions, was their geographical position (**Figure 2**), both

that of the instruments as that of the seismic events that occurred in the surrounding area. The monitoring sampling was during a 90 day period, from September 22, 2014 to March 1, 2015: 18 days corresponded to the “Teoixtla” site, 6 to the “Los Manantiales” site, 24 to the “Cistern” site, and 42 to the “Corralero” site, although they were short periods of time it was detailed monitoring. The assessment period for the “Los Manantiales” site was the shortest with one week; more monitoring time was considered unnecessary due to the presence of excessive “interference or noise” detected at the time of plotting data (Figure 4). Noisiness may have been due to two possible causes: a) the Data Logger operation was interfered with by a strong drift or movement, the device being located in a place with an intense current flow; or b) the possible presence of an underground river located relatively close to the wellspring being monitored, the undercurrent being located at approximately 1500 meters, its influence could be due to the continuous aquifer recharge and the presence of ions and possibly radioactive gases like radon [5] [39]-[41]. The most intensive sampling took place in the location called “Corralero” as this site is characterized by intense seismic activity. Historically, the surrounding area is where the greatest number of earthquakes per square kilometer occurs, Figure 1. During monitoring, seismic events occurred as close as one kilometer away from monitoring instruments.

The location of each seismic event in the Data Logger chart showed an interesting series of patterns. The first pattern observed was the dependence of the atypical readings of conductivity on the geographic location of the monitoring instruments, revealing that there is a possible relationship between areas with greater seismic frequency and intensity and the occurrence of higher atypical conductivity drops behaving such as pulses. As the distance between the Data Logger and the area with the greatest seismic frequency and intensity was reduced, data showed more atypical and more defined conductivity changes. Therefore, the spatial variation of conductivity ($\mu\text{S/cm}$) at the “Los Manantiales” site has a very confusing pattern (Figure 4), it was very regular at the

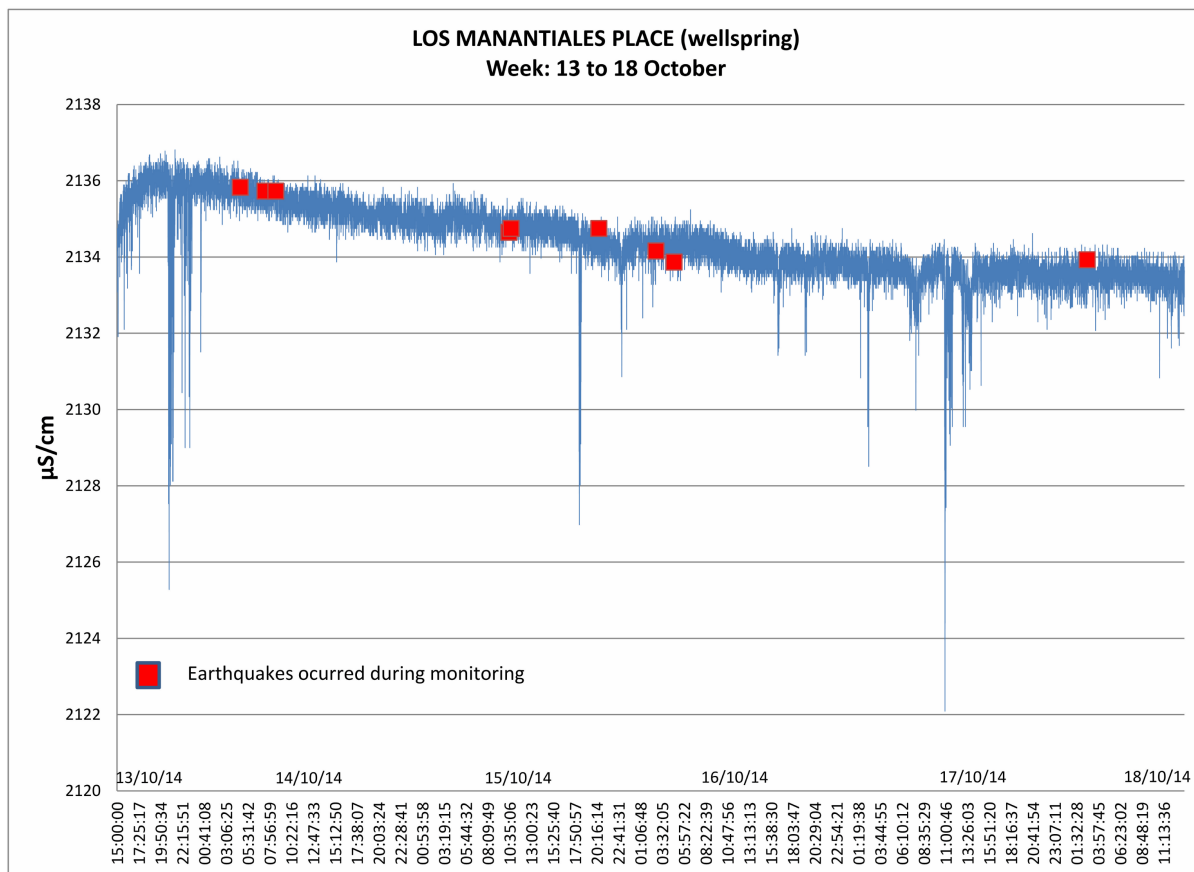


Figure 4. Conductivity pattern behavior in the “Los Manantiales” site. Its monitoring was suspended for reasons mentioned above. The average values of the quality of water obtained with HI 9828 were: Temperature (°C) 29.18 pH 6.57; 0.97 ppm Dissolved Oxygen and 0.91 salinity.

“Cistern” site (Figures 5-8 and Table 3), and it had a very erratic character at the “Teoixtla” site (Figures 9-11). The “Corralero” site showed the greatest variation, having a more defined pattern as well as an average of seven conductivity incidents per week, Figures 12-17.

Another pattern reveals the probable relationship between changes or atypical conductivity drops and the subsequent occurrence of earthquakes. According to these two patterns, one of the most notably changes observed occurred first at the “Teoixtla” site (Figures 9-11 and Table 4).

Based on the two patterns observed, the “Corralero” site differed from the other sites used for monitoring conductivity; one similar patterns had already been observed at the “Teoixtla” site described in previous paragraphs. Variations in conductivity measurements were more perceptible at the “Corralero” site as the Data Logger was closer to the area with the greatest number of earthquakes per square kilometer. During the week of January 19 to 25, six major variations occurred, two of them very close to each other (21/01/15); five of them preceded five seismic events. During the week of January 26 to February 1, six variations occurred; five of them were preceded by six seismic events. Details of atypical conductivity drops in these periods are shown in Figure 12, Figure 13 and Table 5.

During the weeks from February 3 to 9 seven of atypical conductivity behaviors occurred, respectively, as shown in the Figure 14 and three variations occurred in a single day (07/02/15). In the first week, Figure 14, three of the variations were preceded by seismic events; from February 10 to 15, four atypical variations occurred, two of which were preceded immediately by seismic events, Figure 15 and Table 6.

For the period of the week from February 16 to 22, nine atypical readings occurred with three major preceding seismic events, Figure 16. During the week from February 23 to March 1st, nine atypical readings occurred, four of which were preceded by four nearby earthquakes, Figure 17 and Table 7. At the “Corralero” site, aver-

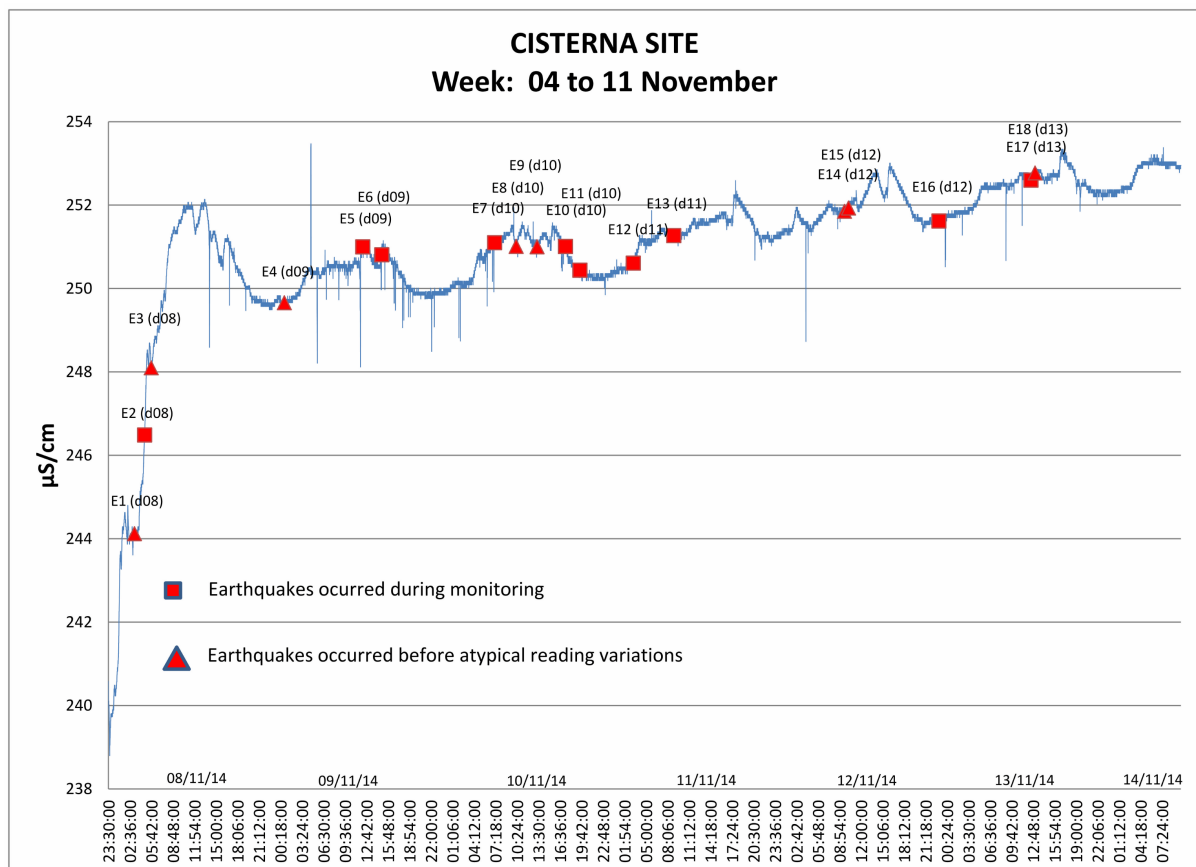


Figure 5. Conductivity pattern behavior in the “Cistern” site, period November 04 to 11. Total seismic events recorded during monitoring: 18. The average values of the quality of water obtained with the HI 9828 were: T (°C) 24.35 pH 9.31, 5.51 ppm OD and 0.16 salinity.

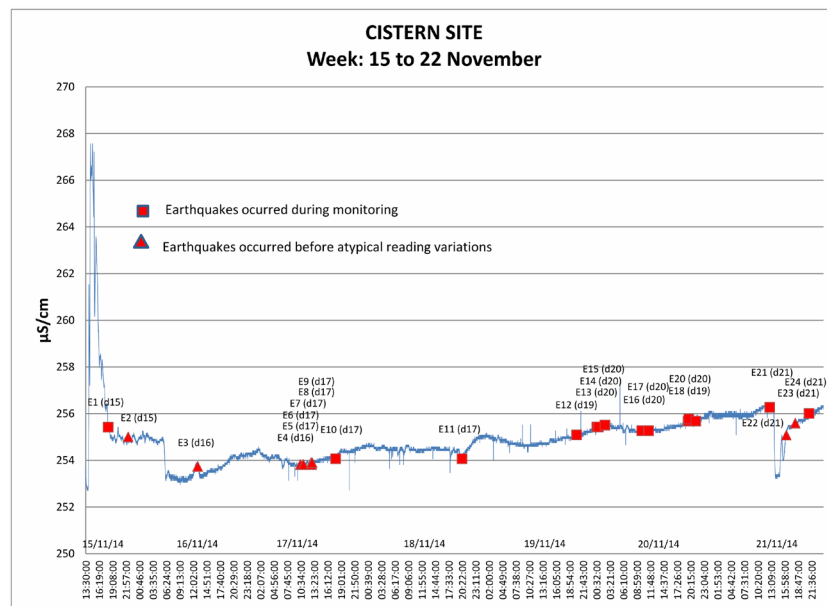


Figure 6. Conductivity pattern behavior in the “Cistern” site, period November 15 to 22. Total seismic events recorded during monitoring: 24. The average values of the quality of water obtained with the HI 9828 were: T (°C) 24.35 pH 9.31, 5.51 ppm OD and 0.16 salinity.

Table 3. General characteristics of most notably seismic events in the “Cistern” site.

Event	Date	Time	Lat	Long	Depth	Magn.	Zone	Figure
1	11/08/14	03:14:23	16.23	-97.61	9	4.0	Southwest of Tataltepec, Oaxaca State	5
3	11/08/14	05:40:10	17.96	-101.76	52	4.0	East of Lázaro Cárdenas, Guerrero State	5
4	11/09/14	00:51:06	16.68	-98.09	18	3.6	East of Ometepec, Oaxaca State	5
8	11/10/14	10:16:25	18.43	-101.19	58	3.8	Northeast of Zihuatanejo, Guerrero State	5
9	11/10/14	13:17:39	16.00	-97.18	23	3.7	Northwest of Puerto Escondido, Oaxaca State	5
14	11/12/14	09:36:18	16.30	-97.88	23	3.6	East of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	5
15	11/12/14	10:11:40	17.19	-99.32	51	3.6	Northeast of Tierra Colorada, Oaxaca State	5
18	11/13/14	13:04:18	17.86	-99.69	57	3.9	Southeast of Chilpancingo, Guerrero State	5
2	15/11/14	22:23:02	17.89	-96.66	71	3.7	Southwest of Tuxtepec, Oaxaca State	6
3	16/11/14	12:56:40	17.30	-100.85	49	3.5	Northwest of Tecpan, Guerrero State	6
4	17/11/14	10:28:21	16.47	-98.05	25	3.7	North of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	6
5	17/11/14	11:01:54	16.31	-98.24	20	3.6	West of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	6
7	17/11/14	12:44:15	16.25	-98.11	30	3.5	Southwest of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	6
8	17/11/14	12:48:57	17.16	-100.44	40	3.7	South of Atoyac de Alvarez, Guerrero State	6
22	21/11/14	16:15:56	16.46	-98.49	14	3.7	Southwest of Ometepec, Guerrero State	6
23	21/11/14	18:08:25	18.28	-100.84	58	4.2	Southwest of Cd Altamirano, Guerrero State	6
9	12/09/14	23:27:03	16.70	-99.33	29	3.6	Southeast of San Marcos, Guerrero State	7
11	12/11/14	16:32:36	16.97	-99.79	38	3.6	Northeast of Acapulco, Guerrero State	7
2	12/14/14	20:47:15	18.06	-100.57	50	3.7	Southeast of Cd Altamirano, Guerrero State	8
3	12/15/14	08:51:06	16.42	-98.37	24	3.5	South of Ometepec, Guerrero State	8
4	12/15/14	18:38:19	17.76	-96.81	80	4.0	East of Tepelmeme, Oaxaca State	8
6	12/16/14	06:56:34	16.29	-98.02	28	3.6	Southeast of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	8
12	12/16/14	17:15:39	16.25	-97.99	20	4.0	Southeast of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	8
25	12/17/14	09:10:05	16.67	-98.89	30	3.6	West of Ometepec, Guerrero State	8

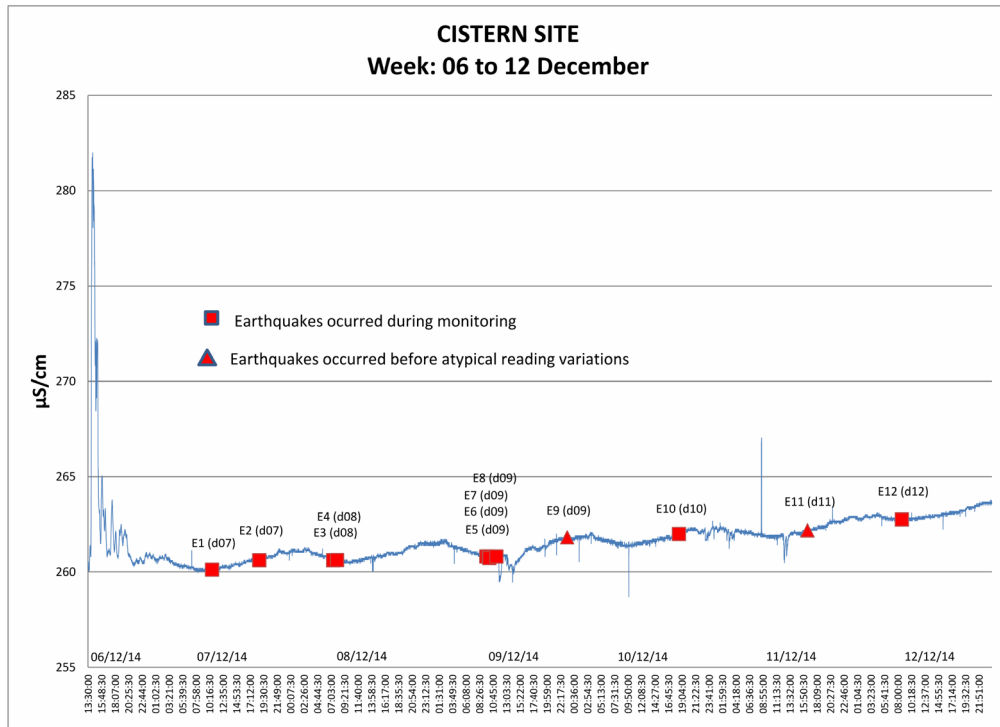


Figure 7. Conductivity pattern behavior in the “Cistern” site, period December 06 to 12. Total seismic events recorded during monitoring: 12. The average values of the quality of water obtained with the HI 9828 were: T (°C) 24.35 pH 9.31, 5.51 ppm OD and 0.16 salinity.

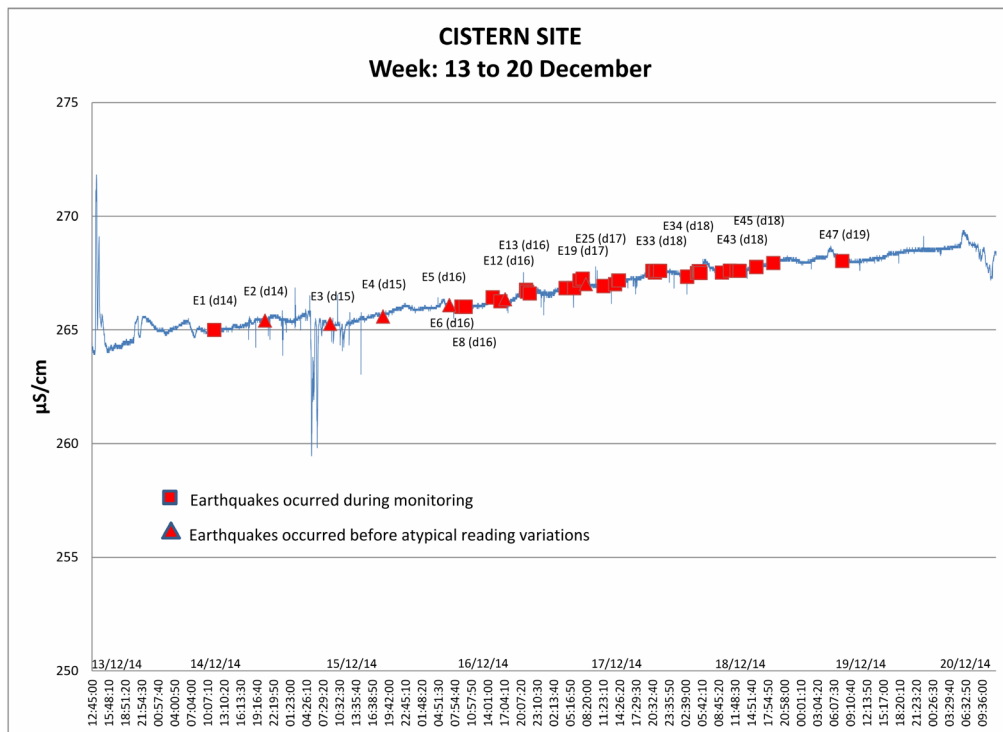


Figure 8. Conductivity pattern behavior in the “Cistern” site, period December 13 to 20. Total seismic events recorded during monitoring: 14. The average values of the quality of water obtained with the HI 9828 were: T (°C) 24.35 pH 9.31, 5.51 ppm OD and 0.16 salinity.

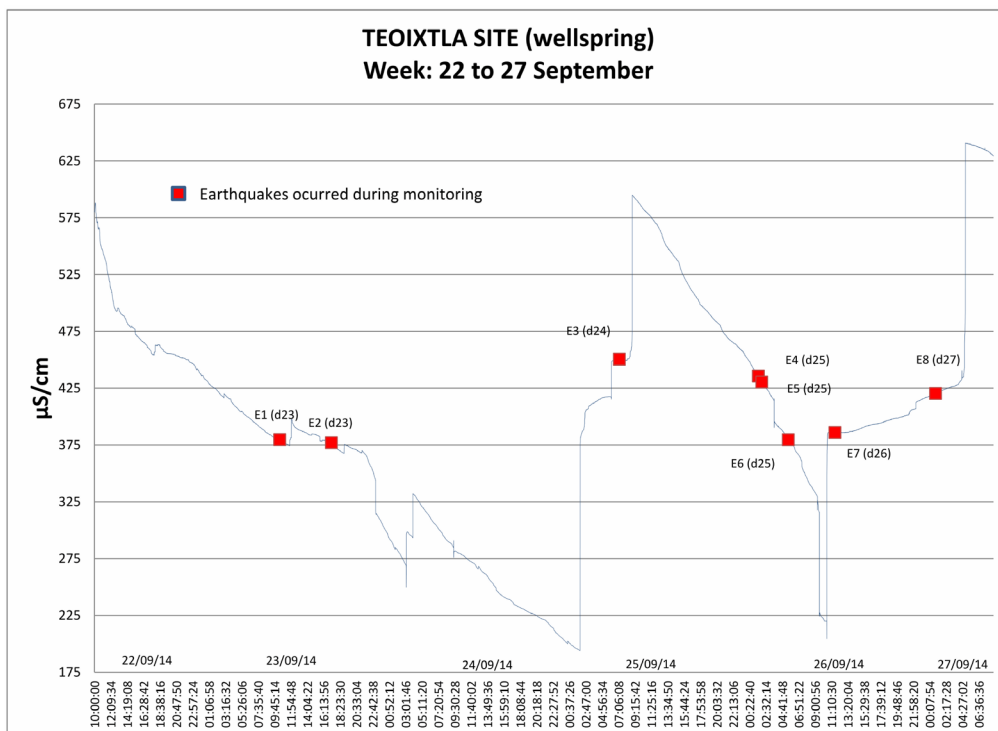


Figure 9. Conductivity pattern behavior in the “Cistern” site, period December 22 to 27. Total seismic events recorded during monitoring: 8. The average values of the quality of water obtained with the HI 9828 were: T (°C) 24.35 pH 9.31, 5.51 ppm OD and 0.16 salinity.

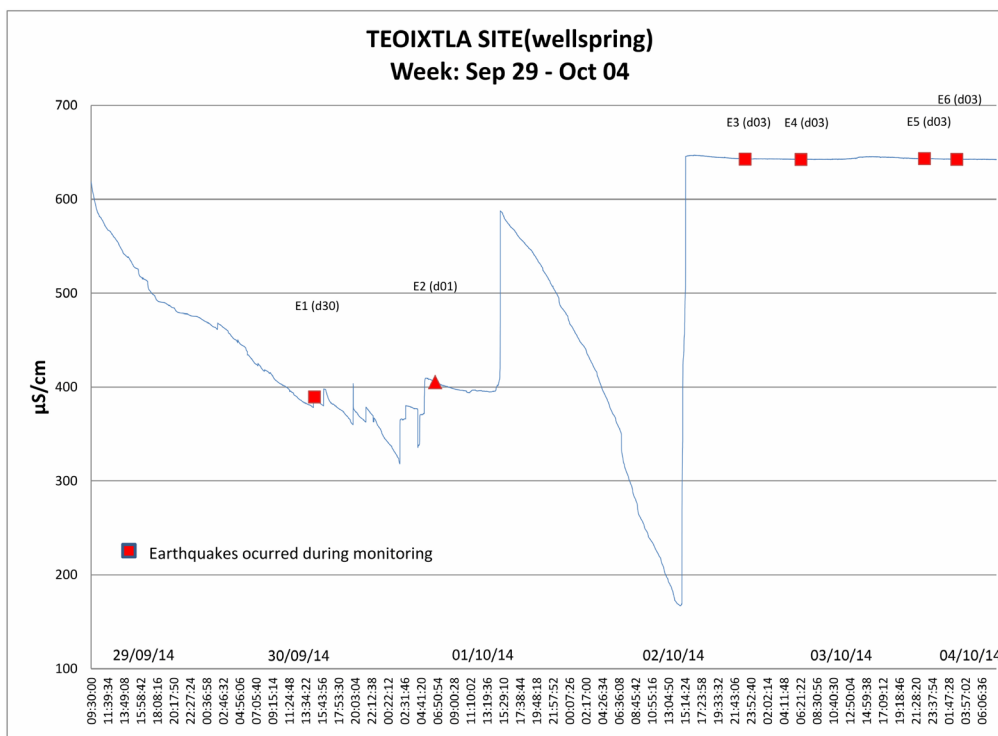


Figure 10. Conductivity behavior pattern of the “Teoixtla” site, period September 29 to October 04. Total seismic events recorded during monitoring: six. The average values of the quality of water obtained with the HI 9828 were T (°C) 22.51 pH 7.18; 1.49 ppm OD and 0.28 salinity.

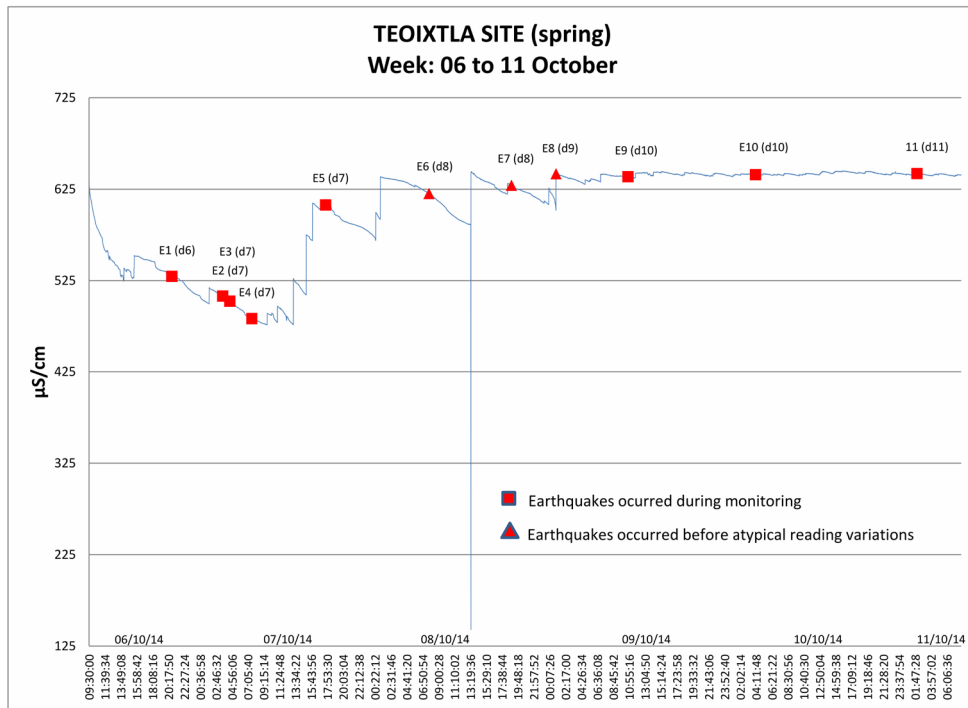


Figure 11. Conductivity behavior pattern of the “Teoixtla” site, period October 06 to 11. Total seismic events recorded during monitoring: 11. During this period a visible atypical variation of conductivity occurred on October 8. The average values of the quality of water obtained with the HI 9828 were T (°C) 22.51 pH 7.18; 1.49 ppm OD and 0.28 salinity.

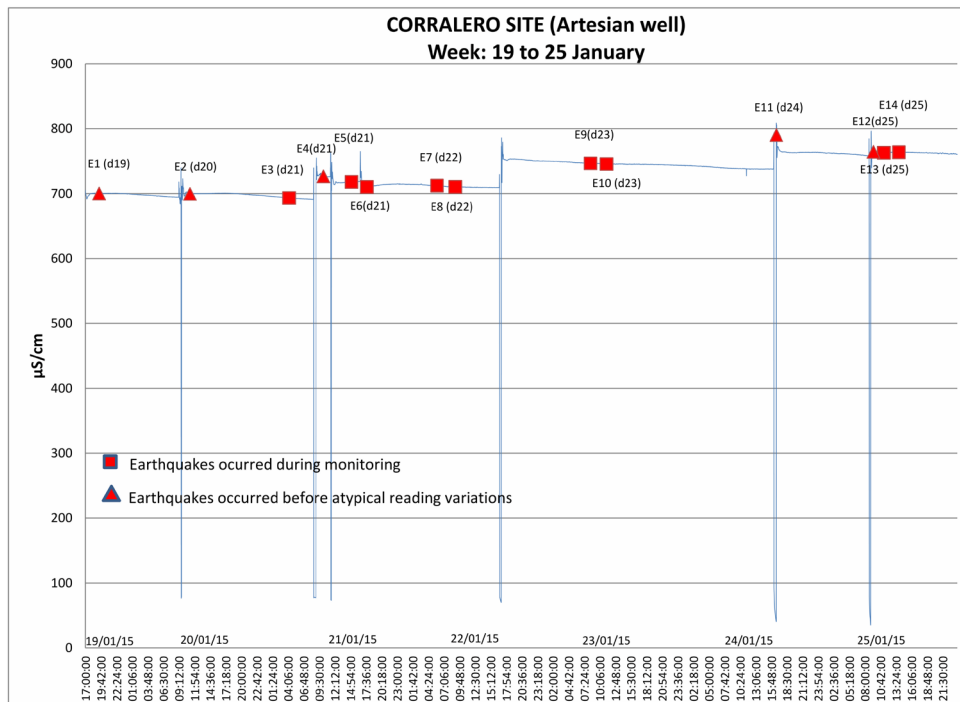


Figure 12. Conductivity pattern behavior of the “Corralero” site, period January 19 to 25: Total seismic events recorded during monitoring: 14. Five atypical variations preceded by seismic events occurred, first drop (E2 at 11:05:36 with Mw3.6); second and third drop (E4, E5 and E6 at 10:12:55, 15:03:45 and 17:44:27 with Mw 4.1, 3.8 and 3.6, respectively); fifth drop (E11 at 16:27:27 with Mw3.5); and sixth drop (E12 at 9:29:05 with Mw3.9).

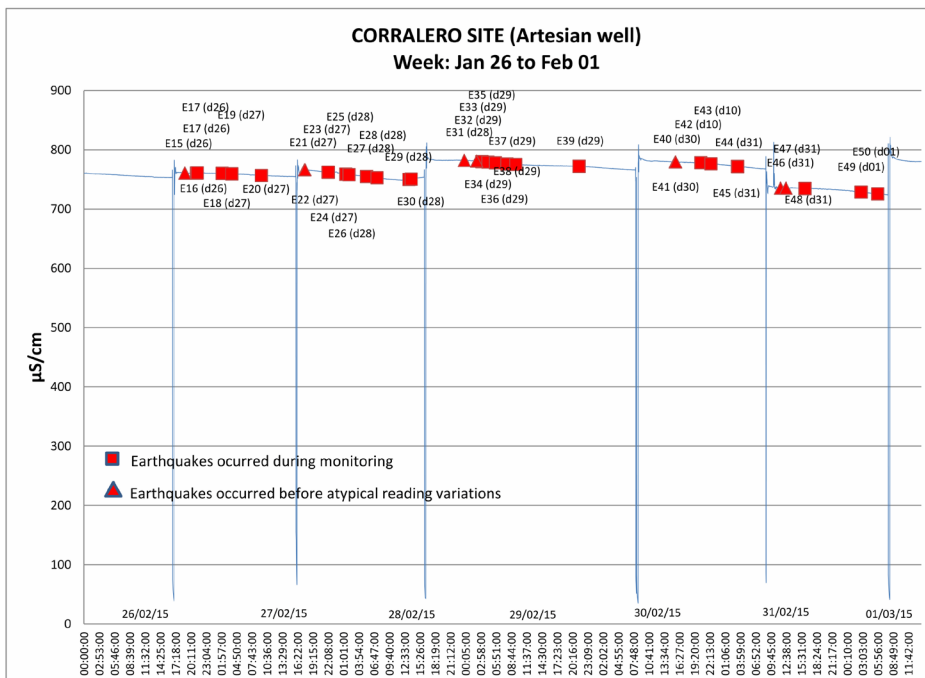


Figure 13. Conductivity pattern behavior of the “Corralero” site, period January 26 to February 01. Total seismic events recorded during monitoring: 36, almost all atypical readings were preceded by seismic events: first drop (E15 at 19:04:05 with Mw3.5; the second drop was preceded by earthquakes E21 with Mw3.7 at 17:40:35); third drop (E31 and E32 with Mw3.9 and Mw3.7, one at 23:51:23 on January 28 and another at 15:46:33 on January 29, respectively); fourth drop (E40 and E41 with Mw3.9 and Mw3.7, one at 23:51:23 on January 28 and another at 15:46:33 on January 29, respectively); fifth drop (E46 and E47, both with Mw3.5, at 11:33:44 and 12:35:22, respectively).

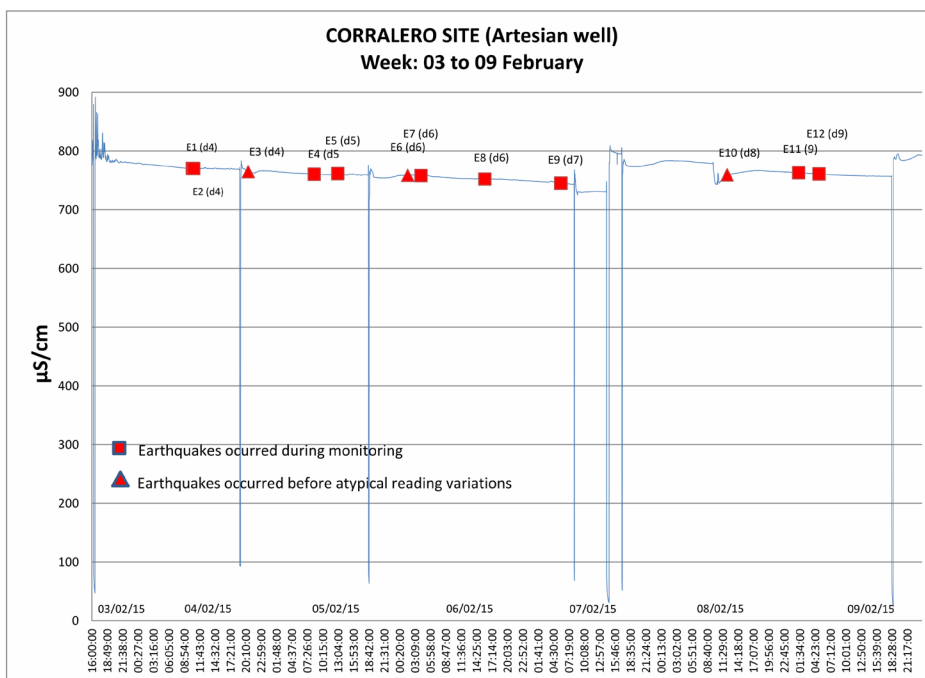


Figure 14. Conductivity pattern behavior of the “Corralero” site, period February 03 to 09. Total seismic events recorded during monitoring: 12. Three atypical readings preceded by seismic events occurred: first drop (E3 at 20:38:37 with Mw3.4); second drop (E6 at 1:50:12 with Mw3.5); fifth drop (E10 with Mw3.6 at 12:18:35).

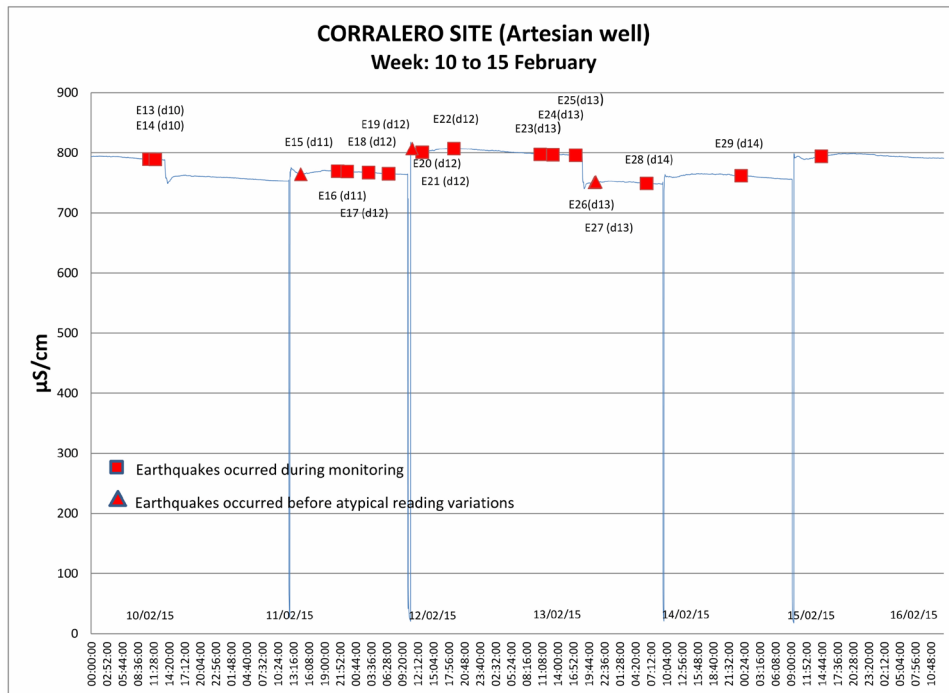


Figure 15. Conductivity pattern behavior of the “Corralero” site, period February 10 to 15. Total seismic events recorded during monitoring: 12. Three major drops preceded by seismic events occurred: first drop (E15 with Mw4.1 at 14:39:26); second drop (E20 with Mw3.5 at 11:10:20) and smaller third drop (E26 with Mw3.5 at 20:48:58).

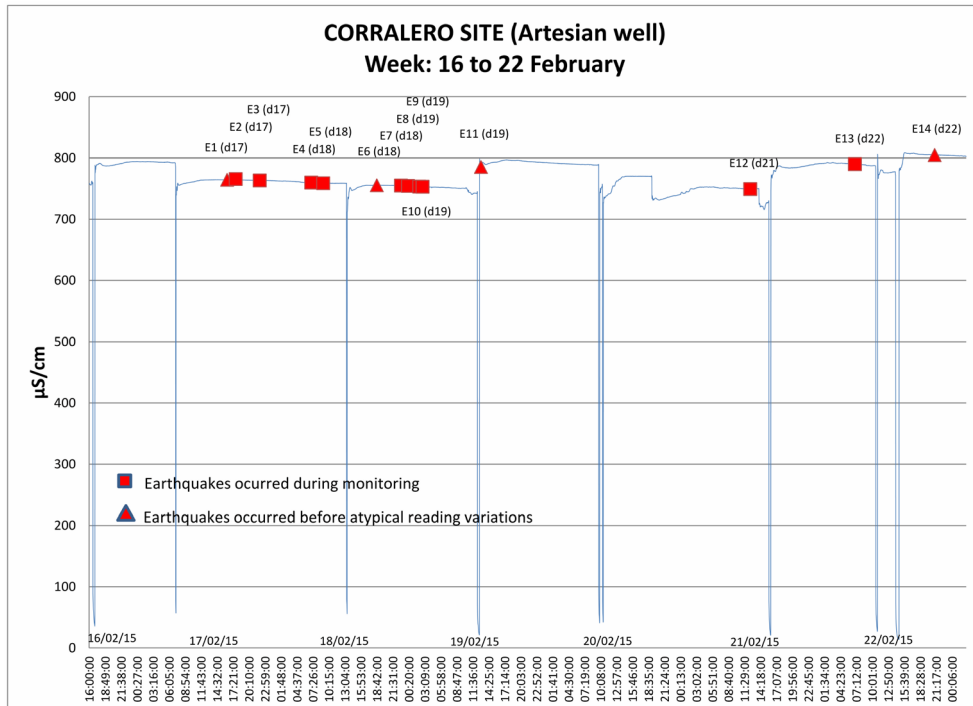


Figure 16. Conductivity pattern behavior of the “Corralero” site, period February 16 to 22. Total seismic events recorded during monitoring: 14. Four atypical readings preceded by seismic events occurred: second drop (E1 at 16:19:09 with Mw3.5); third drop (E6 at 18:42:07 with Mw3.7); fourth (E11 at 13:02:59 with Mw3.5). And ninth drop (E14 at 21:01:28 with Mw3.5).

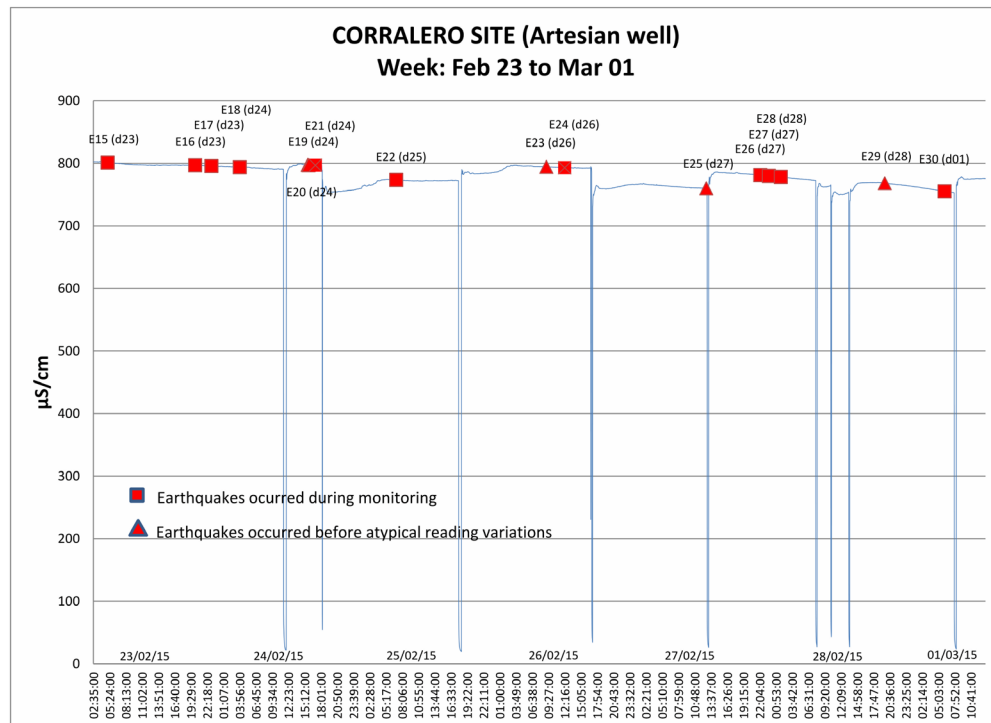


Figure 17. Conductivity pattern behavior of the “Corralero” site, period February 23 to March first. Total seismic events recorded during monitoring: 16. Four atypical readings preceded by seismic events occurred: first drop (E20 with Mw3.8 and E21 with Mw3.6 at 15:52:52 and 17:03:32, respectively); third drop (E23 with Mw3.6.); fifth drop (E25 with Mw3.6 at 12:46:53) and eighth drop (E29 with Mw3.7 at 19:42:42).

Table 4. General characteristics of most notably seismic events in the site “Teoixtla”.

Event	Date	Time	Lat	Long	Depth	Magn.	Zone	Figure
1	23/09/2014	10:24:33	18.04	-100.50	57	3.5	Southwest of Arcelia, Guerrero State	9
5	26/09/2014	01:58:11	16.35	-97.76	45	3.5	East of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	9
7	27/09/2014	00:52:07	17.06	-99.95	40	3.6	Northeast of Coyuca de Benitez, Guerrero State	9
8	26/09/2014	11:36:18	15.99	-97.59	20	4.0	West of Rio Grande, Oaxaca State	9
2	01/10/2014	06:32:26	17.59	-101.27	28	3.5	North of Petatlan, Guerrero State	10
6	08/10/2014	07:41:33	16.91	-98.82	13	3.7	East of Ayutla, Guerrero State	11
7	08/10/2014	18:55:19	16.30	-97.71	38	3.5	East of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	11
8	09/10/2014	00:58:11	17.23	-100.27	25	3.5	Northeast of Atoyac, Guerrero State	11

age values of water quality obtained with the HI 9828 instrument were: 27.76 Temperature °C, 7.13 pH; 1.17 Dissolved Oxygen ppm, and 0.33 salinity.

5. Discussion

A total of 241 seismic events were analyzed and 59 of them were associated with atypical conductivity readings: 57 were superficial seismic events, and two were intermediate events; these latter with epicenters located 80 kilometers and 66 kilometers deep, respectively, but some quite distant from the Data Logger, 279 kilometers and 154 kilometers away, correspondingly. As expected, out of the 59 seismic events, 36 occurred in the Corralero site within the surroundings of the most seismically active area in the country, near the towns of Ometepec, state of Guerrero, and Pinotepa Nacional, state of Oaxaca, Mexico, likewise the notable conductivity variations occurred in this place (Figures 12-17).

Table 5. General characteristics of most notably seismic events in the site “Corralero”, period 01/19 to 02/01, 2015.

Event	Date	Time	Lat	Long	Depth	Magn.	Zone	Figure
1	01/19/2015	19:22:34	16.28	-98.27	26	3.5	West of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	12
2	01/19/2015	11:05:36	16.58	-98.61	7	3.6	Southwest of Ometepec, Gro.	12
4	01/21/2015	10:12:55	16.33	-98.06	13	4.1	Southwest of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	12
11	01/24/2015	16:27:27	15.98	-97.69	20	3.5	West of Rio Grande, Oaxaca State	12
12	01/25/2015	09:29:05	16.30	-97.89	10	3.9	East of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	12
21	01/27/2015	17:40:35	16.25	-98.12	20	3.7	Southwest of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	13
22	01/27/2015	17:44:47	17.22	-98.11	57	3.5	West of H Tlaxiaco, Oaxaca State	13
31	01/28/2015	23:51:23	16.32	-97.88	10	3.9	East of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	13
32	01/29/2015	02:10:22	16.43	-98.59	29	3.7	Southwest of Ometepec, Guerrero State	13
41	01/30/2015	15:46:33	16.24	-97.92	34	3.6	Southeast of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	13
42	01/30/2015	20:30:49	16.60	-98.43	37	3.7	South of Ometepec, Guerrero State	13
46	01/31/2015	11:33:44	16.22	-97.86	10	3.5	Southeast of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	13
47	01/31/2015	12:35:22	16.07	-96.97	39	3.5	Northeast of Puerto Escondido, Oaxaca State	13

Table 6. General characteristics of most notably seismic events in the site “Corralero”, period 01/02 to 13/02, 2015.

Event	Date	Time	Lat	Long	Depth	Magn.	Zone	Figure
3	04/02/2015	20:38:37	16.34	-98.23	22	3.4	West of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	14
6	06/02/2015	01:50:12	16.48	-98.46	27	3.5	Southwest of Ometepec, Guerrero State	14
10	08/02/2015	12:18:35	16.50	-98.25	27	3.6	Southeast of Ometepec, Guerrero State	14
15	11/02/2015	14:39:36	15.94	-98.00	20	4.1	South of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	15
20	12/02/2015	11:10:20	16.23	98.03	5	3.5	South of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	15
26	13/02/2015	20:48:58	16.46	-98.68	16	3.5	Southwest of Ometepec, Guerrero State	15

Table 7. General characteristics of most notably seismic events in the site “Corralero”, period 02/17 to 02/28, 2015.

Event	Date	Time	Lat	Long	Depth	Magn.	Zone	Figure
1	02/17/2015	16:19:09	16.53	-98.46	10	3.5	Southwest of Ometepec, Guerrero State	16
6	02/18/2015	18:42:07	16.33	-98.23	14	3.7	West of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	16
11	02/19/2015	13:02:59	16.23	-98.04	5	3.5	South of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	16
14	02/22/2015	21:01:28	16.27	-98.25	13	3.5	Southwest of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	16
20	02/24/2015	15:52:52	16.21	-98.08	11	3.8	South of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	17
21	02/24/2015	17:03:32	16.31	-98.25	14	3.6	West of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	17
23	02/26/2015	09:04:50	16.28	-98.14	13	3.6	Southwest of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	17
24	02/26/2015	12:15:04	16.64	-98.39	42	3.5	Southeast of Ometepec, Guerrero State	17
25	02/27/2015	12:46:53	16.32	-98.16	19	3.6	West of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	17
29	02/28/2015	19:42:42	16.29	-98.09	11	3.7	Southwest of Pinotepa Nacional, Oaxaca State	17

Energy manifestations and phenomena that occur before and after an earthquake can be grouped into two major categories: those events associated with the *MECHANICAL ENERGY* when blocks of rocks break their position of equilibrium, in this set are included events as terrain deformations or tilting [42]; changes in subsurface porosity, changes in water levels, as well as the release and presence of radioactive gases such as Radon²²² in the surface [2] [5] [43]-[47]. Other category is related to the *IONIZING ENERGY*, involve energy processes before the earthquake occurs, fog and cloud formation in areas near fault lines being among those frequently mentioned [1] [6] [18]; too changes in atmospheric electricity, temperature, and relative humidity [8] [24] [49] [50]; the presence of electromagnetic flux [48]; lights seen over ridges and mountaintops [16] [50]; and changes in animal and human behavior [2] [31] [32] [51]-[54]. All of these phenomena manifestations provide strong evidence of energy existence associated with earthquakes, but not of their exact origin. However, they should not be considered as merely curious, amusing, or even entertaining phenomena, such as the presence of lights or glares before and after an earthquake. Such phenomena should be of scientific interest because of the effects that predecessor earthquakes and their accompanying events have on the natural environment and on human settlements.

Atypical conductivity drops at the “Corralero” site (**Figures 12-17**) behaving as pulses, may provide indirect evidence of the presence of surrounding energy as presumed and mentioned in previous paragraphs. The subtle relationship between conductivity variations and earthquakes in aquatic environments near seismic areas and the energy emanating from the Earth’s crust are evidence meant to further contribute to the understanding of these events and their preceding accompanying phenomena. As stated in the second assumption supporting this research, natural energy emanating from the surrounding environment would be sufficient to interfere with the normal operation of the Data Logger, interrupting the electric current or ionic conduction, causing unusual variations in conductivity; apparently, this interference appears to be a fact. This anomaly leads to two more assumptions: ion movement was directed towards a field of more intense energy, or the electric flux between the electrodes of the appliance was interfered with by the same field of natural energy (electromagnetic fields), altering the movement of ions.

In order to find a supported answer to these variations, one possibility mentioned in the literature is that changes in electric conductivity may be caused by the mixing (recharge) of different qualities of water because of the increases or decreases of ion concentration [55] or possibly also is due also to terrain compress or tilting [42] caused by very light earthquakes which increase internal water flow rising mixing. Mixing by natural processes of ground-water and surface-water interaction appears to be unsupported since the water of the “Corralero” site well does not seem to have an exchange with or to be renewed by a nearby wellspring or rainwater because sampling was conducted during the dry season of the year. An additional factors might be the temperature or the proximity of a coastal lagoon, inclusively with all due caution, others could be the Coriolis effect caused by Earth rotation movement or the Lunar influence by gravitational attraction, some of these possible answers would be matter of research. Indisputable conductivity variations do not follow a set pattern, as shown in the sampling site “Corralero”, from week to week the number of variations is not constant, in a few hours can be presented two or three variations and the next week be more regular with one per day, **Figure 12** and **Figure 13**. In another period it can present a week with two very close variations in a few hours and the next week it can increase the number of variations, appearing two or three of them in very short periods of time, **Figure 16** and **Figure 17**.

A common element to the ions’ change of direction or the interference of the instruments’ electric field could be the presence of an electromagnetic field in the surrounding environment; in this case, electromagnetic pulses emanating from the Earth’s crust or deeper layers, evidence of which is an anomaly in conductivity (**Figures 12-17**). This electromagnetic energy has often been detected and considered a precursor of seismic events by various authors and it is considered one of the anomalies with the greatest time interval of environment permanency; furthermore, it is characterized by an unusual increase of the electric potential near epicenters [3] [4] [7] [8] [12] [13] [48]. Therefore, the systematic monitoring of conductivity, preferably established in areas with frequent and intense seismic activity, may contribute more to understanding of this type of phenomenon. For this reason, it is a sustainable option and can be a preventive tool when considering the apparent relationship existing between water conductivity and subsequent earthquake occurrences.

6. Conclusions

According to the results described in this paper is concluded:

- The conductivity monitoring process of water in the wellsprings, the cistern, and the artesian well provide evidence of the possible existence of local energy that is manifested with drops or atypical conductivity readings in aquatic environments close to areas of frequent seismic events; as well as of the possible relationship to subsequent seismic activity. These variations are possibly due to the influence of energy emanating from inside the Earth's layers. Consequently, the first assumption upon which this research is based is apparently fulfilled, as monitoring the conductivity in areas with high seismic incidence and frequency indirectly provides a possible evidence of the presence of an electric and electromagnetic potential in the environment, energy that, as stated in the second assumption, could have interfered with the normal operation of the Data Logger, changing the movement of the ions dissolved in the aquatic environment towards a more intense field, resulting in reading variation of conductivity.
- Variations or atypical conductivity readings in existing water bodies located in areas with frequent seismic activity show a subtle connection with the subsequent potential occurrence of earthquakes (Figures 12-17).
- Conductivity readings in areas with high seismicity not follow a regular pattern over time, they are changing in short periods of time, registering up to three variations over a period of seven hours (Figure 14 and Figure 17).
- Conductivity monitoring in seismic areas could be a sustainable option as a preventive measure for anticipating earthquakes. This can be achieved by placing measuring instruments in those areas where earthquakes historically occur.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge to Engineer José Francisco Hernández Pérez, Head of the Center of Proposed Draft of the South Pacific, regional office of the Coordination of Hydroelectric Projects (CFE), for the logistics support provided. Transportation as well as human and financial resources were crucial for completing this research; visits to monitoring sites would have been extremely difficult without this support. Likewise to Andrés Suasto A., Oscar E. González A., Ricardo Vázquez H. and José H. Granados Z., for their support and solidarity during the trip.

References

- [1] Asada, T., Baba, H., Kawazoe, M. and Sugiura, M. (2001) An Attempt to Delineate Very Low Frequency Electromagnetic Signals Associated with Earthquakes. *Earth, Planets and Space*, **53**, 55-62. <http://dx.doi.org/10.1186/BF03352362>
- [2] Cicerone, R.D., Ebel, J.E. and Britton, J. (2009) A Systematic Compilation of Earthquake Precursors. *Tectonophysics*, **476**, 371-396. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.008>
- [3] Koshevaya, S.V., Pérez-Enríquez, R. and Kotsarenko, N.Y. (1997) The Detection of Electromagnetic Processes in the Ionosphere Caused by Seismic Activity. *Geofísica Internacional*, **36**, 55-60.
- [4] Kotsarenko, A., Grimalsky, V., Koshevaya, S., Pérez Enríquez, R., Yutis, V., López Cruz-Abeyro, J.A. and Villegas Cerón, R.A. (2008) Evidence of a New Electromagnetic Resonance Discovered at Teoloyucan Geomagnetic Station, México? *Geofísica Internacional*, **47**, 287-293.
- [5] Omori, Y., Yasuoka, Y., Nagahama, H., Kawada, Y., Ishikawa, T., Tokonami, S. and Shinogi, M. (2007) Anomalous Radon Emanation Linked to Preseismic Electromagnetic Phenomena. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **7**, 629-635. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-7-629-2007>
- [6] Bleier, T., Dunson, C., Alvarez, C., Freund, F. and Dahlgren, R. (2010) Correlation of Pre-Earthquake Electromagnetic Signals with Laboratory and Field Rock Experiments. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **10**, 1965-1975. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-10-1965-2010>
- [7] Pulinets, S.A., Contreras, A.L. and Ciralo, L. (2005) Total Electron Content Variations in the Ionosphere before the Colima, Mexico, Earthquake of 21 January 2003. *Geofísica Internacional*, **44**, 369-377.
- [8] Pulinets S.A. and Dunajacka, M.A. (2007) Specific Variations of air Temperature and Relative Humidity around the Time of Michoacan Earthquake M8.1 Sept. 19, 1985 as a Possible Indicator of Interaction between Tectonic Plates. *Tectonophysics*, **431**, 221-230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2006.05.044>
- [9] Pulinets, S. (2004) Ionospheric Precursors of Earthquakes: Recent Advances in Theory and Practical Applications, *Terr. Atmospheric & Ocean Science*, **15**, 413-435.
- [10] Pulinets, S.A. (2009) Physical Mechanism of the Vertical Electric Field Generation over Active Tectonic Faults. *Ad-*

- vances in Space Research*, **44**, 767-773. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2009.04.038>
- [11] Pulinets, S.A., Ouzounov, D., Ciraolo, L., Singh, R., Cervone, G., Leyva, A., Dunajacka, M., Karelin, A.V., Boyarchuk, K.A. and Kotsarenko, A. (2006) Thermal, Atmospheric and Ionospheric Anomalies around the Time of the Colima M7.8 Earthquake of 21 January 2003. *Annales Geophysicae*, **24**, 835-849. <http://dx.doi.org/10.5194/angeo-24-835-2006>
- [12] Pulinets, S.A., Ouzounov, D., Karelin, A.V., Boyarchuk, K.A. and Pokhmelnikh, L.A. (2006) The Physical Nature of Thermal Anomalies Observed before Strong Earthquakes. *Physics and Chemistry of the Earth*, **31**, 143-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2006.02.042>
- [13] Sarkar, S., Choudhary, S., Sonakia, A., Vishwakarma, A. and Gwal, A.K. (2012) Ionospheric Anomalies Associated with the Haiti Earthquake of 12 January 2010 Observed by DEMETER Satellite. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **12**, 671-678. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-12-671-2012>
- [14] Shiro, B., Freund, F., Cagle, Y., Pilorz, S. and Hollis-Watts, P. (2012) Measuring Ion Currents and Electric Fields Caused by Earthquakes, Volcanoes and Lightning in the Mesosphere. *NSRC*, 27-29 February 2012, Palo Alto, 1-3.
- [15] Araiza-Quijano, G. and Hernandez-del-Valle, M.R. (1996) Some Observations of Atmospheric Luminosity as a Possible Earthquake Precursor. *Geofísica Internacional*, **35**, 403-408.
- [16] Heraud, J.A. and Lira, J.A. (2011) Co-Seismic Luminescence in Lima, 150 km from the Epicenter of the Pisco, Peru Earthquake of 15 August 2007. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **11**, 1025-1036. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-11-1025-2011>
- [17] Straser, V. (2009) Luminous Phenomena in the Atmosphere: Signs of Uplift of the Earth's Crust? The "Lights" in Taro Valley (Italy) and Hessdalen (Norway). *New Concepts in Global Tectonics*, No. 53, 47-56.
- [18] Biagi, P.F., Piccolo, R., Ermini, A., Fujinawa, Y., Kingsley, S.P., Khatkevich, Y.M. and Gordeev, E.I. (2001) Hydro-geochemical Precursors of Strong Earthquakes in Kamchatka: Further Analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **1**, 9-14. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-1-9-2001>
- [19] Guo, G. and Wang, B. (2008) Cloud Anomaly before Iran Earthquake. *International Journal of Remote Sensing*, **29**, 1921-1928. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160701373762>
- [20] Koren, I., Altaratz, O., Remer, L.A., Feingold, G., Martins, J.V. and Heiblum, R.H. (2012) Aerosol-Induced Intensification of Rain from the Tropics to the Mid-Latitudes. *Nature Geoscience*, **5**, 118-122. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1364>
- [21] Henshaw, D.L. (2004) Childhood Leukaemia and EMFs, Mobile Phones and Brain Tumours, Risks and Causal Pathways. Two Types of Fields from the Electricity Supply: Electric Fields (EFs) & Magnetic Fields (MFs). Doubling of Childhood Leukaemia Risk Increased Incidence of Chi. *The 7th Princess Chulabhorn International Science Congress*, 1-17.
- [22] Henshaw, D.L., Ward, J.P. and Matthews, J.C. (2008) Can Disturbances in the Atmospheric Electric Field Created by Powerline Corona Ions Disrupt Melatonin Production in the Pineal Gland? *Journal of Pineal Research*, **45**, 341-350. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-079X.2008.00594.x>
- [23] Papadopoulos, G.A., Charalampakis, M., Fokaefs, A. and Minadakis, G. (2010) Strong Foreshock Signal Preceding the L'Aquila (Italy) Earthquake (M_w 6.3) of 6 April 2009. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **10**, 19-24. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-10-19-2010>
- [24] Dunajacka, M.A. and Pulinets, S.A. (2005) Atmospheric and Thermal Anomalies Observed around the Time of Strong Earthquakes in Mexico. *Atmosfera*, **18**, 235-247.
- [25] Pulinets, S.A. (2009) Physical Mechanism of the Vertical Electric Field Generation over Active Tectonic Faults. *Advances in Space Research*, **44**, 767-773. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2009.04.038>
- [26] Virk, H.S., Walia, V., Sharma, A.K., Kumar, N. and Kumar, R. (2000) Correlation of Radon Anomalies with Microseismic Events in Kangra and Chamba Valleys of N-W Himalaya. *Geofísica Internacional*, **39**, 221-227.
- [27] Freund, F.T. (2007) Pre-Earthquake Signals—Part I: Deviatoric Stresses Turn Rocks into a Source of Electric Currents. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **7**, 535-541.
- [28] Freund, F.T., Takeuchi, A., Lau, B.W.S., Al-Manaseer, A., Fu, C.C., Bryant, N.A. and Ouzounov, D. (2006) Stimulated Infrared Emission from Rocks: Assessing a Stress Indicator. *eEarth*, **1**, 97-121.
- [29] Freund, F.T. (2003) Rocks That Crackle and Sparkle and Glow—Strange Pre-Earthquake Phenomena. *Journal of Scientific Exploration*, **17**, 37-71.
- [30] Freund, F.T. (2007) Pre-Earthquake Signals—Part II: Flow of Battery Currents in the Crust. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **7**, 543-548. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-7-543-2007>
- [31] Grant, R.A. and Halliday, T. (2010) Predicting the Unpredictable, Evidence of Pre-Seismic Anticipatory Behaviour in the Common Toad. *Journal of Zoology*, **281**, 263-271. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7998.2010.00700.x>

- [32] Grant, R.A., Halliday, T., Balderer, W.P., Leuenberger, F., Newcomer, M., Cyr, G. and Freund, F.T. (2011) Ground Water Chemistry Changes before Major Earthquakes and Possible Effects on Animals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **8**, 1936-1956. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph8061936>
- [33] Tong, W.K. (1988) Abnormal Animal Behavior. Faculty of the Department of Earth Sciences, Northeastern Illinois.
- [34] Dologlou, E. (2010) Recent Aspects on Possible Interrelation between Precursory Electric Signals and Anomalous Bioeffects. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **10**, 1951-1955. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-10-1951-2010>
- [35] Nava, A. (2002) Terremotos. 4th Edition, Fondo de Cultura Económica (FCE), México.
- [36] Pérez-Campos, X., Kim, Y.H., Husker, A., Davis, P.M., Clayton, R.W., Iglesias, A., Pacheco, J.F., Singh, S.K., Manea, V.C. and Gurnis, M. (2008) Horizontal Subduction and Truncation of the Cocos Plate beneath Central Mexico. *Geophysical Research Letters*, **35**, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL035127>
- [37] Servicio Geológico Mexicano (SGM) (1998) Carta Geológico-Minera Cuernavaca E14-5. Secretaría de Economía, Cuernavaca, 1.
- [38] Servicio Geológico Mexicano (SGM) (1998) Carta Geológico-Minera Chilpancingo E14-8. Secretaría de Economía, 1.
- [39] Guangcai, W., Zuo Chen, Z., Min, W., Cravotta, C.A. and Chenglong, L. (2005) Implications of Ground Water Chemistry and Flow Patterns for Earthquake Studies. *Ground Water*, **43**, 478-484. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.2005.0037.x>
- [40] Kumar, A., Walia, V., Singh, S., Bajwa, B.S., Mahajan, S., Dhar, S. and Yang, T.F. (2012) Earthquake Precursory Studies at Amritsar Punjab, India Using Radon Measurement Techniques. *International Journal of Physical Sciences*, **7**, 5669-5677.
- [41] Sac, M.M., Harmansah, C., Camgoz, B. and Sozbilir, H. (2011) Radon Monitoring as the Earthquake Precursor in Fault Line in Western Turkey. *Ekoloji*, **20**, 93-98.
- [42] Fielding, E.J., Lundgren, P.R., Bürgmann, R. and Funning, G.J. (2009) Shallow Fault-Zone Dilatancy Recovery after the 2003 Bam Earthquake in Iran. *Nature*, **458**, 64-68. <http://dx.doi.org/10.1038/nature07817>
- [43] Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, T.F. and Chen, C.H. (2005) Soil Gas Radon Spectra and Earthquakes, Terr. *Atmospheric & Ocean Science*, **16**, 763-774.
- [44] Chyi, L.L., Chou, C.Y., Yang, F.T. and Chen, C.H. (2002) Automated Radon Monitoring of Seismicity in a Fault Zone. *Geofisica Internacional*, **41**, 507-511.
- [45] Singh, S., Kumar, A., Singh Bajwa, B., Mahajan, S., Kumar, V. and Dhar, S. (2010) Radon Monitoring in Soil Gas and Ground Water for Earthquake Prediction Studies in Northwest Himalayas, India, Terr. *Atmospheric & Ocean Science*, **21**, 685-695. [http://dx.doi.org/10.3319/TAO.2009.07.17.01\(TT\)](http://dx.doi.org/10.3319/TAO.2009.07.17.01(TT))
- [46] Thomas, D. (1988) Geochemical Precursors to Seismic Activity. *Pure and Applied Geophysics*, **126**, 241-266. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00878998>
- [47] Vaupotič, J., Riggio, A., Santulin, M., Zmazek, B. and Kobal, I. (2010) A Radon Anomaly in Soil Gas at Cazzaso, NE Italy, as a Precursor of an ML = 5.1 Earthquake. *Nukleonika*, **55**, 507-511.
- [48] Namgaladze, A.A., Zolotov, O.V., Karpov, M.I. and Romanovskaya, Y.V. (2012) Manifestations of the Earthquake Preparations in the Ionosphere Total Electron Content Variations. *Natural Science*, **4**, 848-855. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2012.41113>
- [49] Jin, X., Chen, Z., Ma, Q., Li, Y. and Pu, J. (2013) The Correlations between the Lightning Density Distribution of Sichuan Province and the Seismic Area. *International Journal of Geosciences*, **4**, 380-386. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2013.42036>
- [50] Sharma, D.K., Rai, J., Chand, R. and Israil, M. (2006) Effect of Seismic Activities on Ion Temperature in the F2 Region of the Ionosphere. *Atmosfera*, **19**, 1-7.
- [51] Kirschvink, J.L. (2000) Earthquake Prediction by Animals: Evolution and Sensory Perception. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **90**, 312-323. <http://dx.doi.org/10.1785/0119980114>
- [52] Buskirk, R.E., Frohlich, C. and Latham, G.V. (1981) Unusual Animal Behavior before Earthquakes: A Review of Possible Sensory Mechanisms. *Reviews of Geophysics*, **19**, 247-270. <http://dx.doi.org/10.1029/RG019i002p00247>
- [53] Deming, D. (2004) The Hum: An Anomalous Sound Heard around the World. *Journal of Scientific Exploration*, **18**, 571-595.
- [54] Frohlich, C. and Buskirk, R.E. (1980) Can Fish Detect Seismic Waves? *Geophysical Research Letters*, **7**, 569. <http://dx.doi.org/10.1029/GL007i008p00569>
- [55] Reddy, D.V. and Nagabhushanam, P. (2011) Groundwater Electrical Conductivity and Soil Radon Gas Monitoring for Earthquake Precursory Studies in Koyna, India. *Applied Geochemistry*, **26**, 731-737. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.01.031>



UAEMex



1.1.1. Artículo de investigación II, aceptado y publicado.



UAEMex



Dear **Fidel Martínez-García**,

I am writing with my pleasure to let you know the publication of your paper (ID: 1102836) in Open Access Library Journal (OALib Journal) is now completed. It is accessible at:

<http://www.oalib.com/journal>

Your intellectual contribution to this field is very much appreciated. We look forward to receiving your future progress on your research.

There are several tips for you after your paper publication:

1. We will submit the journal to various databases, in case your paper can be indexed by more.
2. Recommend your paper to your colleagues or library by emailing them the link of your paper.
3. We would like to invite you to submit papers often.

Thank you very much again for the achievement you have made. Wish you further progress on your research field! Hope to hear your news soon!

OALib Journal

OALib Journal is an all-in-one open access journal (ISSN Print: 2333-9705, ISSN Online: 2333-9721). It accepts a manuscript for the peer review process, typesetting, and publication, allocated to one of the 322 [subject areas](#).

[Submit now](#)



[Articles](#) | [Aims & Scope](#) | [Instructions for Author](#) | [Editorial Board](#) | [Publishing Price](#) | [Indexing](#)

Jul 28, 2016 [Open Access Article](#)

Natural Water Conductivity Behavior within the Seismic Pacific Coast of Southern Mexico

[Fidel Martínez-García](#), [Arturo Colín-Cruz](#), [Alberto Pereira-Corona](#), [Salvador Adame-Martínez](#), [Jorge J. Ramírez-García](#)

Near faults or unstable areas where an earthquake could happen with capacity of affecting buildings or infrastructure, there is often a previous energy that wanders around surroundings, this energy regularly is associated to electromagnetic emissions that generate an electric potential frequently studied as very, ultra-low and extreme frequency emissions (VLF-ULFELF_EM) by remote sensing; under the assumption that this natural potential exist, in aquatic environment within the micro-seismic...

[Geochemistry](#)

[EYing Lei](#)

Doi:[10.4236/oalib.1102836](https://doi.org/10.4236/oalib.1102836)



Natural Water Conductivity Behavior within the Seismic Pacific Coast of Southern Mexico

Fidel Martínez-García^{1,2*}, Arturo Colín-Cruz², Alberto Pereira-Corona³, Salvador Adame-Martínez⁴, Jorge J. Ramírez-García²

¹Center of Proposed Drafts of the South Pacific, Federal Electricity Commission, Cuernavaca, Morelos, Mexico

²Faculty of Chemistry, Autonomous University of Mexico State, Toluca de Lerdo, Mexico

³Department of Applied Ecology to Natural Resource Management, Autonomous University of Quintana Roo, Chetumal, Quintana Roo, Mexico

⁴Faculty of Urban and Regional Planning, Autonomous University of Mexico State, Toluca de Lerdo, Mexico

Email: fidel.martinez@cfe.gob.mx, fmg1376@yahoo.com.mx

Received 16 June 2016; accepted 22 July 2016; published 28 July 2016

Copyright © 2016 by authors and OALib.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Near faults or unstable areas where an earthquake could happen with capacity to damage buildings or infrastructure, there is often a previous energy that wanders around surroundings, this energy regularly is associated with electromagnetic emissions that generate an electric potential frequently studied as very, ultra-low and extreme frequency emissions (VLF-ULF-ELF_EM) by remote sensing; under the assumption that this natural potential exists, in aquatic environment within the micro-seismic active area in the coastal border of Guerrero and Oaxaca estates, Mexico, an intensive conductivity monitoring in two artesian well was carried out. The results of intensive conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) monitoring done since March to July of 2015, using a low-cost Data logger sensor are presented. The results obtained of the study of 235 seismic events show that 61.64% of them manifest prior conductivity oscillation *versus* 38.36% of early conductivity oscillation, the possible origin of such oscillation and the likely relation with underground water recharge flux, ground light compression, ground tilt, local electromagnetic energy emissions, human interaction, was debated. The data analysis for long periods of conductivity monitoring and seismic events show that when the number of seismic events becomes intense, conductivity decreases and *vice versa*, resulting large fluctuations that grow over time like waves; within the study area a possible previous fluctuated long-term energy associated with earthquakes produced around could be arising.

Keywords

Electromagnetic Emissions, Earthquakes, Natural Water Conductivity, Water Recharge,

*Corresponding author.

Natural water conductivity behavior within the seismic Pacific coast of southern Mexico.

Fidel Martínez-García^{1,*}, Arturo Colín-Cruz², Alberto Pereira-Corona⁴, Salvador Adame-Martínez³, Jorge. J. Ramírez-García².

¹ Center of Proposed Drafts of the South Pacific, Federal Electricity Commission, Cuernavaca, Morelos, Mexico State, Mexico.

² Faculty of Chemistry, Autonomous University of Mexico State, Toluca de Lerdo, Mexico State, Mexico.

² Faculty of Chemistry, Autonomous University of Mexico State, Toluca de Lerdo, Mexico State, Mexico.

³ Faculty of Urban and Regional Planning, Autonomous University of Mexico State, Toluca de Lerdo, Mexico State, Mexico.

⁴ Department of Applied Ecology to Natural Resource Management, Autonomous University of Quintana Roo State, Mexico.

Email: *fidel.martínez@cfе.gob.mx, *fmg1376@yahoo.com.mx

Abstract

Near faults or unstable areas where an earthquake could happen with capacity to affect buildings or infrastructure, there is often a previous energy that wanders around surroundings, this energy regularly is associated with electromagnetic emissions that generate an electric potential frequently studied as very, ultra-low and extreme frequency emissions (VLF-ULF-ELF_ EM) by remote sensing; under the assumption that this natural potential exist, in aquatic environment within the micro-seismic active area in the coastal border of Guerrero and Oaxaca estates, Mexico, an intensive conductivity monitoring in two artesian well was carried out. The results of intensive conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) monitoring done since March to July of 2015, using a low-cost Data logger sensor are presented. The results obtained of the study of 235 seismic events show that 61.64% of them manifest prior conductivity oscillation *versus* 38.36% of early conductivity oscillation; a discussion of the origin

of such oscillation and the possible relation with to recharge flux, ground light compression, ground tilt, local electromagnetic energy emissions, human interaction, was debated. The data analysis for long periods of conductivity monitoring and seismic events show that when the number of seismic events became intense, conductivity decreases and *vice versa*, resulting large fluctuations that grew over time lake waves, within the studied area appears to be there is a possible previous long-term energy oscillation associated to the process of earthquakes manifestation around.

Keywords

Electromagnetic emissions, Earthquakes, Natural water conductivity, water recharge, previous phenomenon of earthquakes, Cocos plates, Subduction zones.

1. Introduction

In the surrounding environment near areas with intense seismic activity there is a tight relationship among the electric and electromagnetic energy emanating from the Earth's interior and the earthquakes. Although the lithosphere is considered insulating and not allow the flux of energy arising from Earth's deep layers, there are discontinuities or weakness zones that make it possible; in general these areas are located all over the world where oceanic and continental plates collide giving rise to subduction zones [1]–[3]. The kind of energy regularly mentioned corresponds to electromagnetic emission (EME) studied in the range of very, ultra-low and extremely low frequency waves by remote sensing.

When this energy arrives at the Earth' surface [4]–[6] affects the local ionosphere by changing the local atmospheric electricity [4]–[16], heating and increasing the local relative humidity [9], [12], [17], [18]; all of these anomalies upset the local environment leads to luminous phenomena [9], [12], [19]–[21] and formation of aerosols and clouds [22]–[28]; some of these phenomena have been associated with changes in animal and human behavior because of presence of a charged atmosphere with positive ions [9], [12], [13], [24], [29]–[36]. It is known that the electromagnetic emission (EME) also enhance

natural radiation related to molecular decay of Radon gas that issuing from each fracture of rock, particularly enhance its ionizing energy, as occurs near power transmission lines [37]–[40].

Taking in account the main importance of this type of energy that emanates from the ground and flows in the natural environment preceding earthquakes and the series of natural phenomena in which intervenes, the purpose of this research is to detect this energy indirectly by determining natural water conductivity under the assumption that this energy wanders around near faults or unstable areas where an earthquake occurs.

2. Study Area Description

Mexico is one of the most seismic countries in the world, after Japan, Indonesia, Chile, Papua New Guinea and Turkey, particularly to the south and southeast of the country within the States of Michoacán, Guerrero, Oaxaca and Chiapas, this is due to the process of subduction associated to The Middle America Trench (MAT) in the Pacific coast of southern Mexico. In this place converge the continental North America and the oceanic Cocos plates, considered the most important tectonic features of Mexico [41]. The plate of Cocos moves almost horizontal 300 kilometers below the North American plate at rate of six centimeters per year downwards in the terrestrial mantle with a 55° inclination angle [42].

Of 2006 to 2015 were registered 32819 seismic events ($>3M_w$), of which 18773 have taken place in the Pacific Ocean and 14046 in the continental area, of last grouped near the coast in a fringe of 12 x 100 kilometers is concentrated 52% of them with 7337 events. Within this coastal border in Oaxaca estate limits is located the Pinotepa National municipality, demarcation with a territory of 719.56 km², in this place is registered the biggest number of seismic events with 1850; this municipality is the most micro-seismic active area per square kilometer with three events [37], [41]; in the interior of this area occurred on June 30, 2010 an earthquake of M6.0 at 02:22:27 hours and another one by June 25, 2015 of M5.1 at 05:31:46 hours.

The geology of surrounding area represents a transition zone between the coastal lowlands and the southern Sierra Madre (SMS), is complex because of convergence of different cortical blocks bound by faults that include a variety of exposed metamorphic rocks and intrusive bodies. The geomorphology and geology of this area correspond to a coastal plain with Quaternary alluvial materials; it is common to see these accumulations topping the intrusions and gneiss of the Xolapa complex next local rivers courses, hills and piedmonts [41].

The selected area of study correspond to a site called “Corralero” within Pinotepa Nacional municipality in the state of Oaxaca, Mexico, **Figure 1**, region with the largest number of earthquakes per square kilometer above mentioned [37], [41]. Two places were selected for the intensive conductivity monitoring in aquatic environment, one of them at the geographic coordinates $16^{\circ}14'10.6''\text{N}$ and $98^{\circ}11.406''\text{W}$, and the other one at $16^{\circ}14'10.5''\text{N}$ and $98^{\circ}11'14.5''\text{W}$; they correspond to artesian well of 1x1x6 meters (CAW01) and 1.3x1.3x3 meters dimensions (CAW02), respectively.

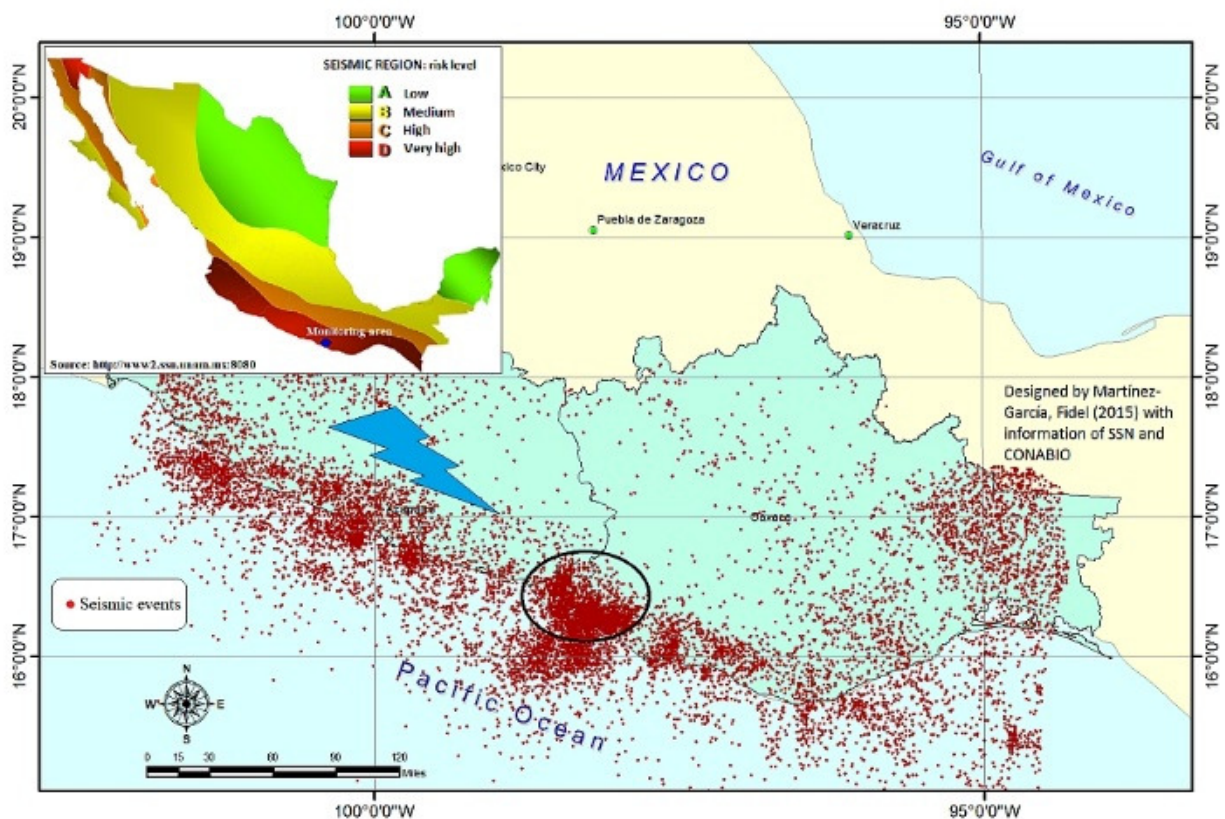


Figure 1. Study area geographic position, this place has the highest number of earthquakes per km². Obtained from Martínez-García *et al.*, 2015: support information obtained of National Commission for Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO: <http://www.conabio.gob.mx>) and SSN.

3. Scientific background

Since past century, the electromagnetic energy (EME) has been studied through of the very, ultra-low and extreme frequency electromagnetic emissions (VLF-ULF-ELF_ EM), regularly by remote sensing; considered a previous phenomenon of earthquakes, sometimes is used in short-term prediction of a large earthquake but his study is controversial to date [15], [43], [44]. Apparently there is a subtle correlation between the increase in VLF-ULF-ELF field emissions and the increased seismic activity although other parameters like solar wind could be involved too, [5], [45], [46].

This energy is concentrated often near faults or unstable areas where an earthquake could happen and often flow by periods of a few hours or one day during the seismic preparation process, although this period could be longer prior the main event [23], [46], this kind of perturbations prove that is not a casual phenomenon and could be associated with earthquakes [36], [46], [47]. In the earthquake's local neighborhood this phenomenon is associated with thermal anomalies commonly observed by remote sensing [48]–[50].

VLF-ULF-EM field emissions reported show a particular behavior, preceding the earthquake; there is an increase in the number of short pulses until a couple of weeks previous the earthquake [24], [51]. In general, the perturbations observed are responsible for increasing the Earth's surface potential (electric induction) associated with earthquakes; sometimes these anomalies are related with piezoelectric and triboelectric effects; emanation of warm gases from the ground; activation of positive holes; radioactive gas or metallic ions emissions such as Radon gas [10], [12], [52]. The detection of ULF EM signals are in several forms, either as ranges of frequency from: 0.01 to 80 kHz and sometimes until to 18 MHz, or magnetic signals levels of 0.9 a 5.0 Nano Tesla, nT [9], [14].

4. Materials and Methods

Electromagnetic signals have extensively used to study the lower ionosphere anomalies previous to earthquakes [1], [5], [45]–[47]. By the inherent importance of this type of energy and his relations with the natural electric induction that produce, if this energy emanates from the ground and flows in the natural environment preceding earthquakes, then this energy could be detectable using a conductivity sensor to ground level. Under the assumption that this energy wanders around to faults or unstable areas where an earthquake could happen, as an indirect way to detect this energy, intensive monitoring were conducted in two artesian wells using a low-cost Data logger HOBO U24-001 sensor to measure the local natural conductivity understood this as a measure of a solution's ability to conduct electricity.

The Data logger HOBO U24-001 [53] uses a non-contact capacitive sensor. This technology consists in an electronic piece called “capacitor” or “condenser” that contain two conductive sensitive electrodes (plates) and materials with low conductivity and high insulation characteristics called dielectric. The water conductivity and the sensor capacitance create a resistor–capacitor circuit (RC circuit) as response to AC stimulation, which varies as a function of the conductivity; essentially this instrument measures the changes of impedance of the circuit as response to water conductance changes.

This investigation in aquatic environment through the intensive conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) monitoring was carried out since March to July 2015, using a conductivity sensor emplaced in two artesian well, CAW01 and CAW02 using a sample frequency of 45 seconds; CAW01 site was monitored from March 2 to May 11, 2015 and the monitoring period for CAW02 was from May 11 to July 17, 61 days of monitoring for each.

Information of all earthquakes manifested in the period of March to July were acquired, particularly inside the territorial limits of the states of Guerrero and Oaxaca, Mexico, **Figure 1**: the data were downloaded of the page Web of the Seismological National (SSN) Service of Mexico, <http://www2.ssn.unam.mx:8080/index.html>.

In each artesian well the monitoring period was performed in three steps due to limited memory and battery capacity of the Data logger. Related to seismic data, each earthquake obtained was to less than 50 kilometers away, taking in consideration that both artesian wells are in a place with the highest seismicity of the region [37], [41]. For spatial distribution of seismic data, seismic event statistics obtained from the National Seismological Service (SSN: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/index.html>) of Mexico, were imported to a geographic information system (GIS) to edit and deuplicate them. Every seismic event in the marine environment and those located beyond the distances of 50 kilometers were eliminated, thus obtaining a preliminary table. The seismic events resulting from the filtering were time synchronized graphically with the conductivity monitoring data by adding seismic events' series to conductivity series, replicating each step twice, one by each artesian well.

In natural environments, physical and biogeochemical processes called diel cycles influence the conductivity [54]. This measure is affected too by factors like temperature, mixing or recharge of different qualities of water because of the increases or decreases of ion concentration, or inclusive too mixing due to terrain compression or slight tilting of ground [9] caused by very light earthquakes which increase internal water flow in seismic areas [37]. These kinds of interferences make difficult to identify how the electromagnetic frequency signals manifest in the results, even so the analysis of intensive monitoring conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) within the place selected could show interesting outcomes. In order to filter it, the conductivity data ($\mu\text{S}/\text{cm}$) were pre-processed and transformed using the first derivative of function ($x, y = f(x), y' = f'(x)$) applying the equation $\text{Sine}(x), (-25*X3+48*X4-36*X5+16*X6-3*X7)/\square t$, using a spreadsheet calculus routine, **Figure 2**.

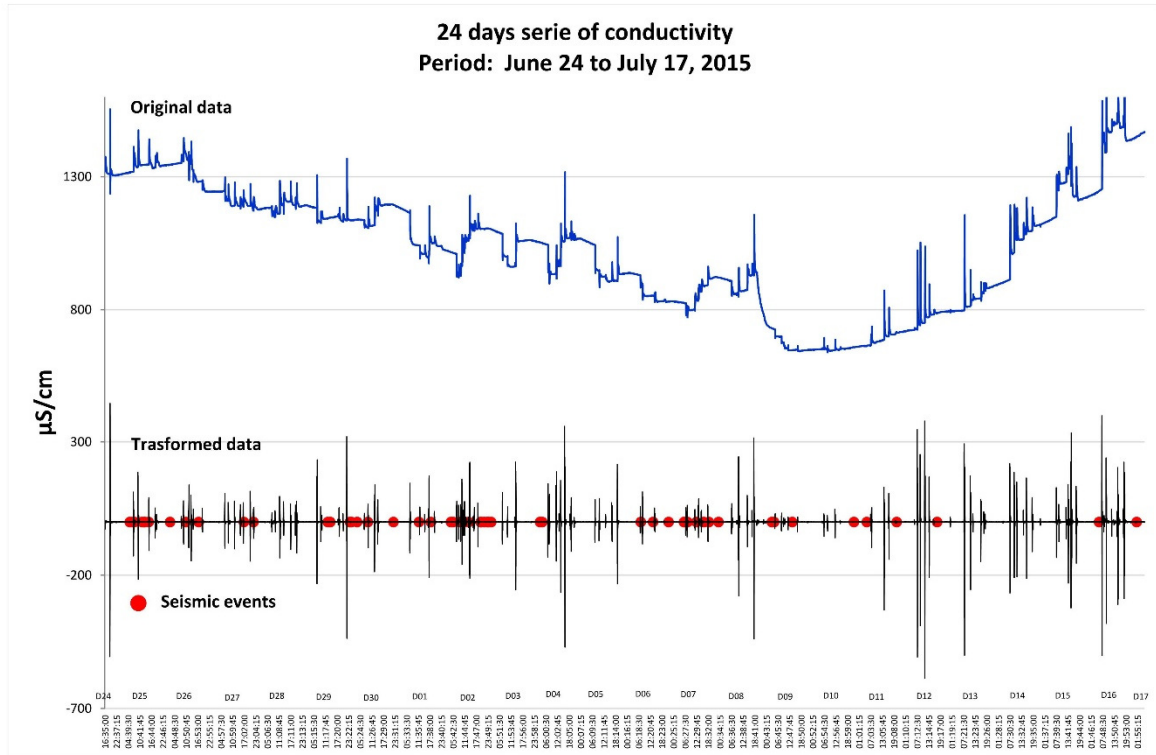


Figure 2. Mathematical pre-processed analysis of conductivity data (example): results of obtaining the first derivative.

5. Results

Under aquatic environment through the intensive conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) monitoring a research were conducted in two places using a low-cost Data logger HOBO U24-001 sensor to measure the local natural conductivity as an indirect way to detect the electromagnetic natural energy coming from the interior of the Earth and its possible relation to earthquakes afterward manifested. According to the foregoing, from March 2 to July 17, 2015, two artesian wells were monitored, using a sampling frequency of 4.5 seconds. In order to find the possible relationship of natural energy that wanders around surroundings with local seismicity, 2012 records of seismic activity were downloaded of the page web of the Seismological National Service of Mexico (SSN), <http://www2.ssn.unam.mx:8080/index.html>, were subsequently pre-processed according to the method above-mentioned in previous paragraphs. Under this pre-process, as result 235 earthquakes were analyzed and confronted with the results of intensive conductivity

monitoring data ($\mu\text{S}/\text{cm}$) obtained from two artesian well, by adding graphically, seismic events' series to conductivity series.

The monitoring period of artesian well CAW01 started since March with three continuous stages, the first was of March 2 to 16; the second was of March 23 to April 15; and the third took place of April 20 to May 11. Related to artesian well CAW02 the first monitoring stage was started from May 11 to June 1; the second one started on June 1 to 24; and the last one was monitored from June 24 to July 17. The results of conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) monitoring in the three stages conducted in each artesian well are shown in high resolution graphs, **Figures 3 to 8**, and the possible previous and after relationship with the seismic activity per each period in both sites CAW01 and CAW02 is included in **Tables 1 to 6** and debated in discussion section.

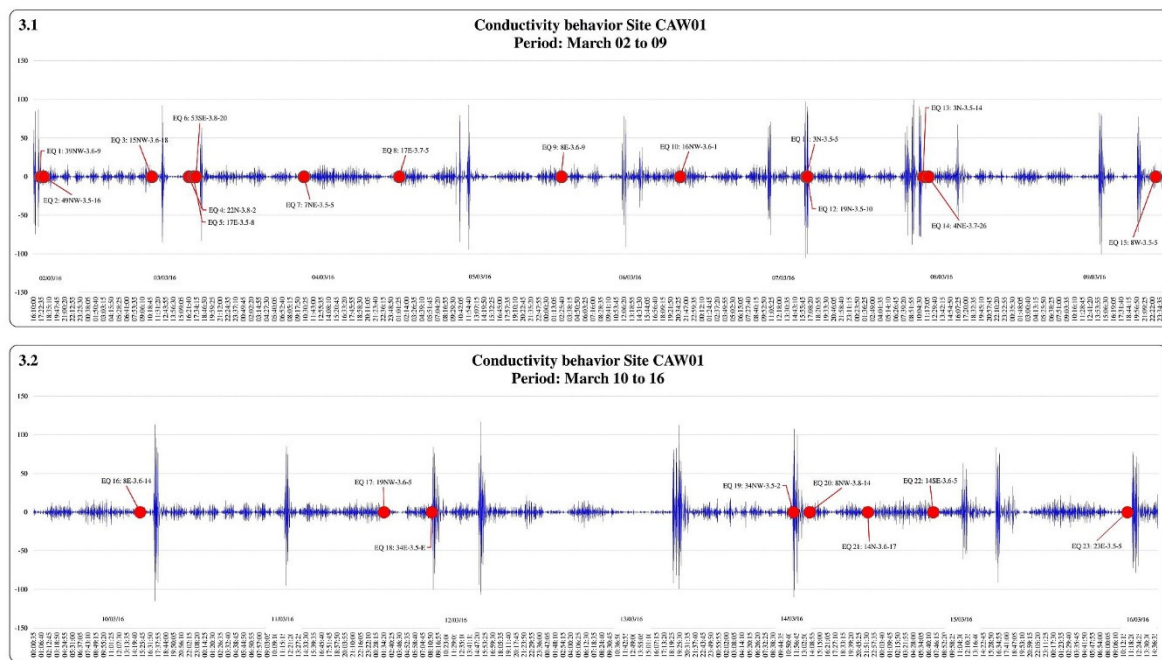


Figure 3. Conductivity behavior in artesian well CAW01 within the period of March 2 to 10. During that period 23 earthquakes were manifested with an average magnitude of 3.6. **Red dot (EQ 1: Cardinal point-wM-Depth).**

Table 1. Analysis of seismic activity and the conductivity behavior in artesian well CAW01. 20 of 23 earthquakes were related with important oscillation conductivity, 50 % of them display a prior oscillation and 50% early.

Figure	Event	Cardinal point	Distance	Magnitude	Depth	$\mu\text{S/cm}$ Oscillation	
						Previous	Later
3.1	1	NW	39	3.6	9	●	
3.1	2	NW	49	3.5	16	●	
3.1	3	NW	15	3.6	18		●
3.1	4	N	22	3.8	2		●
3.1	5	E	17	3.5	8		●
3.1	6	SE	53	3.8	20		●
3.1	8	E	17	3.7	5		●
3.1	9	E	8	3.6	9		●
3.1	10	NW	16	3.6	1	●	
3.1	11	N	3	3.5	5	●	
3.1	12	N	19	3.5	10	●	
3.1	13	N	3	3.5	14	●	
3.1	14	NE	4	3.7	26	●	
3.1	15	W	8	3.5	5	●	
3.2	16	E	8	3.6	14		●
3.2	17	NW	19	3.6	5		●
3.2	18	E	34	3.5	13		●
3.2	19	NW	34	3.5	2	●	
3.2	20	NW	8	3.8	14	●	
3.2	23	E	23	3.5	5		●

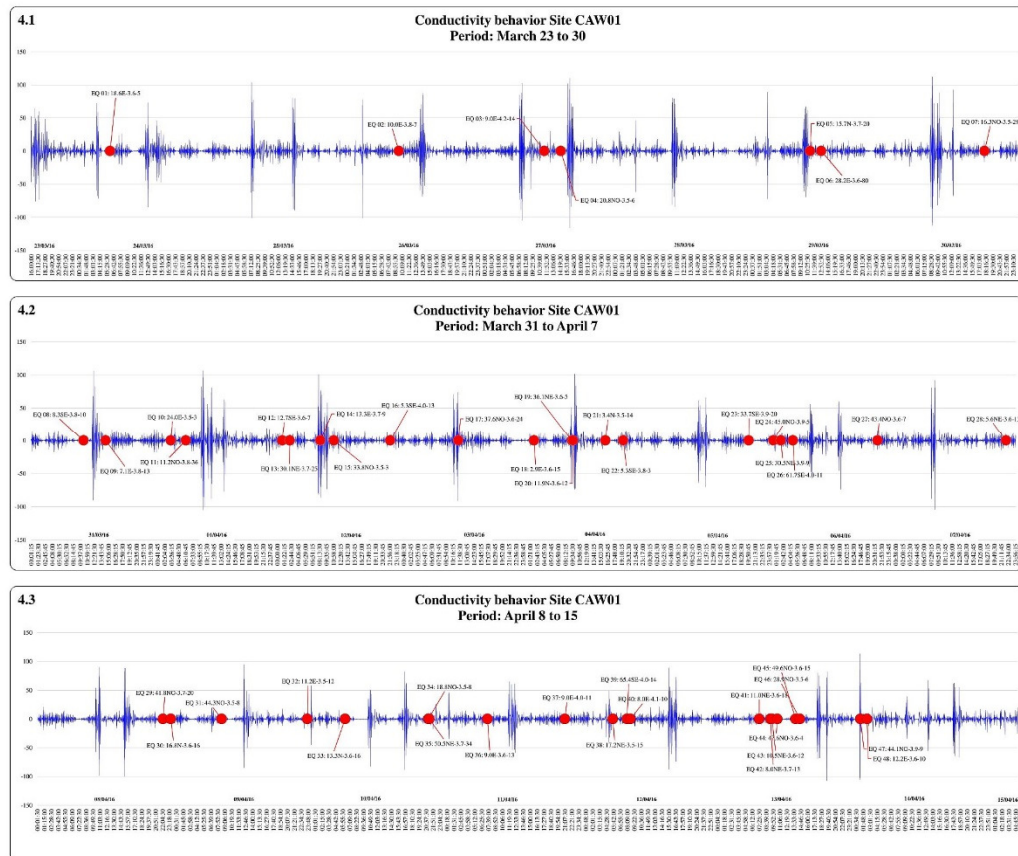


Figure 4. Conductivity behavior in artesian well CAW01 within the period of March 23 to April 15. During that period 48 earthquakes were manifested with an average magnitude of 3.7. Red dot (*EQ 1: Cardinal point-wM-Depth*).

Table 2. Analysis of seismic activity and the conductivity behavior in artesian well CAW01. 40 of 48 earthquakes were related with important oscillation conductivity, 42.5% of them display a prior oscillation and 57.5% early.

Figure	Event	Cardinal point	Distance	Magnitude	Depth	$\mu\text{S/cm}$ Oscillation	
						Previous	Later
4.1	1	E	18.6	3.6	5		●
4.1	2	E	10	3.8	7		●
4.1	3	E	9	4.2	14	●	
4.1	4	NW	20.8	3.5	6		●
4.1	7	N	15.7	3.7	20	●	
4.1	6	E	28.2	3.6	80	●	
4.1	7	NW	16.3	3.5	29		●
4.2	8	SE	8.3	3.8	10		●
4.2	9	E	7.1	3.8	13	●	
4.2	10	E	24	3.5	3		●
4.2	11	NW	11.2	3.8	36		●
4.2	12	SE	12	3.8	7		●
4.2	13	NE	30.1	3.7	25		●
4.2	14	E	13.3	3.7	9	●	
4.2	15	NW	33.8	3.5	3	●	
4.2	17	NW	37.6	3.6	24	●	
4.2	18	E	2.9	3.6	15		●
4.2	19	NE	36.1	3.6	5	●	
4.2	20	N	11.9	3.6	12	●	
4.2	21	N	3.4	3.5	14	●	
4.2	22	SE	5.3	3.8	3	●	
4.2	24	NW	45	3.9	5		●
4.2	26	NE	30.5	3.9	9		●
4.2	29	SE	61.7	4	11		●
4.2	27	NW	43.4	3.6	7	●	
4.3	29	NW	41.8	3.7	20	●	
4.3	30	N	16.8	3.6	16	●	
4.3	31	NW	44.3	3.5	8		●
4.3	33	N	13.3	3.6	16		●
4.3	36	E	9	3.6	3		●
4.3	37	E	9	4	11	●	
4.3	39	SE	65.4	4	14		●
4.3	40	E	40.8	4.1	10		●
4.3	42	NE	8	3.7	13		●
4.3	43	NE	10.5	3.6	12		●
4.3	44	NW	47.6	3.6	4		●
4.3	45	NW	49.6	3.6	15		●
4.3	46	NW	28.9	3.5	6		●
4.3	47	NW	44.1	3.9	9	●	
4.3	48	E	12.2	3.6	10	●	

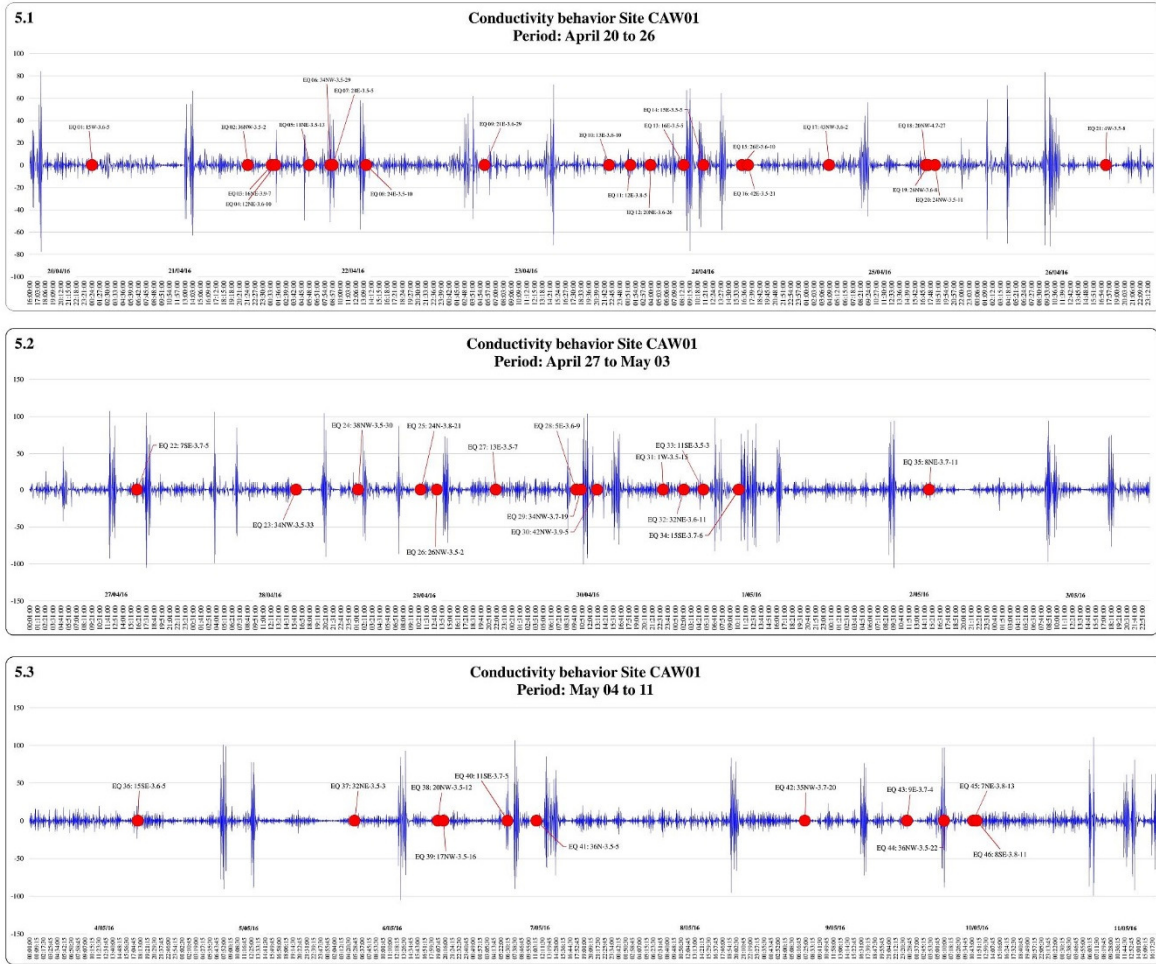


Figure 5. Conductivity behavior in artesian well CAW01 within the period of April 20 to May 11. During that period 46 earthquakes were manifested with an average magnitude of 3.6. Red dot (*EQ 1: Cardinal point-wM-Depth*).

Table 3. Analysis of seismic activity and the conductivity behavior in artesian well CAW01. 25 of 46 earthquakes were related with important oscillation conductivity, 60% of them display a prior oscillation and 40% early.

Figure	Event	Cardinal point	Distance	Magnitude	Depth	$\mu\text{S/cm}$ Oscillation	
						Previous	Later
5.1	1	W	15	3.6	5	●	
5.1	5	NE	11	3.5	13		●
5.1	6	NW	34	3.8	29	●	
5.1	7	E	28	3.5	5	●	
5.1	8	E	24	3.5	10	●	
5.1	13	E	16	3.5	5		●
5.1	14	E	15	3.5	5	●	
5.1	15	E	26	3.6	10	●	
5.1	16	E	42	3.5	21	●	
5.1	17	NW	43	3.6	2		●
5.1	18	NW	20	4.7	27	●	
5.1	19	NW	26	3.6	8	●	
5.1	20	NW	24	3.5	11	●	
5.1	21	W	4	3.5	8	●	
5.2	22	SE	7	3.7	5		●
5.2	25	N	24	3.8	21		●
5.2	26	NW	26	3.5	2		●
5.2	27	E	13	3.5	7	●	
5.2	28	E	5	3.6	9		●
5.2	29	NW	34	3.7	19		●
5.2	30	NW	42	3.9	5	●	
5.2	31	W	1	3.5	15	●	
5.2	33	SE	11	3.5	3		●
5.2	34	SE	15	3.7	6		●
5.2	35	NE	8	3.7	11	●	
5.3	37	NW	20	3.5	12		●
5.3	38	NW	17	3.5	16		●
5.3	40	SE	11	3.7	5	●	
5.3	41	N	36	3.5	5	●	
5.3	43	E	9	3.7	4	●	
5.3	44	NW	36	3.5	22	●	
5.3	45	NE	7	3.8	13		●
5.3	46	SE	8	3.8	11		●

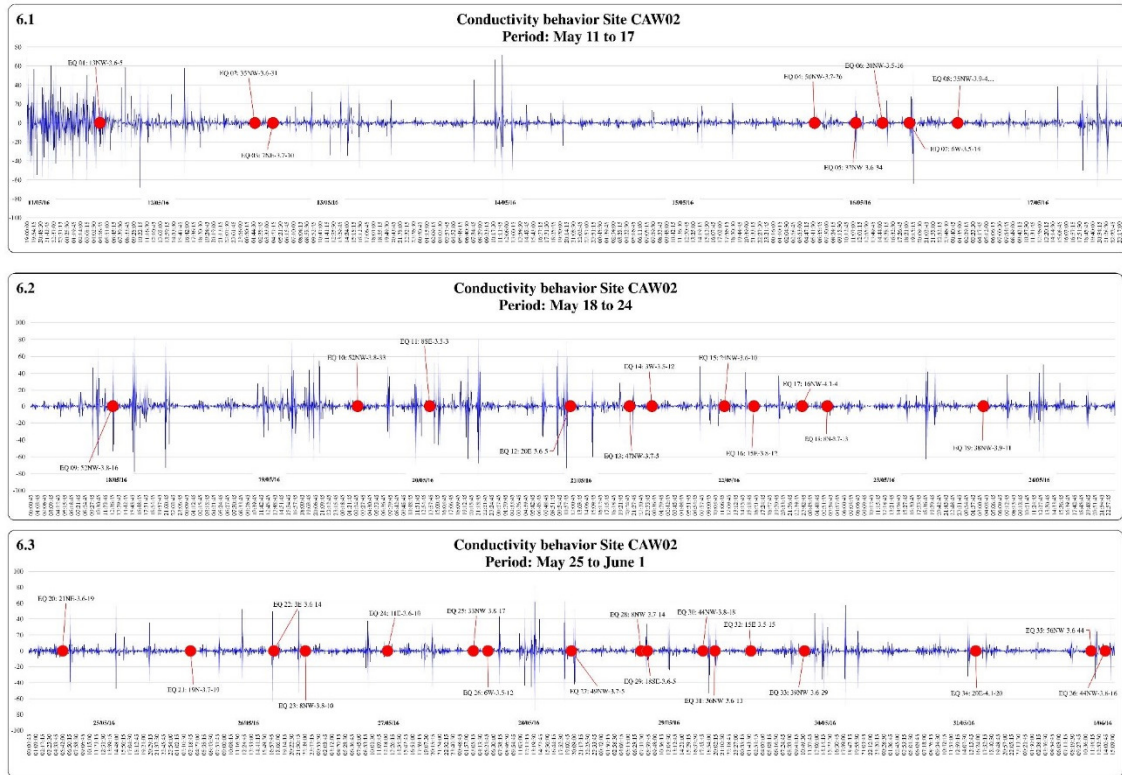


Figure 6. Conductivity behavior in artesian well CAW02 within the period of May 11 to June the first. During that period 36 earthquakes were manifested with an average magnitude of 3.7. **Red dot (EQ 1: Cardinal point-wM-Depth).**

Table 4. Analysis of seismic activity and the conductivity behavior in artesian well CAW02. 23 of 36 earthquakes were related with important oscillation conductivity, 78.3% of them display a prior oscillation and 21.7% early.

Figure	Event	Cardinal point	Distance	Magnitude	Depth	$\mu\text{S/cm}$ Oscillation	
						Previous	Later
6.1	1	NW	13	3.6	5	●	
6.1	2	NW	35	3.6	31	●	
6.2	9	NW	52	3.8	16	●	
6.2	10	NW	52	3.8	33	●	
6.2	11	SE	8	3.5	3		●
6.2	12	E	20	3.6	5		●
6.2	13	NW	47	3.7	5	●	
6.2	14	W	3	3.5	12	●	
6.2	15	NW	24	3.6	10	●	
6.2	16	E	15	3.8	12		●
6.2	17	NW	16	4.1	4	●	
6.2	18	N	8	3.7	13	●	
6.3	22	E	3	3.6	14	●	
6.3	23	NW	8	3.8	10	●	
6.3	24	E	11	3.6	10	●	
6.3	25	NW	33	3.8	7	●	
6.3	26	W	6	3.5	12		●
6.3	27	NW	49	3.7	5	●	
6.3	28	NW	8	3.7	14		●
6.3	29	SE	18	3.6	5	●	
6.3	30	NW	44	3.8	18	●	
6.3	31	NW	36	3.6	13	●	
6.3	33	NW	39	3.6	29	●	

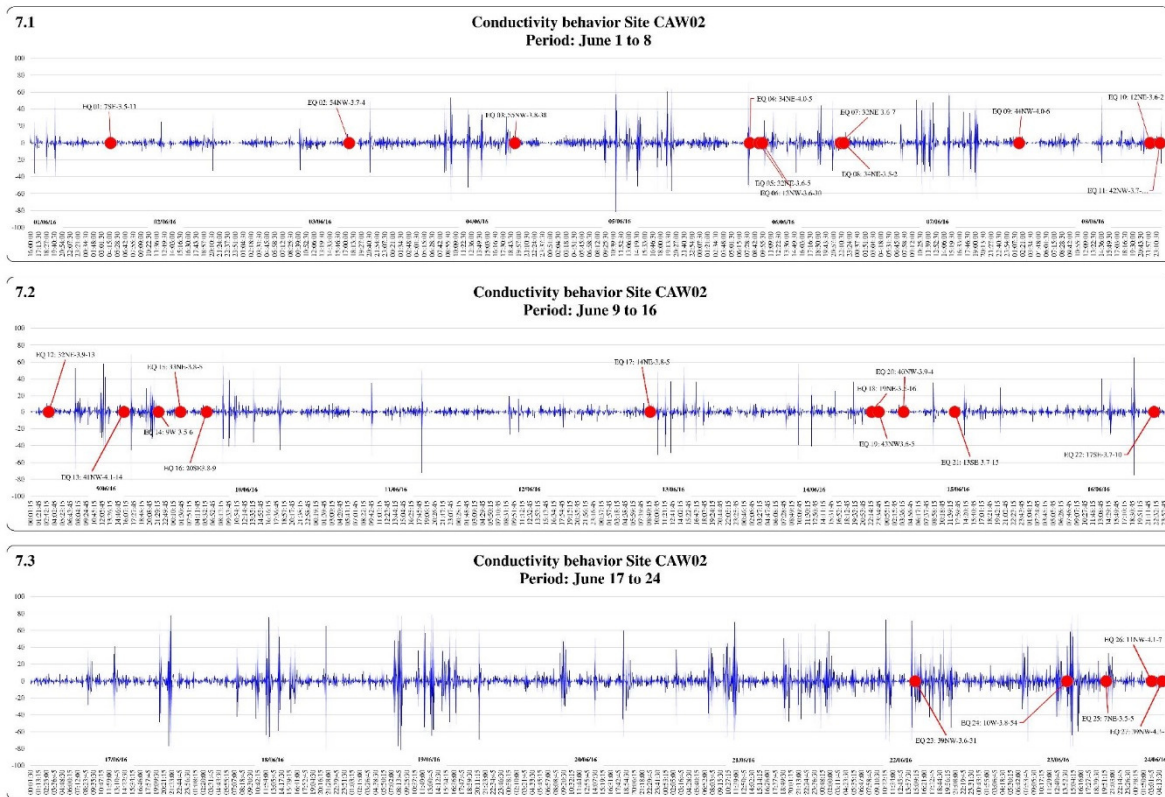


Figure 7. Conductivity behavior in artesian well CAW02 within the period of June 1 to 24. During that period 27 earthquakes were manifested with an average magnitude of 3.6. **Red dot (EQ 1: Cardinal point-wM-Depth).**

Table 5. Analysis of seismic activity and the conductivity behavior in artesian well CAW02. 19 of 27 earthquakes were related with important oscillation conductivity, 73.7% of them display a prior oscillation and 26.3% early.

Figure	Event	Cardinal point	Distance	Magnitude	Depth	µS/cm Oscillation	
						Previous	Later
7.1	3	NW	55	3.8	38	●	
7.1	4	NE	34	4	5		●
7.1	5	NE	32	3.6	5		●
7.1	6	NW	13	3.6	30		●
7.1	7	NE	32	3.6	7	●	
7.1	8	NE	34	3.5	2	●	
7.1	9	NW	44	4	6	●	
7.2	12	NE	32	3.9	13		●
7.2	13	NW	41	4.1	14	●	
7.2	14	W	14	3.5	6	●	
7.2	15	E	33	3.8	5	●	
7.2	16	SE	20	3.8	9		●
7.2	17	NE	14	3.8	5	●	
7.2	18	NE	19	3.5	16	●	
7.2	19	NW	43	3.6	5	●	
7.2	20	NW	40	3.9	4	●	
7.3	23	NW	39	3.6	31	●	
7.3	34	W	10	3.8	54	●	
7.3	35	NE	7	3.5	5	●	

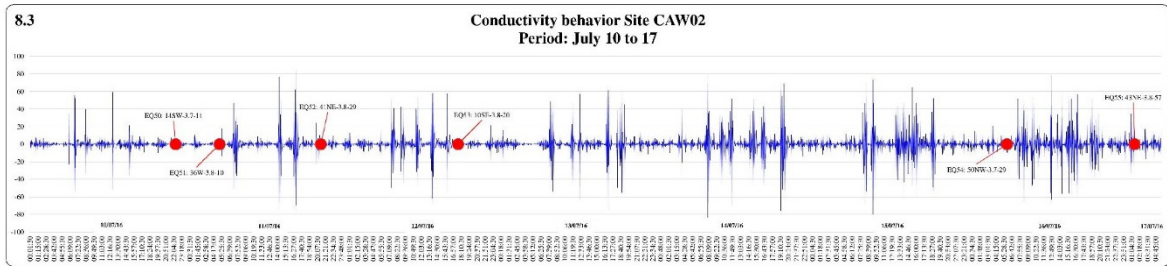
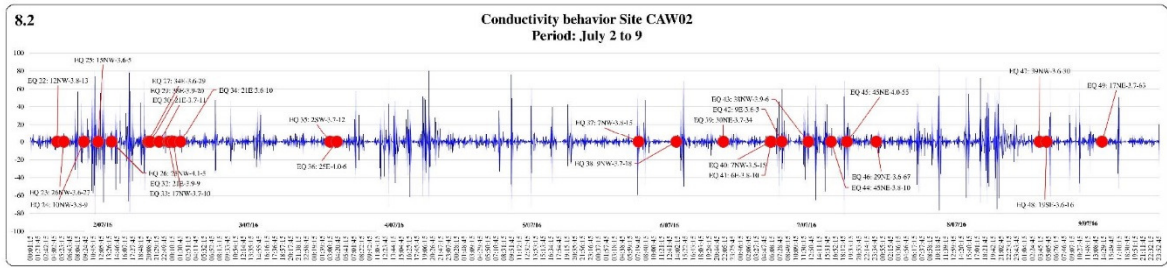
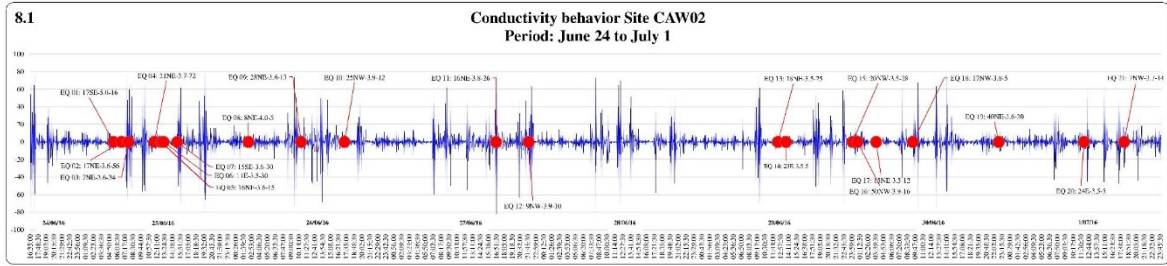


Figure 8. Conductivity behavior in artesian well CAW02 within the period of June 24 to July 17. During that period 55 earthquakes were manifested with an average magnitude of 3.7. Red dot (*EQ 1: Cardinal point-wM-Depth*).

Table 6. Analysis of seismic activity and the conductivity behavior in artesian well CAW02. 32 of 55 earthquakes were related with important oscillation conductivity, 75% of them display a prior oscillation and 25% early.

Figure	Event	Cardinal point	Distance	Magnitude	Depth	$\mu\text{S/cm}$ Oscillation	
						Previous	Later
8.1	1	SE	17	5	16	●	
8.1	2	NE	17	3.6	56	●	
8.1	3	NE	7	3.6	34	●	
8.1	4	NE	21	3.7	72	●	
8.1	5	NE	16	3.6	15	●	
8.1	6	E	11	3.5	30	●	
8.1	7	SE	15	3.6	30	●	
8.1	9	NE	28	3.6	13		●
8.1	10	NW	25	3.9	12	●	
8.1	13	NE	18	3.5	25		●
8.1	14	E	23	3.5	5		●
8.1	15	NW	20	3.5	28	●	
8.1	16	NW	50	3.9	16	●	
8.1	17	NE	15	3.5	12	●	
8.1	21	NW	7	3.7	14	●	
8.2	22	NW	12	3.8	13		●
8.2	23	NW	26	3.6	27		●
8.2	24	NW	10	3.8	9	●	
8.2	25	NW	15	3.6	5	●	
8.2	26	NW	25	4.1	5	●	
8.2	27	E	34	3.6	29	●	
8.2	28	E	37	3.7	26	●	
8.2	29	E	38	3.9	20	●	
8.2	30	E	30	3.7	11	●	
8.2	35	SW	2	3.7	12		●
8.2	36	E	25	4	6		●
8.2	47	NW	39	3.6	30	●	
8.2	48	SE	19	3.6	16	●	
8.3	52	NE	41	3.8	29	●	
8.3	53	SE	10	308	20	●	
8.3	54	NW	50	3.7	29		●
8.3	55	NE	43	3.8	57	●	

6. Discussion

Seismicity statistics show that the area designated for conductivity monitoring is the most active per square kilometer [37], [41], locally and taken the Data Logger as central reference for this, the 36.18% of the seismic events were located to the NW, nevertheless the seismic most important event registered during monitoring was located to the SE (M5.0; 06/25/2015; 5:31:46).

In relation to the linking between conductivity records and seismic activity during period of monitoring research, 61.64% of seismic events occurred prior conductivity oscillation *versus* 38.36% of early conductivity oscillation, **Tables 1 to 6**. The visual observation between graphs conductivity records and seismic activity by short times periods highlight

that there is no clear correspondence about to conductivity oscillation and the seismic activity, however certain and subtle tendency was observed for long time period of monitoring, this trend corresponds to the aggregation of seismic event and conductivity oscillation, however is not frequent; this behavior can be seen it in **Figure 6 (1), 7 (2)** and most undoubtedly in the **Figures 8 (1) and 8 (2)**.

From the 232 earthquakes studied, the statistics analysis shows that 159 earthquakes be like linked to conductivity oscillation, of whom 98 events showed a significant variation in the conductivity preceding to the seismic events, these represent 61.63%. 42 of 98 events (42.85%) again were placed to the NW and 20 toward E (20.4%). 61 events (38.36%) occurred before of conductivity oscillations; of them, 18 events were located to the E and 18 toward NW.

In terms of the conductivity behavior observed, the graph without data transformation of the artesian wells CAW01 and CAW02 data showed significant differences between them. The CAW01 site showed drops in conductivity with very marked fluctuation, the average values were 14.12 to 1203.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, **Figure 9**; while the site CAW02 oscillations were less marked, the oscillation value was 610 to 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, however the general behavior of the data appears to be odd, **Figure 10**.

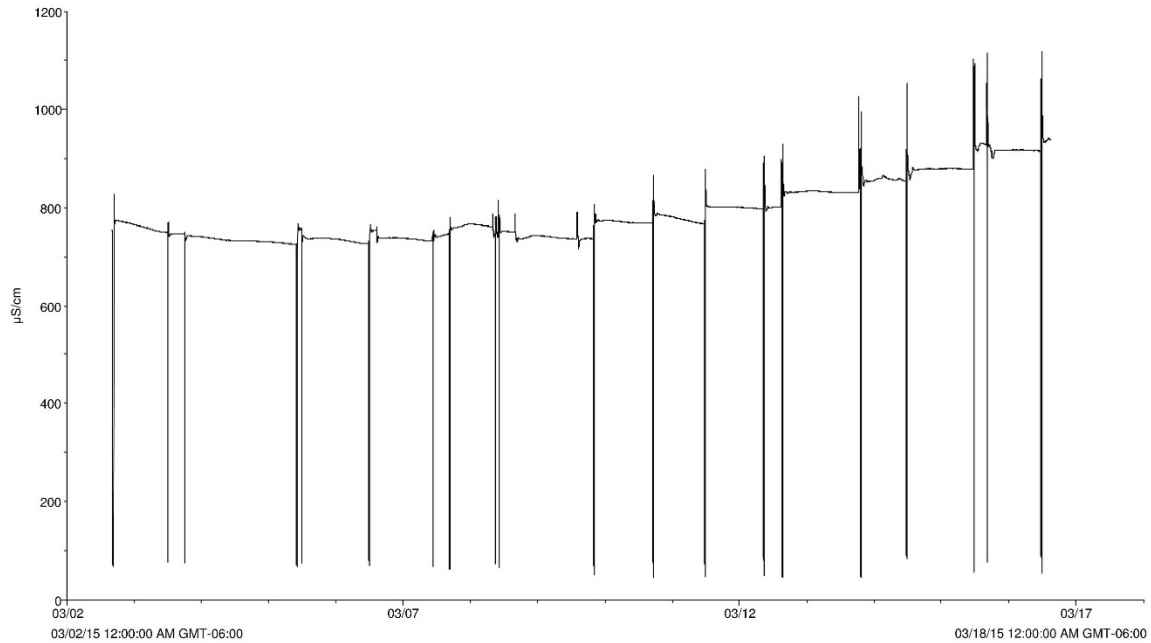


Figure 9. General behavior conductivity observed in the CAW01 site. This monitoring data correspond to a period of March 2 to 15 of 2015 only.

In both graphs the data conductivity trending showed-up to three diurnal variations, either decreasing or increasing the conductivity, this behavior may point out that the internal flow of water is extremely fast indicating a vigorous recharge. Some possible explanations for these anomalies could be the proximity of the sampling site to a lagoon or groundwater stream, although several of conductivity oscillations are more than normally of those expected in one day.

Another possible explanation is the frequent seismic activity in the area where are the sampling sites because of slight seismic movements or tremors [55]–[57], these movements also cause possible ground compression, like squeezing a sponge [9], [37], which is reflected in sudden changes in water chemistry by apparent flows of groundwater, this directly impacts the amount of ions and so reflected in conductivity oscillations.

Likewise, the atypical variations in conductivity may be associated with electromagnetic energy wandering in the surroundings [5], [46], [47], [58], which interacts with ionic local particles move them away of the conductivity sensor or also, triggering an interference to the conductivity sensor’s operation. Finally, the use of artesian wells that their owners

do to their household domestic chores can be others factors that promote changes in conductivity.

In accord with data plotted no transformed, **Figure 10**, from June 24 to July 9 a downward trend of conductivity was maintained and this period and is associated with a previous and important seismic activity; after that, seismic activity decrease, afterwards the tendency of conductivity oscillation was slightly again.

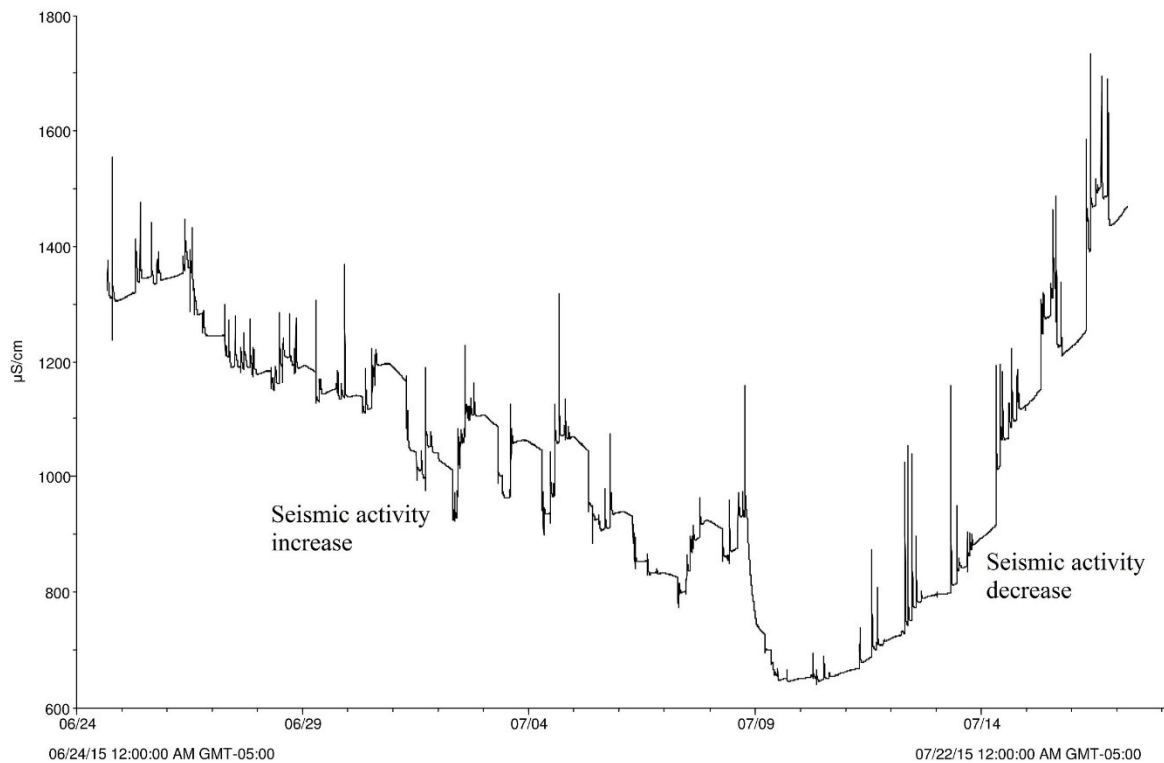


Figure 10. General behavior conductivity observed in the CAW02 site. This monitoring data correspond to a period of June 24 to July 14 of 2015 only.

The partial analysis of a multiple 24-hour data series sets of site CAW02 no transformed, during 16 days (June 24 to July 17), and the total monitoring period of CAW01 (March 2 to May 11, 61 days) and CAW02 (May 12 to July 17, 61 days) of 2015, show interesting divergence. In the first series of data the conductivity behavior shows noticeable oscillations between 7:00 to 22:00 hours, **Figure 11**, after this period, the oscillations decrease. This data conduct point to the possible human factor is causing the variability, but this it is not very clear; despite of coincidences between some series the oscillations' data had a wide range of conductivity values: 600 to 1700 µS/cm.

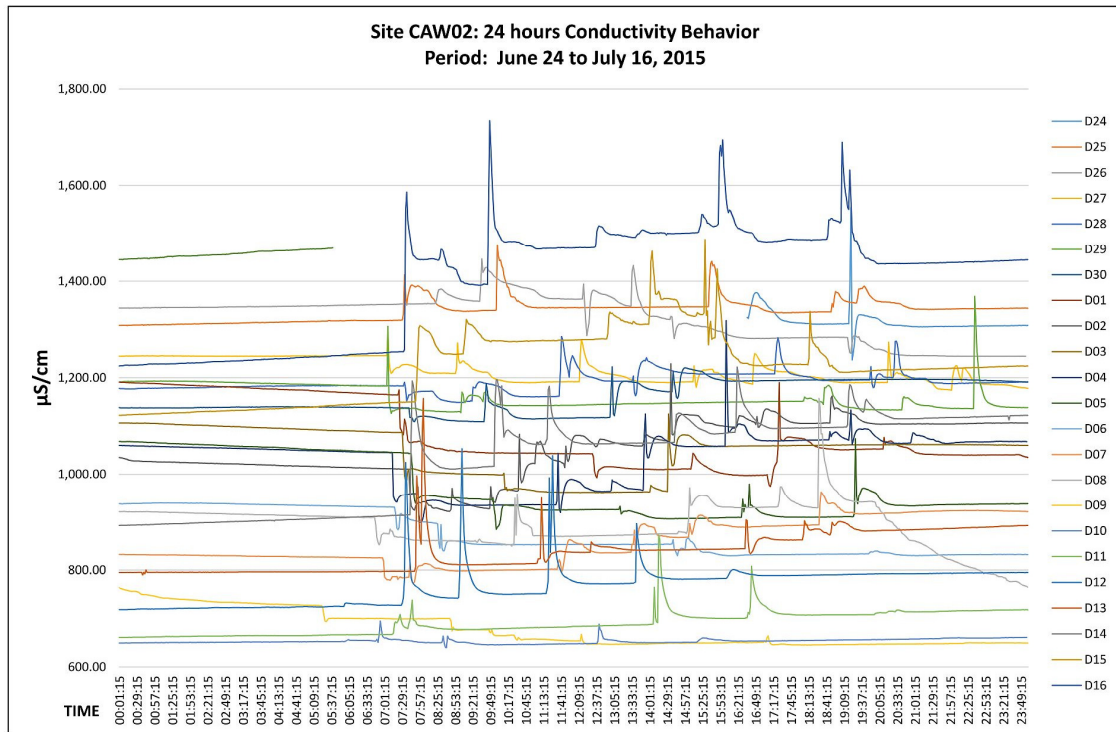


Figure 11. Conductivity behavior in multiple 24-hour data sets during 16 days.

The analysis of total data monitoring through 61 days of sites CAW01 and CAW02 without data transformation, show the subtle tendency between seismic event aggregation and conductivity oscillation mentioned and referred in **Figures 6 (1), 7 (2), 8 (1) and 8 (2)**, this pattern enhance the possible correspondence between the previous conductivity oscillation and later seismic activity. From March 2 to May 11 (CAW01), **Figure 12**, at the beginning of the graph there is an increasing of the conductivity values whose positive trend was maintained until half of the monitoring period, afterward the trend was negative with very erratic behavior that keep up until the end of the sampling period. During the positive trend of conductivity the presence of seismic events was more dispersed, but when the negative trend of the data starts, showed a higher concentration of seismic events which is maintained afterwards.

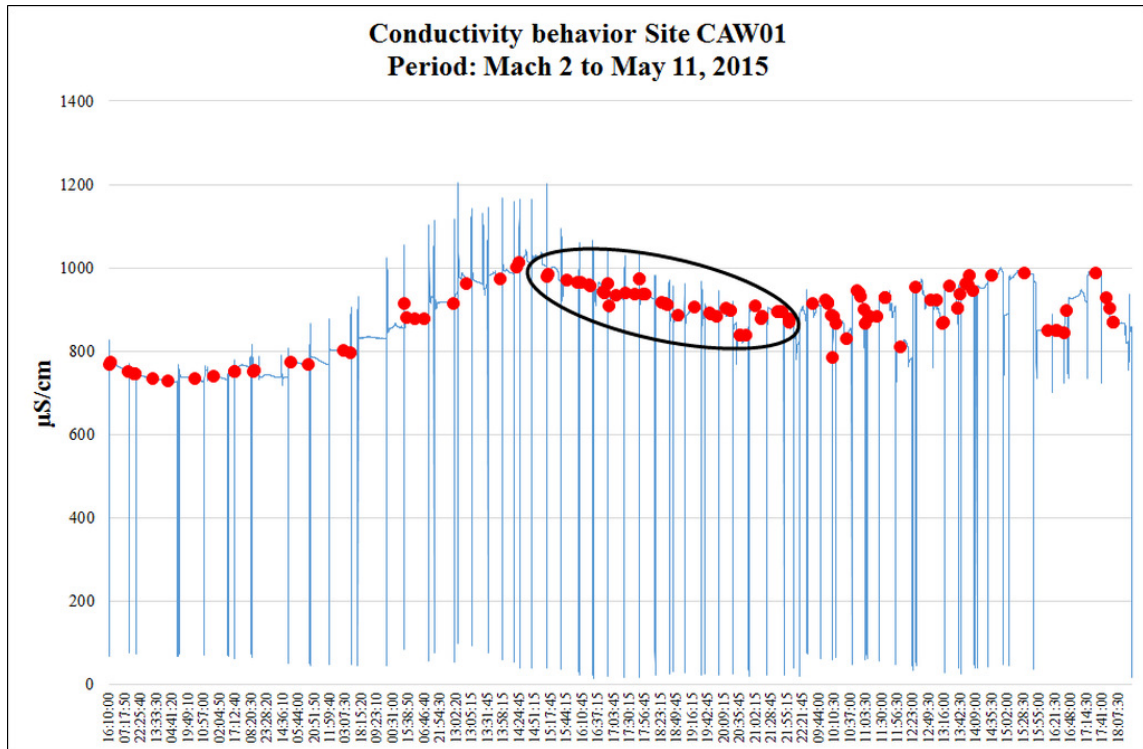


Figure 12. Conductivity behavior from March 2 to May 11 of 2015, corresponding to 61 days of monitoring. During that period 117 seismic events (red dots) were presented, 29 events matched with the data positive trend, and 90 events with the data negative trend, 44 of them (enclosed in the ellipse in black) were presented before the line graph become erratic.

Of May 11 to July 17 (CAW02) the graph with data no transformed shows three major fluctuations that grew over time, the average conductivity records were close to 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ before the first seismic activity oscillation, **Figure 13**. As the number of earthquakes decreased conductivity increased, the highest values grew-up to 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$; during the period from June 15 to July 17 this behavior was more evident. When compared the graphs of 24 hours data series and the 61 days data series, the difference between them are outstanding, last one shows possible long term oscillations associate to the earthquakes' manifestation, therefore the future systematic long term monitoring of any manifestation of direct energy (electromagnetic fields) or indirectly (conductivity) can contribute more to ratify the possible presence of long time phenomena observed in this research in order to determine if this behavior is specific of Pinotepa Nacional surroundings or could be identified within other subduction zones.

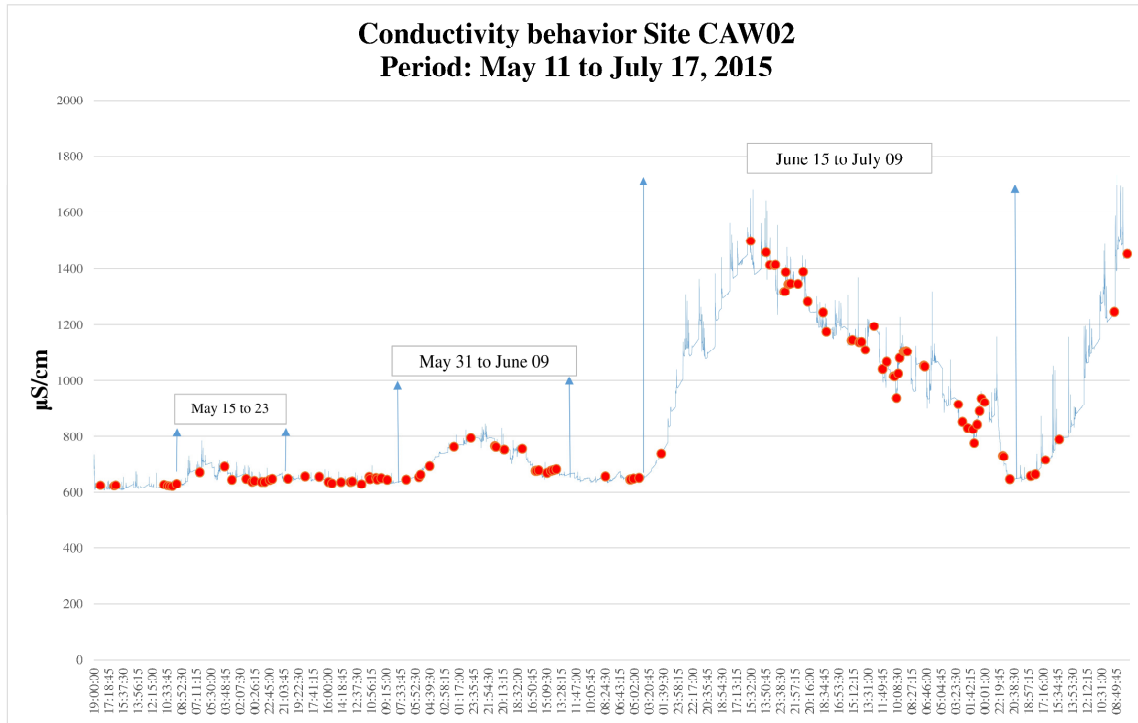


Figure 13. Conductivity behavior from March 11 to July 17 of 2015, corresponding to 61 days of monitoring, 118 seismic event (**red dots**) were manifested during this period; in the main oscillation 54 seismic events leading up to an earlier period of six days of no presence of seismic activity.

Only part of the seismic events manifested in the period of May 11 to July 17 in this analysis were processed (118 earthquakes, **Figure 13**), those considered most likely to have some correspondence with the conductivity fluctuations records, particularly those occurred to less than 50 kilometers away, considering that the sites of monitoring were located in a place with the highest seismicity of the region; in fact the total number of seismic events occurred between of Guerrero and Oaxaca estates limits during 61 days were 724 distributed at different distances around the Dada Logger conductivity sensor, with a magnitude average of 3.8, some of them at 450 kilometers away.

7. Conclusions

Statistically the area designated for conductivity monitoring of Pinotepa Nacional between the border of Guerrero and Oaxaca, Mexico, is the most active per square kilometer with three seismic events per day with average of 3.8 Mw.

The conductivity trending of data show until three diurnal variations, either decreasing or increasing the conductivity, this behavior may point out that the internal flow of water is extremely fast indicating a vigorous recharge.

- The use of artesian wells by owners to do their household domestic chores could be an important factor that promote fast changes in conductivity, but not at all, other phenomena could be involved (presence of slight seismic movements; electromagnetic energy fluxes around surroundings; slight tilting of ground by recurrent seismicity).

The conductivity records of artesian wells show fluctuations at several scales of time, from short periods of less than an hour, more than one day or a week and possibly months. The records until now obtained at least two interesting behaviors:

- In shorts series of time there is not clear evidences in the conductivity monitoring results that prove the flux of electromagnetic energy around surroundings. For periods of monitoring time of 24 hours (16 days) after 22:00 hours an almost no conductivity occurred, from 7:00 to 22:00 the tendency was positive and very fluctuated possibly associated to human intervention.
- The data analysis for long periods of data series of conductivity (61 days) and seismic events show that there is a subtle relationship between seismic intensity and large conductivity fluctuation: when the number of seismic events became intense, conductivity decreases and *vice versa*, resulting large fluctuations that grew over time.

Appears to be there is a long-term possible energy oscillation like waves associated to the process of earthquakes manifestation, assumption based according to the conductivity records behavior,

Acknowledgements

The authors appreciatively acknowledge the contributions to this research to M.S. David Nimick, Research Hydrologist (Emeritus), United States Geological Survey (USGS); his invaluable experience and guidance has helped to further understand the phenomena studied and will enhance the scientific design in later studies. In the same way to Engineer José Francisco Hernández Pérez, Head of the Center of Proposed Draft of the South Pacific, regional office of the Coordination of Hydroelectric Projects (CFE), for the logistic support, transportation, human and financial resources provided, without this crucial help would have been extremely difficult for completing this research. As well to Andrés Suasto A., Oscar E. González A, Ricardo Vázquez H. and José H. Granados Z., for their support and solidarity during the trips.

References

- [1] M. A. Athanasiou, G. C. Anagnostopoulos, A. C. Iliopoulos, G. P. Pavlos, And C. N. David, “Enhanced Ulf Radiation Observed By Demeter Two Months Around The Strong 2010 Haiti Earthquake,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 11, No. 4, Pp. 1091–1098, 2011.
- [2] M. A. Athanasiou, G. C. Anagnostopoulos, C. N. David, And G. G. Machairides, “The Ultra Low Frequency Electromagnetic Radiation Observed In The Topside Ionosphere Above Boundaries Of Tectonic Plates,” *Res. Geophys.*, Vol. 4, No. 1, Pp. 31–39, 2015.
- [3] N. M. S. Koshevaya, V. Grimalsky, G. Urquiza, M. Tecpoyotl, A. Kotsarenko, V. Yutsis, “Explosions And Seismic Phenomena Based On Exciting Of Acoustic-Electromagnetic Waves,” *Nat. Sci.*, Vol. 4, No. 28, Pp. 652–658, 2012.
- [4] M. Hayakawa, J. P. Raulin, Y. Kasahara, F. C. P. Bertoni, Y. Hobara, And W. Guevara-Day, “Ionospheric Perturbations In Possible Association With The 2010 Haiti Earthquake, As Based On Medium-Distance Subionospheric Vlf Propagation Data,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 11, Pp. 513–518, 2011.
- [5] M. Hayakawa, K. Hattori, And K. Ohta, “Monitoring Of Ulf (Ultra-Low-

- Frequency) Geomagnetic Variations Associated With Earthquakes,” *Sensors*, Vol. 7, Pp. 1108–1122, 2007.
- [6] S. V. Koshevaya, R. Pérez-Enríquez, And N. Y. Kotsarenko, “The Detection Of Electromagnetic Processes In The Ionosphere Caused By Seismic Activity,” *Geofis. Int.*, Vol. 36, No. 1, Pp. 55–60, 1997.
- [7] G. Araiza-Quijano, M.R. And Hernandez-Del-Valle, “Some Observations Of Atmospheric Luminosity As A Possible Earthquake Precursor,” *Geofis. Int.*, Vol. 35, No. 4, Pp. 403–408, 1996.
- [8] W. H. Campbell, “Natural Magnetic Disturbance Fields, Not Precursors, Preceding The Loma Prieta Earthquake,” *J. Geophys. Res. Sp. Phys.*, Vol. 114, Pp. 1–7, 2009.
- [9] R. D. Cicerone, J. E. Ebel, And J. Britton, “A Systematic Compilation Of Earthquake Precursors,” *Tectonophysics*, Vol. 476, No. 3–4, Pp. 371–396, 2009.
- [10] F. T. Freund, “Pre-Earthquake Signals – Part I: Deviatoric Stresses Turn Rocks Into A Source Of Electric Currents,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, No. 7, Pp. 535–541, 2007.
- [11] F. T. Freund, A. Takeuchi, And B. W. S. Lau, “Electric Currents Streaming Out Of Stressed Igneous Rocks – A Step Towards Understanding Pre-Earthquake Low Frequency Em Emissions,” *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, Vol. 31, No. 4–9, Pp. 389–396, Jan. 2006.
- [12] F. T. Freund, “Rocks That Crackle And Sparkle And Glow□: Strange Pre-Earthquake Phenomena,” *J. Sci. Expl.*, Vol. 17, No. 1, Pp. 37–71, 2003.
- [13] B. Shiro, F. Freund, Y. Cagle, S. Pilorz, And P. Hollis-Watts, “Measuring Ion Currents And Electric Fields Caused By Earthquakes , Volcanoes , And Lightning In The Mesosphere,” In *Nsrc*, 2012, Pp. 27–29.
- [14] A. M. Hasbi, M. A. Mohd Ali, And N. Misran, “Ionospheric Variations Before Some Large Earthquakes Over Sumatra,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 11, No. 2, Pp. 597–611, 2011.
- [15] V. A. Liperovsky, C. V. Meister, V. V. Mikhailin, V. V. Bogdanov, P. M. Umarchodgaev, And E. V. Liperovskaya, “Electric Field And Infrared Radiation In

- The Troposphere Before Earthquakes,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 11, Pp. 3125–3133, 2011.
- [16] S. A. Pulinets, A. L. Contreras, And L. Ciralo, “Total Electron Content Variations In The Ionosphere Before The Colima, Mexico, Earthquake Of 21 January 2003. Pdf,” *Geofis. Int.*, Vol. 44, No. January 2003, Pp. 369–377, 2005.
- [17] M. A. Dunajacka And S. A. Pulinets, “Atmospheric And Thermal Anomalies Observed Around The Time Of Strong Earthquakes In Mexico,” *Atmosfera*, Vol. 18, No. 4, Pp. 235–247, 2005.
- [18] I. Koren, O. Altaratz, L. A. Remer, G. Feingold, J. V. Martins, And R. H. Heiblum, “Aerosol-Induced Intensification Of Rain From The Tropics To The Mid-Latitudes,” *Nat. Geosci.*, Vol. 5, No. 2, Pp. 118–122, 2012.
- [19] C. Fidani, “The Earthquake Lights (Eql) Of The 6 April 2009 Aquila Earthquake, In Central Italy,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 10, No. 5, Pp. 967–978, 2010.
- [20] J. A. Heraud And J. A. Lira, “Co-Seismic Luminescence In Lima, 150 Km From The Epicenter Of The Pisco, Peru Earthquake Of 15 August 2007,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 11, No. 4, Pp. 1025–1036, 2011.
- [21] Y. Kawaguchi, “Charged Particle Emission And Luminescence Upon Bending Fracture Of Granite,” *Japanese J. Appl. Physics, Part 1 Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.*, Vol. 37, No. 6 A, Pp. 3495–3499, 1998.
- [22] H. G. Silva, M. Bezzeghoud, A. H. Reis, R. N. Rosa, M. Tlemçani, A. A. Araújo, C. Serrano, J. F. Borges, B. Caldeira, And P. F. Biagi, “Atmospheric Electrical Field Decrease During The M = 4.1 Sousel Earthquake (Portugal),” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 11, No. 3, Pp. 987–991, 2011.
- [23] T. Asada, H. Baba, M. Kawazoe, And M. Sugiura, “An Attempt To Delineate Very Low Frequency Electromagnetic Signals Associated With Earthquakes,” *Earth, Planets Sp.*, Vol. 53, No. 1, Pp. 55–62, 2001.
- [24] T. Bleier, C. Dunson, C. Alvarez, F. Freund, And R. Dahlgren, “Correlation Of Pre-Earthquake Electromagnetic Signals With Laboratory And Field Rock Experiments,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 10, No. 9, Pp. 1965–1975, 2010.

- [25] G. Guo And B. Wang, “Cloud Anomaly Before Iran Earthquake,” *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 29, No. 7, Pp. 1921–1928, 2008.
- [26] G. Guo And Y. Jie, “Three Attempts Of Earthquake Prediction With Satellite Cloud Images,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 13, No. 1, Pp. 91–95, 2013.
- [27] L. Li-Xin, W., Jin-Ping, L. And Shan-Jun, “Space Observed Two Abnormal Linear Clouds Before Wenchuan Earthquake,” In *3rd Iasme / Wseas International Conference On Geology And Seismology*, 2009, Pp. 138–143.
- [28] Z. Shou, “The Cloud Of The M8.4 Indonesian Earthquake On September 12, 2007,” *Ncgtn*, No. 45, Pp. 31–33, 2007.
- [29] R. E. Buskirk, C. Frohlich, And G. V. Latham, “Unusual Animal Behavior Before Earthquakes: A Review Of Possible Sensory Mechanisms,” *Rev. Geophys.*, Vol. 19, No. 2, P. 247, 1981.
- [30] C. Frohlich And R. E. Buskirk, “Can Fish Detect Seismic Waves?,” *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 7, No. 8, P. 569, 1980.
- [31] R. A. Grant, T. Halliday, W. P. Balderer, F. Leuenberger, M. Newcomer, G. Cyr, And F. T. Freund, “Ground Water Chemistry Changes Before Major Earthquakes And Possible Effects On Animals,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Vol. 8, No. 6, Pp. 1936–1956, 2011.
- [32] R. A. Grant And T. Halliday, “Predicting The Unpredictable; Evidence Of Pre-Seismic Anticipatory Behaviour In The Common Toad,” *J. Zool.*, Vol. 281, No. 4, Pp. 263–271, 2010.
- [33] M. Hallett, “Perception Of The Pre-Seismic Signals Among Reptiles. The Case Of The Parma Apennines (Italy),” *Ncgtn*, Vol. 15, No. 1, Pp. 1106–1107, 1992.
- [34] J. L. Kirschvink, “Earthquake Prediction By Animals: Evolution And Sensory Perception,” *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 90, No. 2, Pp. 312–323, 2000.
- [35] J. R. B. Lighton And F. D. Duncan, “Shaken, Not Stirred: A Serendipitous Study Of Ants And Earthquakes,” *The Journal Of Experimental Biology*, Vol. 208, No. Pt 16, Pp. 3103–3107, 2005.

- [36] W. Guangcai, Z. Zuochen, W. Min, C. A. Cravotta, And L. Chenglong, “Implications Of Ground Water Chemistry And Flow Patterns For Earthquake Studies,” *Ground Water*, Vol. 43, No. 4, Pp. 478–484, 2005.
- [37] F. Martínez-García, A. Colín-Cruz, S. Adame-Martínez, And J. J. Ramírez-García, “Atypical Variations Of Water Conductivity Prior To Tectonic Earthquakes,” *Int. J. Geosci.*, Vol. 2015, No. December, Pp. 1367–1385, 2015.
- [38] V. Straser, “Luminous Phenomena In The Atmosphere: Signs Of Uplift Of The Earth’s Crust? The ‘Lights’ In Taro Valley (Italy) And Hessdalen (Norway),” *Ncgtn*, No. 53, Pp. 47–56, 2009.
- [39] D. L. Henshaw, J. P. Ward, And J. C. Matthews, “Can Disturbances In The Atmospheric Electric Field Created By Powerline Corona Ions Disrupt Melatonin Production In The Pineal Gland?,” *J. Pineal Res.*, Vol. 45, No. 4, Pp. 341–350, 2008.
- [40] D. L. Henshaw, “Childhood Leukaemia And Emfs□; Mobile Phones And Brain Tumours , Risks And Causal Pathways Two Types Of Fields From The Electricity Supply□: Electric Fields (Efs) & Magnetic Fields (Mfs)* Doubling Of Childhood Leukaemia Risk Increased Incidence Of Chi,” In *The 7th Princess Chulabhorn International Science Congress*, 2004, Pp. 1–17.
- [41] J. Yamamoto, T. González-Moran, L. Quintanar, A. B. Zavaleta, A. Zamora, And V. H. Espindola, “Seismic Patterns Of The Guerrero-Oaxaca, Mexico Region, And Its Relationship To The Continental Margin Structure,” *Geophys. J. Int.*, Vol. 192, No. 1, Pp. 375–389, 2013.
- [42] X. Pérez-Campos, Y. H. Kim, A. Husker, P. M. Davis, R. W. Clayton, A. Iglesias, J. F. Pacheco, S. K. Singh, V. C. Manea, And M. Gurnis, “Horizontal Subduction And Truncation Of The Cocos Plate Beneath Central Mexico,” *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 35, No. 18, Pp. 1–6, 2008.
- [43] A. J. Foppiano, E. M. Ovalle, K. Bataille, And M. Stepanova, “Ionospheric Evidence Of The May 1960 Earthquake Over Concepci?N?,” *Geofis. Int.*, Vol. 47, No. 3, Pp. 179–183, 2008.
- [44] V. A. Liperovsky And M. Meister, “Electromagnetic Disturbances Associated With

- Earthquakes: An Analysis Of Ground-Based And Satellite Data,” *J. Sci. Explor.*, Vol. 4, No. 2, Pp. 203–211, 1990.
- [45] S. N. Walker, V. Kadiramanathan, And O. A. Pokhotelov, “Changes In The Ultra-Low Frequency Wave Field During The Precursor Phase To The Sichuan Earthquake: Demeter Observations,” *Ann. Geophys.*, Vol. 31, No. 9, Pp. 1597–1603, 2013.
- [46] Y. Akinaga, M. Hayakawa, J. Y. Liu, K. Yumoto, And K. Hattori, “A Precursory Ulf Signature For The Chi-Chi Earthquake In Taiwan,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 1, No. 1–2, Pp. 33–36, 2001.
- [47] X. Zhang, X. Shen, M. Parrot, Z. Zeren, X. Ouyang, J. Liu, J. Qian, S. Zhao, And Y. Miao, “Phenomena Of Electrostatic Perturbations Before Strong Earthquakes (2005-2010) Observed On Demeter,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 12, No. 1, Pp. 75–83, 2012.
- [48] A. K. Saraf And S. Choudhury, “Thermal Remote Sensing Technique In The Study Of Pre-Earthquake Thermal Anomalies,” *J. Ind. Geophys. Union*, Vol. 9, No. 3, Pp. 197–207, 2005.
- [49] A. K. Saraf, S. Choudhury, V. Rawat, And P. Banerjee, “Detecting Earthquake Precursor□: A Thermal Remote Sensing Approach,” No. Table 1, Pp. 1–13, 2008.
- [50] D. K. Sharma, J. Rai, R. Chand, And M. Israil, “Effect Of Seismic Activities On Ion Temperature In The F2 Region Of The Ionosphere,” *Atmosfera*, Vol. 19, No. 1, Pp. 1–7, 2006.
- [51] T. Bleier, C. Dunson, M. Maniscalco, N. Bryant, R. Bambery, And F. Freund, “Investigation Of ULF Magnetic Pulsations, Air Conductivity Changes, And Infra Red Signatures Associated With The 30 October Alum Rock M5.4 Earthquake,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 9, No. 2, Pp. 585–603, 2009.
- [52] M. R. Saradjian And M. Akhoondzadeh, “Thermal Anomalies Detection Before Strong Earthquakes (M <6.0) Using Interquartile, Wavelet And Kalman Filter Methods,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 11, No. 4, Pp. 1099–1108, 2011.
- [53] And M. P. Z. Thomas P. Chapin, Andrew S. Todd, “Robust, Low-Cost Data

Loggers For Stream Temperature, Flow Intermittency, And Relative Conductivity Monitoring,” *Water Resour. Res.*, Vol. 50, Pp. 5216–5234, 2014.

- [54] D. A. Nimick, C. H. Gammons, And S. R. Parker, “Diel Biogeochemical Processes And Their Effect On The Aqueous Chemistry Of Streams: A Review,” *Chem. Geol.*, Vol. 283, No. 1–2, Pp. 3–17, 2011.
- [55] V. Kostoglodov, S. K. Singh, J. A. Santiago, And S. I. Franco, “A Large Silent Earthquake In The Guerrero Seismic Gap, Mexico,” *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 30, No. 15, P. 1807, 2003.
- [56] Y. Liu And J. R. Rice, “Slow Slip Predictions Based On Granite And Gabbro Friction Data Compared To Gps Measurements In Northern Cascadia,” *J. Geophys. Res. Solid Earth*, Vol. 114, No. 9, Pp. 1–19, 2009.
- [57] K. Obara And S. Sekine, “Characteristic Activity And Migration Of Episodic Tremor And Slow-Slip Events In Central Japan,” *Earth, Planets Sp.*, Vol. 61, No. 7, Pp. 853–862, 2009.
- [58] D. Stanica And D. A. Stanica, “Anomalous Pre-Seismic Behavior Of The Electromagnetic Normalized Functions Related To The Intermediate Depth Earthquakes Occurred In Vrancea Zone, Romania,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 11, No. 12, Pp. 3151–3156, 2011.



5.1.3. Información no publicada

5.1.3.1. Calidad del agua de los sitio de estudio

En la primera etapa del proyecto se recabaron registros de la calidad del agua que se utilizaron principalmente para obtener estadísticos de los primeros sitios de muestreo (media, desviación estándar, varianza y curtosis, estos registros fueron obtenidos con analizador multiparamétrico HI 9828 basado en un microprocesador que determina los parámetros T (°C), pH, ORP (potencial REDOX), OD (oxígeno disuelto en ppm), $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductividad), $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ (resistividad), mbar (presión atmosférica).

Los datos corresponden a los sitios "La Soledad", "Laguna 1", "Laguna 2", "Río Cortijos", "Papalutla", "Teoixtla", "El Borbollón"; en los párrafos siguientes se describen por separado los detalles de la ubicación geográfica y accesos a cada sitio.

5.1.3.1.1. Calidad del agua del sitio "LA SOLEDAD"

Ubicación geográfica:

Coordenadas geográficas $16^{\circ}25'12.56''\text{N}$, $98^{\circ}25'0.46''\text{O}$, sobre la carretera vecinal que comunica al poblado de Cuajinicuilapa a Punta Maldonado, dentro del Estado de Oaxaca.

Fecha y hora de monitoreo:

21 de enero del 2014; de las 11:17:09 a las 11:57:43.



Datos estadísticos:

Soledad 11:17:09 - 11:57:43	ESTADÍSTICOS C1M1							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/cm	MOhm-cm	Salinidad	mbar
Datos	82	82	82	82	82	82	82	82
Media	22.90	7.04	154.07	0.68	255.84	0.0039	0.12	990.08
Error típ. de la media	0.0088	0.0084	3.00	0.0283	0.0614	0.00	0.00	0.02
Desv. típ.	0.0797	0.0762	27.16	0.2559	0.5559	0.0	0.0	0.1747
Varianza	0.0063	0.0058	737.58	0.0655	0.3090	0.0	0.0	0.031
Curtosis	8.36	2.55	5.04	10.5209	2.2640		84.11	-0.60

Fecha y hora de monitoreo:

19 de febrero del 2014; de las 11:17:09 a las 11:57:43.

Datos estadísticos:

Soledad 09:33:56 - 10:33:26	ESTADÍSTICOS C2M1							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/cm	MOhm-cm	Salinidad	mbar
Datos	120	120	120	120	120	120	120	120
Media	24.58	7.27	53.91	2.29	238.01	0.00	0.11	992.93
Error típ. de la media	0.04	0.00	0.85	0.11	0.03	0.00	0.00	0.03
Desv. típ.	0.03	0.00	2.21	0.02	0.05	0.0	0.0	0.07
Varianza	0.37	0.02	24.24	0.21	0.59	0.0	0.0	0.74
Curtosis	0.14	0.00	587.39	0.05	0.34	0.0	0.0	0.54

5.1.3.1.2. Calidad del agua del sitio "LAGUNA 1".

Ubicación geográfica:

Laguna de temporal ubicada en las Coordenadas geográficas 16°26'47.47"N, 98°20'58.39"O, los límites estatales de Guerrero y Oaxaca cerca de la carretera estatal 200.

Fecha y hora de monitoreo:

21 de enero del 2014; de las 12:03:34 a las 12:36:04.



Datos estadísticos:

Laguna 12:03:34 - 12:36:04	ESTADÍSTICOS C1M2							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/ cm	MOhm.cm	Salinidad	mbar
Datos	66	66	66	66	66	66	66	66
Media	28.36	7.02	182.43	4.45	220.35	0.00	0.10	992.15
Error típ. de la media	0.0630	0.0037	0.4780	0.0619	0.1424	0.0	0.0	0.04
Desv. típ.	0.5122	0.0302	3.8834	0.5033	1.1568	0.0	0.0	0.36
Varianza	0.2623	0.0009	15.0810	0.2533	1.3382	0.0	0.0	0.13
Curtosis	0.69	0.82	-1.11	-0.74	-0.56	-0.94		4.52

Fecha y hora de monitoreo:

08 de febrero del 2014; de las 12:36:50 a las 13:22:50.

Datos estadísticos:

Laguna 12:36:50 - 13:22:50	ESTADÍSTICOS C2M2							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/ cm	MOhm.cm	Salinidad	mbar
Datos	93	93	93	93	93	93	93	93
Media	31.23	8.14	119.79	7.88	147.06	0.0068	0.070	993.71
Error típ. de la media	0.04	0.00	0.85	0.11	0.03	0.00	0.00	0.03
Desv. típ.	0.37	0.01	8.20	1.05	0.25	0.0	0.0	0.33
Varianza	0.13	0.00	67.19	1.10	0.06	0.0	0.0	0.11
Curtosis	-1.11	2.29	0.97	-1.44	11.23			-0.80

5.1.3.1.3. Calidad del agua del sitio “LAGUNA 2”

Ubicación geográfica:

Laguna de temporal ubicada en las coordenadas geográficas 16°24'9.52"N, 98°16'53.76"O a 150 metros al NE del kilómetro 216.4 sobre la carretera estatal 200.

Fecha y hora de monitoreo:

21 de enero del 2014; de las 15:03:33 a las 15:37:03.



Datos estadísticos:

Laguna 15:03:33 - 15:37:03	ESTADÍSTICOS C1M3							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/ cm	MOhm-cm	Salinidad	mbar
Datos	68	68	68	68	68	68	68	68
Media	31.11	6.77	114.28	5.87	54.93	0.020	0.020	985.83
Error típ. de la media	0.022	0.002	2.84	0.030	0.032	0.00	0	0.087
Desv. típ.	0.183	0.017	23.38	0.244	0.263	0.00	0	0.720
Varianza	0.034	0.000	546.79	0.059	0.069	0.00	0	0.519
Curtosis	0.109	6.347	4.32	-0.088	9.447	-0.66		-0.674

Fecha y hora de monitoreo:

18 de febrero del 2014; de las 15:47:30 a las 16:31:04.

Datos estadísticos:

Laguna 15:47:30 - 16:31:04	ESTADÍSTICOS C2M4							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/ cm	MOhm-cm	Salinidad	mbar
Datos	72	72	72	72	72	72	72	72
Media	31.86	8.89	57.49	6.67	201.40	0.01	0.09	984.53
Error típ. de la media	0.03	0.01	3.07	0.04	2.80	0.01	0.00	0.03
Desv. típ.	0.29	0.06	26.01	0.31	23.72	0.0	0.0	0.29
Varianza	0.08	0.00	676.65	0.10	562.86	0.0	0.0	0.08
Curtosis	8.72	6.71	4.18	7.45	71.83	72.0	68.5	-1.09

5.1.3.1.4. Calidad del agua del sitio “RÍO CORTIJOS”.

Ubicación geográfica:

Sitio ubicado en las coordenadas geográficas 16°30'34.39"N, 98°27'46.90"O sobre el Río Cortijos (carretera 200), al E del puente Barajillas a ocho kilómetros al NW de Cuajinicuilapa.

Fecha y hora de monitoreo:

18 de febrero del 2014; de las 14:40:48 a las 15:08:18.



Datos estadísticos:

Río Cortijos 14:40:48 - 15:08:18	ESTADÍSTICOS C2M3							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/ cm	MOhm-cm	Salinidad	mbar
Datos	56	56	56	56	56	56	56	56
Media	31.92	9.10	59.10	8.79	50.46	0.020	0.02	984.68
Error típ. de la media	0.01	0.01	1.62	0.14	0.07	0.00	0.00	0.03
Desv. típ.	0.09	0.05	12.16	1.04	0.50	0.0	0.0	0.21
Varianza	0.01	0.00	147.79	1.08	0.25	0.0	0.0	0.04
Curtosis	0.65	-1.34	0.59	-1.16	-2.05	-0.8		-1.45

5.1.3.1.5. Calidad del agua del sitio "PAPALUTLA".

Ubicación geográfica:

Balneario ecoturístico "Papalutla" ubicado en la margen derecha del río Balsas muy cerca del poblado que lleva el mismo nombre, dentro de los límites del municipio de Copalillo.

Fecha y hora de monitoreo:

28 de marzo del 2014; de las 13:58:38 a las 15:25:39.

Datos estadísticos:

Papalutla 13:58:39 – 15:25:39	ESTADÍSTICOS C3M3							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/ cm	MOhm-cm	Salinidad	mbar
Datos	175	175	175	175	175	175	175	175
Media	31.88	6.75	-274.1	0.16	2764.5	0.00037	1.41	925.37
Error típ. de la media	0.00	0.00	0.14	0.00	11.56	0.00	0.01	0.04
Desv. típ.	0.04	0.01	1.89	0.05	152.89	0.0	0.1	0.51
Varianza	0.00	0.00	3.58	0.00	23375.0	0.0	0.0	0.26
Curtosis	-0.36	3.6	2.43	0.36	-1.30	-1.5	-1.3	-0.93

Fecha y hora de monitoreo:

06 de mayo del 2014; de las 18:38:42 a las 20:06:42.



Datos estadísticos:

Papalutla, 18:36:42 a 20:09:42	ESTADÍSTICOS C4M3							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/cm	MOhm·cm	Salinidad	mbar
Datos	372	372	372	372	372	372	372	372
Media	31.55	6.70	-272.63	0.11	2606.33	0.0004	1.33	923.28
Error típ. de la media	0.00	0.00	0.11	0.00	8.70	0.00	0.00	0.03
Desv. típ.	0.01	0.01	2.20	0.04	167.80	0.00	0.09	0.52
Varianza	0.00	0.00	4.84	0.00	28157.89	0.00	0.01	0.27
Curtosis	-1.14	8.28	1.90	1.92	-0.45	4.99	-0.44	-1.27

5.1.3.1.6. Calidad del agua del sitio "TEOIXTLA".

Ubicación geográfica:

C. R. "Teoixtla" ubicado en la comunidad de Tixtla, dentro del Estado de Guerrero.

Fecha y hora de monitoreo:

27 de marzo del 2014; de las 14:26:38 a las 15:47:08.

Datos estadísticos:

Teoixtla 14:26:38 - 15:47:08	ESTADÍSTICOS C3M2							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/cm	MOhm·cm	Salinidad	mbar
Datos	162	162	162	162	162	162	162	162
Media	22.67	7.24	118.57	1.17	579.9	0.00172	0.28	856.10
Error típ. de la media	0.00	0.00	1.11	0.01	0.62	0.00	0.00	0.06
Desv. típ.	0.04	0.01	14.10	0.07	7.86	0.0	0.0	0.72
Varianza	0.00	0.00	198.84	0.01	61.81	0.0	0.0	0.52
Curtosis	3.88	0.2	1.68	-0.45	-1.20	0.4	1.4	-0.87

Fecha y hora de monitoreo:

06 de mayo del 2014; de las 14:25:14 a las 16:02:59.



Datos estadísticos:

Teoixtla, 14:25:14 a 16:02:59	ESTADÍSTICOS C4M1							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/cm	MOhm·cm	Salinidad	mbar
Datos	392	392	392	392	392	392	392	392
Media	22.55	7.16	118.96	1.50	575.70	0.0017	0.28	853.23
Error típ. de la media	0.00	0.00	1.09	0.01	0.11	0.00	0.00	0.03
Desv. típ.	0.05	0.05	21.62	0.21	2.27	0.00	0.00	0.55
Varianza	0.00	0.00	467.37	0.04	5.17	0.00	0.00	0.30
Curtosis	-0.99	-0.43	-1.01	-0.91	0.27			-1.07

5.1.3.1.7. Calidad del agua del sitio “EL BORBOLLÓN”.

Ubicación geográfica:

C. R. El Borbollón ubicado en la comunidad de Cascamila, en el municipio de Quechultenango, dentro del Estado de Guerrero.

Fecha y hora de monitoreo:

27 de marzo del 2014; de las 10:24:53 a las 11:41:49.

Datos estadísticos:

El Borbollón 10:24:53 - 11:41:49	ESTADÍSTICOS C3M1							
	°C	pH	ORP	OD ppm	µS/ cm	MOhm·cm	Salinidad	mbar
Datos	309	309	309	309	309	309	309	309
Media	23.56	6.89	181.68	2.07	1622.9	0.0006	0.82	912.70
Error típ. de la media	0.00	0.00	1.27	0.04	0.48	0.00	0.00	0.08
Desv. típ.	0.01	0.02	22.30	0.78	8.38	0.0	0.0	1.41
Varianza	0.00	0.00	497.25	0.60	70.27	0.0	0.0	1.99
Curtosis	1.33	13.9	-1.13	-1.49	-1.15		-0.4	-0.99

Fecha y hora de monitoreo:

06 de mayo del 2014; de las 10:48:58 a las 12:23:55.



Datos estadísticos:

El Borbollón 10:48:58 a 12:23:55	ESTADISTICOS C4M1							
	°C	pH	ORP	OD ppm	μS/cm	MOhm·cm	Salinidad	mbar
Datos	321	321	321	321	321	321	321	321
Media	23.54	6.92	129.37	1.52	1612.87	0.0006	0.81	908.05
Error típ. de la media	0.00	0.00	0.95	0.00	0.55	0.00	0.00	0.01
Desv. típ.	0.01	0.02	17.01	0.09	9.79	0.00	0.01	0.20
Varianza	0.00	0.00	289.20	0.01	95.92	0.00	0.00	0.04
Curtosis	9.38	28.24	8.34	1.14	-0.99		-0.67	1.23



5.1.3.2. Primeras evidencias de variaciones atípicas de la química del agua.

Durante las primeras etapas de la investigación el funcionamiento del equipo utilizado para el monitoreo de la química del agua, relativo al analizador multiparamétrico HI 9828 que evalúa los parámetros T ($^{\circ}\text{C}$), pH, ORP (potencial REDOX), OD (oxígeno disuelto en ppm), $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductividad), $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ (resistividad), mbar (presión atmosférica), presentó varios inconvenientes en su aplicación, uno de ellos fue el tiempo de monitoreo el cual no podía ser mayor a las cuatro horas de muestreo ya que la batería del equipo se agotaba; su recarga implicaba tiempos prolongados y conllevaba a una suspensión en la captura de los datos durante tal actividad. Otro aspecto fue la aleatoriedad en la presencia o manifestación de algún sismo, por tanto en varios de los muestreos los resultados fueron en la mayoría de las veces incompatible con los objetivos de la investigación. Sin embargo, durante el monitoreo en el *Balneario ecoturístico "Papalutla"* ubicado en la margen derecha del río Balsas muy cerca del poblado que lleva el mismo nombre, límites del municipio de Copalillo, el seis de junio del 2014 se presentó la primera evidencia posible de variaciones atípicas en la química del agua en el sitio de muestreo, en este lugar el monitoreo inicio a las **08:39:09 a. m** y concluyó a las **10:29:58 a. m**, obteniendo 6465 registros durante 111 minutos con intervalo de frecuencia de dos segundos.

Posterior al monitoreo, en el análisis y gráfica de los datos en gabinete evidenció un comportamiento irregular que fue patente en los 11 parámetros del analizador utilizado, las 11 gráficas mostraron a las **9:28** de la mañana una variación importante en la distribución “conocida” de los datos, el comportamiento irregular de los datos inicio a las **9:28:06 a. m** y concluyó a las **9:29:02 a. m**, con una duración de **58** segundos; los resultados de la gráfica general y del evento atípico de los datos se muestra en las Figuras 2 - 4. De acuerdo con la información obtenido del Servicio Sismológico Nacional (SSN: <http://www.ssn.unam.mx/>) durante el día del muestreo se presentaron nueve sismos con magnitudes entre 3.2 a 4 (Mw), los detalles de tales eventos se incluyen en la Figura 5 obtenida del SSN, de acuerdo con su distribución espacial seis de ellos se presentaron frente a las costas de Guerrero en el



ambiente marítimo y tres se ubicaron en Tecpan de Galeana, Atoyac de Álvarez y Acapulco de Juárez, los tres a 150 kilómetros del sitio de monitoreo de “Papalutla”, Figura 6. Estos resultados preliminares a pesar de mostrar información de acuerdo a los objetivos planteados para la investigación, se supuso insuficiente para ser considerada publicable, ya que el tiempo de monitoreo fue relativamente corto con 111 minutos.

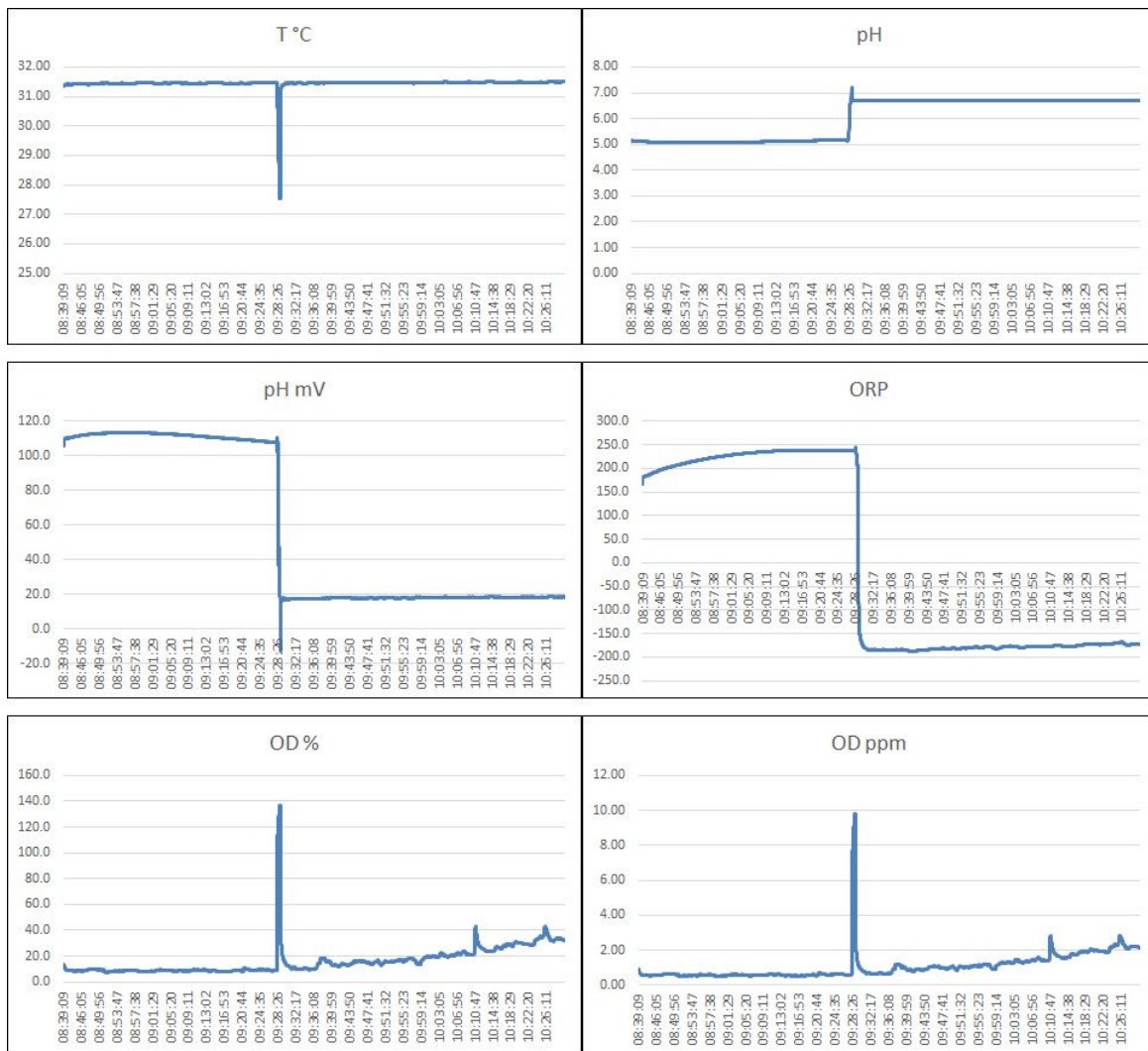


Figura 2. Comportamiento de los registros de calidad del agua durante el día de monitoreo



Figura 3. Comportamiento de los registros de calidad del agua durante el día de monitoreo. Cont...



Figura 4. Primeras evidencias de variaciones atípicas de la conductividad del agua durante 58 segundos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MÉXICO SSN SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL

geofisica UNAM

INICIO ACERCA DE SISMICIDAD SISMOGRAMAS CATÁLOGO DE SISMOS DIVULGACIÓN

CATÁLOGO DE SISMOS RESULTADOS

TIEMPO DEL CENTRO DE MÉXICO

LA PRESENTE INFORMACIÓN TIENE CARÁCTER PRELIMINAR Y ESTÁ SUJETA A CAMBIOS

Número de eventos encontrados: 9

DETALLE	MAGNITUD	FECHA y HORA	EPICENTRO LOCALIZACIÓN: LATITUD, LONGITUD	PROFUNDIDAD
Ver	3.2	2014-06-06 13:24:04	22 km al SUROESTE de PETATLAN, GRO : 17.35°, -101.33°	17 km
Ver	3.6	2014-06-06 13:04:13	37 km al SUR de PETATLAN, GRO : 17.21°, -101.35°	5 km
Ver	3.7	2014-06-06 11:51:52	50 km al SUROESTE de PETATLAN, GRO : 17.12°, -101.45°	15 km
Ver	3.6	2014-06-06 10:37:54	40 km al SUROESTE de COYUCA DE BENITEZ, GRO : 16.84°, -100.42°	5 km
Ver	3.5	2014-06-06 08:22:35	18 km al NORTE de TECPAN, GRO : 17.39°, -100.66°	29 km
Ver	3.6	2014-06-06 08:18:33	35 km al OESTE de TECPAN, GRO : 17.16°, -100.95°	4 km
Ver	3.5	2014-06-06 04:44:58	20 km al NORTE de ACAPULCO, GRO : 17.05°, -99.88°	35 km
Ver	4.0	2014-06-06 04:34:41	20 km al SUROESTE de PETATLAN, GRO : 17.44°, -101.43°	7 km
Ver	3.4	2014-06-06 03:08:40	7 km al SURESTE de ATOYAC DE ALVAREZ, GRO : 17.16°, -100.39°	30 km

Figura 5. Actividad sísmica registrada durante el día seis de junio del 2014 en el estado de Guerrero

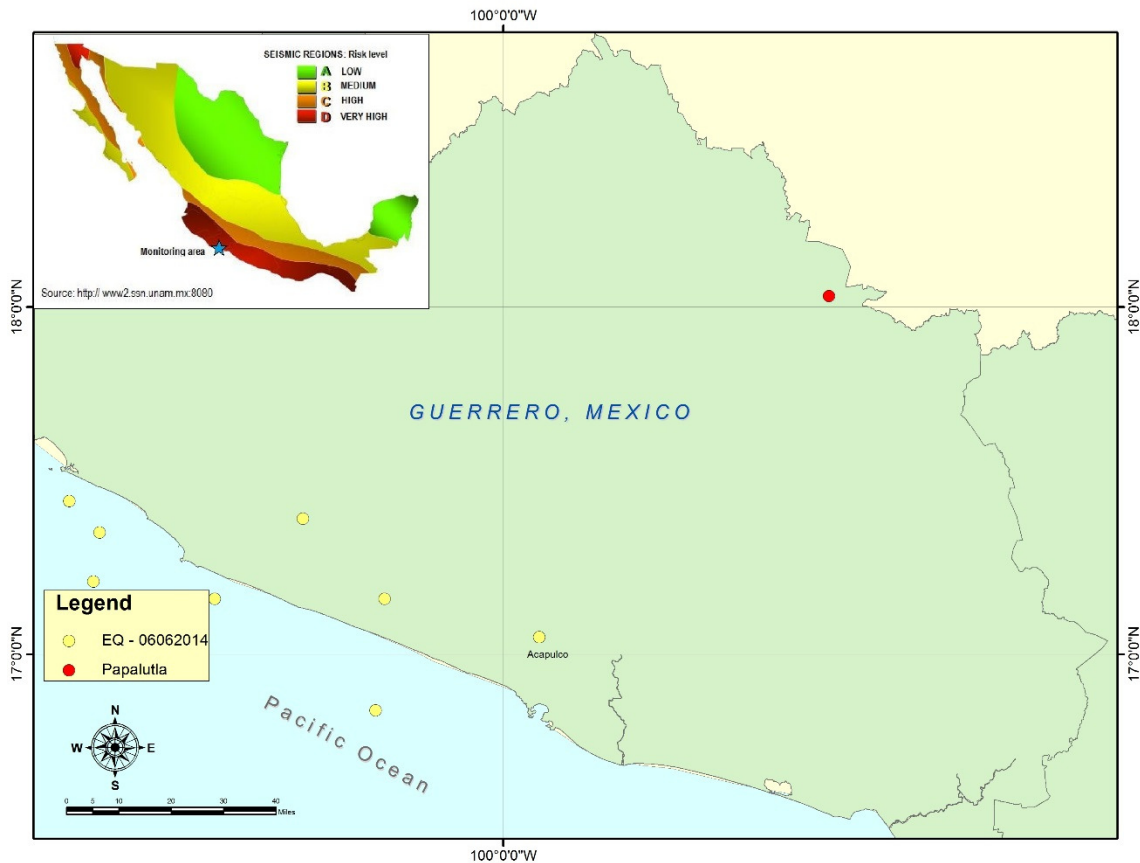


Figura 6. Ubicación de sitio de monitoreo “Papalutla” con referencia a los eventos sísmicos.

5.2. Discusión General

5.2.1. Etapa inicial del proyecto.

Con base en la hipótesis de trabajo del proyecto la cual refiere que “La química del agua en cuerpos de agua superficiales cercanos a los epicentros presenta anomalías temporales en su composición durante el tiempo que se gesta un sismo importante ($>M5$)” y el objetivo general de “Identificar y comparar el comportamiento en el tiempo de la química del agua de medios acuáticos cercanos a áreas con alta actividad sísmica, mediante el análisis del comportamiento de sus



parámetros.” Se inició el monitoreo en cuerpos de agua en el área de estudio cuyo nodo central se ubica en las coordenadas $16^{\circ}19'2.43''\text{N}$, $-98^{\circ}13'13.78''\text{O}$.

Como una aproximación preliminar y de acuerdo al calendario de trabajo los muestreos sistemáticos iniciaron en el segundo semestre empleando un analizador multiparamétrico HI 9828, Figura 7, que evalúa los parámetros T ($^{\circ}\text{C}$), pH, ORP (potencial REDOX), OD (oxígeno disuelto en ppm), $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductividad), $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ (resistividad), mbar (presión atmosférica). De acuerdo a la planeación se calendarizó realizar muestreos mensuales con registros de datos a cada segundo durante tres horas continuas, eligiendo como área de muestreo un paraje ubicado al sur del poblado de Coajinicuilapa ubicada a 27 km al SE, el acceso principal al sitio es por la carretera federal No. 200 y después se continúa mediante caminos vecinales.



Figura 7. Equipo utilizado: analizador multiparamétrico

Con este primer periodo de trabajo, de finales de diciembre del 2013 a mayo del 2014 se realizaron cuatro campañas de monitoreo dentro del área elegida para desarrollo del trabajo; los sitios elegidos fueron uno sobre el río de la Soledad, bajo el puente del mismo nombre, localizado en las coordenadas geográficas $16^{\circ}25'12.56''\text{N}$, $98^{\circ}25'0.46''\text{O}$, sobre la carretera vecinal que comunica al poblado de Cuajinicuilapa a Punta Maldonado, dentro del Estado de Oaxaca; laguna de temporal ubicada en las coordenadas geográficas $16^{\circ}26'47.47''\text{N}$, $98^{\circ}20'58.39''\text{O}$, los límites estatales de Guerrero y Oaxaca cerca de la carretera estatal 200 y laguna de temporal ubicada en las coordenadas geográficas



16°24'9.52"N, 98°16'53.76"O a 150 metros al NE del kilómetro 216.4 también sobre la carretera estatal 200; y el sitio ubicado en las coordenadas geográficas 16°30'34.39"N, 98°27'46.90"O sobre el Río Cortijos (carretera 200), al E del puente Barajillas a ocho kilómetros al NW de Cuajinicuilapa.

Los resultados obtenidos de esta primera etapa no correspondieron con la hipótesis de la investigación debido a las condiciones del sitio, compuesta en general de suelos arenosos y a la temperatura local que en ocasiones alcanzó los 40 grados centígrados; estas circunstancias fueron severamente condicionantes para la permanencia de las lagunas temporales y sus niveles de almacenamiento de agua, a tal grado que transcurrido el tercer muestreo fue casi imposible encontrar agua en su interior. Esta condición también fue un factor que aceleró marcadamente la acumulación de materia orgánica de las plantas acuáticas en descomposición, en consecuencia, los resultados del monitoreo en proceso estaban más relacionados con cambios en la química del agua producto del proceso de descomposición de la materia orgánica, lo cual sin duda complicaría el análisis posterior de los datos al agregarse variables no consideradas. Similares complicaciones se presentaron para los sitios ubicados en las márgenes de los ríos Soledad y Cortijos, el análisis de los primeros muestreos mostró una variación muy marcada en los datos producto de la continua recarga en el agua del ambiente lótico o ribereño.

5.2.2. Ajustes a los procesos.

Como consecuencia de las dificultades que se fueron presentando durante el desarrollo de las actividades del primer periodo de trabajo, fue necesario realizar ajustes relacionados con el área de estudio, reconsiderando los sitios elegidos, la intensidad de los muestreos, los periodos del monitoreo y los parámetros propuestos. De los primeros ajustes que se aplicaron fue descartar la evaluación de iones del agua (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^-) y de parámetros como el CO_2 y H_2O_2 , por tanto, ya no fue necesario la toma de muestras de agua *in situ* y posterior análisis de laboratorio, fundamentalmente por las condiciones ambientales



que se fueron prestando en los cuatro sitios de trabajo elegidos en esta primera etapa referidos en el párrafo anterior, básicamente en las lagunas de temporal; otra condición adversa fue el tiempo que se destinaría para el traslado de las muestras al laboratorio ubicado a 600 km de distancia (Facultad de Química, UAEMex, en Toluca, Estado de México).

Otro ajuste necesario se relacionó con las primeras determinaciones obtenidas con el analizador multiparamétrico, los parámetros utilizados para monitorear la química del agua como el pH, T °C, ORP (potencial REDOX), OD (oxígeno disuelto en ppm), $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductividad), $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ (resistividad), mbar (presión atmosférica), presentaron respuestas diferentes durante la medición de las condiciones químicas locales. Con excepción de la conductividad los demás parámetros presentaron variaciones en muchos casos imperceptibles, esto es, se comportaron menos sensibles a los ligeros cambios en la química local. Otro aspecto también sobresaliente fue el funcionamiento del equipo utilizado ya que los tiempos de muestreos no podían ser mayores a las cuatro horas de muestreo, debido a la recarga de la batería del equipo, lo cual conllevaba a una suspensión en la captura de los datos durante tal actividad. Además, tomando en cuenta que la presencia o manifestación de algún sismo en el área es un proceso aleatorio, en la mayoría de las veces que se llevaba a cabo el monitoreo no se presentaban sismos, lo que indicaba que el tiempo dedicado al proceso era insuficiente.

5.2.3. Los primeros avances significativos

Las condiciones que se presentaron en las lagunas y en los ríos obligaron a reconsiderar el área de trabajo, siendo necesario involucrar a cuerpos de agua más permanentes, por tanto, se ampliaron las opciones de muestreo agregando algunos manantiales locales relativamente cercanos, involucrando una extensión más amplia para el monitoreo, Figura 8. En esta segunda etapa se inició el muestreo en cuatro manantiales que sirven de abastecimiento de agua a centros recreativos (C.R.), los sitios fueron: el C.R. *Los Manantiales*, localizado en la margen derecha del río Amacuzac, dentro del municipio de



Tlaquiltenango, Estado de Morelos; el *Balneario ecoturístico "Papalutla"* ubicado en la margen derecha del río Balsas muy cerca del poblado que lleva el mismo nombre, dentro de los límites del municipio de Copalillo; C. R. *El Borbollón* ubicado en la comunidad de Cascamila, en el municipio de Quechultenango; y el C. R. *"Teoixtla"* ubicado en la comunidad de Tixtla; estos tres últimos centros recreativos dentro del Estado de Guerrero; los resultados de los muestreos fueron procesados aplicando los estadísticos básicos, actividad posteriormente suspendida por razones técnicas.

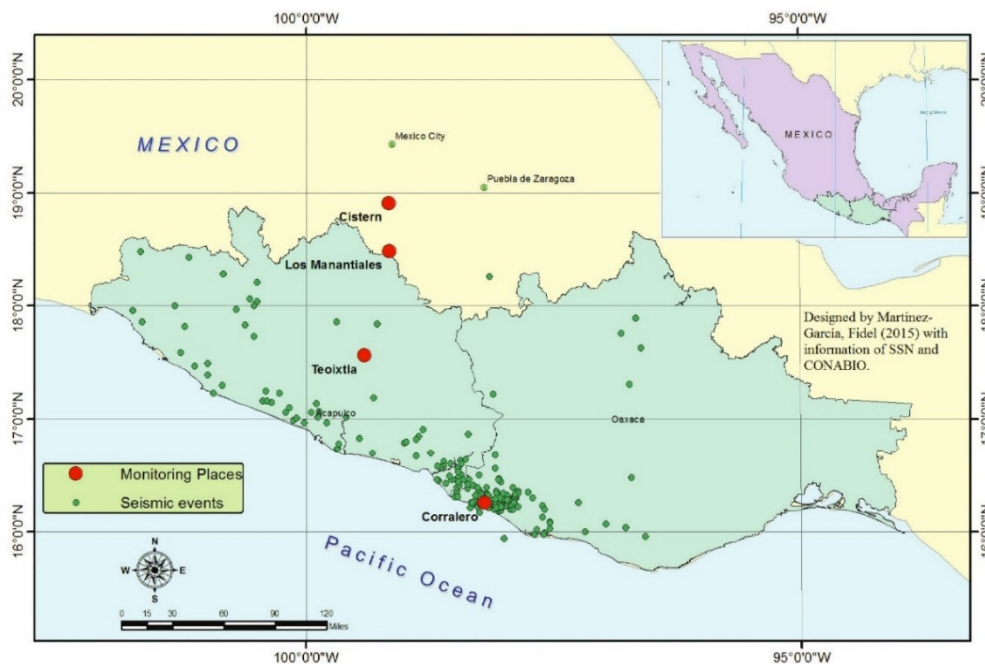


Figura 8. Sitios de muestreo.

Los muestreos obtenidos hasta estas fechas quedaron sujetos a dos condicionantes, a la presencia aleatoria de algún sismo durante el periodo de muestreo durante las horas en que se llevara a cabo el registro de datos y a la energía disponible en la pila que alimentaba al equipo utilizado, situación que significativamente afectaba el logro de los objetivos planteados. La solución al problema fue adquirir y utilizar un registrador de datos o dispositivo electrónico con amplia capacidad de registro de datos en el tiempo. El equipo referido es un registrador de datos, Hobo Datalogger U24-001 con capacidad de registro de



18550 datos en formato “TXT” que dependiendo del intervalo de tiempo utilizado posibilitaría monitorear al menos por una semana continua a un intervalo de registro de 45 segundos entre cada dato registrado (Chapin y Todd, 2014). El equipo fue adquirido de inmediato y se inició su utilización en el mes de septiembre del 2014, los primeros resultados estuvieron más acorde con la hipótesis y objetivo de trabajo, ya que se tenían datos con al menos 6.5 días continuos de registro a intervalos de captura de 30 segundos.

Con estas ventajas del equipo, los resultados posteriores permitieron obtener información conforme con los objetivos de la investigación. Del 22 de septiembre al 11 de octubre se inició el monitoreo en el C.R. *Teoixtla*, lo que representó tres campañas de muestreo durante 20 días de registros continuos. Del 13 al 18 de octubre se continuó el registro de datos en el C.R. “*Los Manantiales*” localizada en el estado de Morelos, cuyo monitoreo fue sólo de una semana suspendiéndolo por la presencia de interferencias debidas a la presencia de un río subterráneo cercano (por referencias locales), la gráfica de los datos presentó un comportamiento extremadamente variante posiblemente por la intensa recarga y la deriva a la que estuvo expuesto el registrador de datos; otra posible causa fue la presencia de gases radioactivos como el Radón que pudieron haber interferido con el funcionamiento del registrador.

El siguiente monitoreo fue en una *cisterna* ubicada también en el estado de Morelos, cuyo periodo de muestreo fue del 21 de octubre del 2014 al 17 de enero del 2015. Finalmente, en esta segunda etapa el último sitio de muestreo fue en un “*pozo artesiano*” localizado en el poblado de Corralero, dentro del municipio de Pinotepa Nacional, Oaxaca, el cual se monitoreo del 19 de enero al primero de marzo del 2015.

Sin depender de la aleatoriedad de la manifestación de eventos sísmicos o a muestreos sujetos a las condiciones del equipo inicialmente usado (analizador multiparamétrico HI 9828), fue necesario disponer de una cantidad más extensa de datos



UAEMex



sobre la actividad sísmica manifestada durante los periodos de muestreo. En consecuencia, para cada uno de los periodos de muestreo en los cuatro sitios se recabaron las estadísticas de los sismos ocurridos en esos intervalos, datos obtenidos de la página del Servicio Sismológico Nacional, <http://www.ssn.unam.mx/>.

5.2.4. Procesamiento e integración de los resultados.

Los datos de los eventos sísmicos obtenidos del SSN se importaron para su edición a la plataforma de un Sistema de Información Geográfico, eliminando aquellos eventos ubicados fuera de un círculo de 350 kilómetros particularmente a los asociados a los manantiales y cisterna; para el caso del “*Pozo Artesiano*” se eliminaron todos los eventos sísmicos ocurridos en el ambiente marino y fuera de un círculo mayor los 60 kilómetros en el ambiente terrestre, al considerar que el sitio de monitoreo se ubicaba en un área altamente sísmica. Cada evento sísmico asociado a los sitios *Cisterna*, *Los Manantiales*, *Teoixtla*, *Papalutla*, el *Borbollón* y el “*Pozo Artesiano*”, en el rango de los 350 y 50 kilómetros respectivamente, previa depuración o edición se graficó, confrontó y analizó con los datos de conductividad obtenido de cada sitio de muestreo, de acuerdo al día y la hora que se presentó.

5.2.4.1. Divulgación de resultados

En el marco de la elaboración de tesis por artículos especializados establecido por el Reglamento de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México (RAE) y por la importancia que representa la inmediata publicación de los resultados de la investigación en beneficio de ésta y su reconocimiento inmediato por su contribución al avance del conocimiento (Artículo 59, RAE), la información obtenida en esta segunda etapa fue fundamental para poder integrar y publicar el primer artículo tal como lo establece el reglamento. El artículo obtenido de los resultados alcanzados durante el periodo de investigación del 22 de septiembre del 2014 al primero de marzo del 2015, fue publicado el



29 de diciembre del 2014 en la revista “*International Journal of Geosciences*” (página Web: <http://www.scirp.org/journal/ijg>) y lleva por título “*Atypical Variations of Water Conductivity Prior to Tectonic Earthquakes*”, el cual le fue asignado el identificado de objeto digital: doi.org/10.4236/ijg.2015.612108 (Martínez-García *et al.*, 2015); el contenido en extenso del documento está integrado al inciso 5.1.1 del Capítulo 5 de esta tesis.

Los aspectos más relevantes de esta publicación indican que el proceso de monitoreo de la conductividad en los sitios *Cisterna, Los Manantiales, Teoixtla, Papalutla, el Borbollón* y un *pozo artesiano*, muestran una posible evidencia que apoya la hipótesis de este trabajo de investigación, la manifestación de caídas de tensión en los valores de conductividad en los datos graficados, lo cual es más evidente en el sitio denominado “*Pozo Artesiano*” lugar ubicado en un área de intensa actividad sísmica, indirectamente puede ser una muestra de la presencia de energía proveniente de las capas internas de la corteza terrestre. El posible mecanismo que interviene puede tener dos vertientes: los iones dispersos en el medio acuático son atraídos momentáneamente hacia un campo de energía natural o dicha energía interfiere con el funcionamiento normal del registrador causando caídas de tensión del aparato dando como resultado las caídas en los registros de la conductividad (Scoville *et al.*, 2015). Las variaciones o caídas de la conductividad muestran una posible correspondencia con la presencia posterior de eventos sísmicos, las variaciones no siguen un patrón en el tiempo ya que tales cambios se dan en cortos periodos; al respecto se pudieron registrar hasta tres caídas en la conductividad en un lapso de apenas siete horas. Los hallazgos de esta investigación publicados en este primer artículo muestran la factibilidad de realizar un monitoreo sistemático en tiempo real de la conductividad como un medio de anticiparse a las consecuencias negativas de los terremotos (Martínez-García *et al.*, 2015).



5.2.5. El monitoreo en sitios con alta sismicidad.

Comprobada y verificada la factibilidad del Data Logger para registrar largos periodos de información dependientes de los intervalos de tiempo utilizados para cada registro y de la marcada diferencia que existe entre sitios de muestreo alejados de áreas con alta incidencia sísmica, el registro de información continuó, dando énfasis al monitoreo dentro del área donde la actividad sísmica es muy frecuente. Esta última aseveración se fundamentó mediante el análisis de datos estadísticos de 14046 sismos registrados en los últimos 10 años (2006 a 2015) mayores a los 3.5 Mw, dentro de los límites de los estados Guerrero, Oaxaca y estados vecinos a estos; los resultados mostraron que el municipio de Pinotepa Nacional es el municipio donde se registra el mayor número de eventos sísmicos con 1850 movimientos, por tanto, es el área con más eventos por km² con al menos tres sismos. En este municipio se han registrado dos eventos sísmicos importantes, uno en junio 10 del año 2010 con una magnitud de 6.0 Mw ocurrido a las 02:22:27 horas; otro en Junio 25 del año 2015 con una magnitud de 5.1 Mw, ocurrido a las 05:31:46 horas.

Apoyado en estos resultados se continuo el monitoreo en el *pozo artesiano* (ahora denominado CAW01), realizando tres campañas más, iniciando el dos de marzo del 2015 y concluyendo es 11 de mayo del mismo año. Posterior a la tercera campaña se eligió un nuevo pozo artesiano (CAW02) ubicado a 80 metros al Este del pozo inicialmente monitoreado; la obtención de registros de la conductividad inició el mismo de 11 de mayo y concluyó el 17 de junio del 2015.

5.2.5.1. Divulgación de los nuevos resultados.

Los resultados referidos anteriormente conformaron el segundo artículo, el documento fue enviado a la revista “*Open Access Library Journal*” el día 17 de junio,



recibiéndose la notificación de su aceptación para ser publicado el día 28 del mismo mes, previo al proceso de revisión por pares para determinar su factibilidad de publicación. Este artículo está integrado a la tesis en el apartado de resultados, inciso **5.1.2**, Capítulo 5 de esta tesis y lleva por título “*Natural water conductivity behavior within the seismic Pacific coast of southern Mexico*”, con este envío y publicación se cumple en extenso, lo establecido en Artículo 60 del REA de la Universidad Autónoma del Estado de México que establece para los “Estudios de Doctorado” el envío de un artículo a una revista especializada arbitrada e indexada de reconocimiento internacional,

Comparativamente los hallazgos en ambos pozos presentaron algunas diferencias en sus características, en el pozo CAW01 fue común observar caídas de la conductividad muy variantes con rangos en los valores de 14 a 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a diferencia de los valores observados en el pozo CAW02 los cuales tuvieron un rango de 600 a 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero en ambos en general presentaron hasta tres variaciones diurnas lo que mostraba que este comportamiento pudiera tener relación con vigorosas recargas en el flujo subterráneo del agua. Los posibles argumentos que explican este comportamiento pueden ser la cercanía de cuerpos de agua en la periferia, aunque esto no justifica totalmente la cantidad de variaciones diurnas observadas. Otra razón puede ser la presencia de continuos movimientos sísmicos en el área llamados tremores que ligeramente y con frecuencia cambian la inclinación del terreno (Kostoglodov *et al.*, 2003; Liu y Rice, 2009), movimientos que también comprimen y descomprimen las capas de material a manera de esponja, causando el brusco movimiento o flujo local del agua (Obara y Sekine, 2009; Payero *et al.*, 2008). También es factible que pudiera tener relación con la presencia de pulsos electromagnéticos que pudieran estar interactuando con los iones atrayéndolos o interfiriendo con el funcionamiento normal del registrador por caídas de tensión tal como fue propuesto en el primer artículo publicado (Bleier *et al.*, 2009; Scoville *et al.*, 2015). Algo que también puede explicar las variaciones observadas en la conductividad es el uso que los lugareños dan a los pozos ya que con cierta frecuencia los usuarios extraen agua para sus actividades domésticas.



De este último argumento existen evidencias que lo apoyan, derivado de la gráfica de los datos en series de 24 horas, obtenidos del 24 de junio al 17 de julio del 2015, surge un claro comportamiento de los datos, las variaciones regularmente comienzan a las 7:00 horas y disminuyen a las 20:00 horas, no habiendo marcadas diferencias en estos horarios entre sábados y domingos, no así entre los datos los cuales presentan rangos de variación de los 600 a 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Martínez-García *et al.*, 2016).

Aunque el comportamiento de los datos apoya la hipótesis de las variaciones por influencia humana, el gráfico de datos con periodos más largos muestra otro importante comportamiento que apoya la hipótesis de la dependencia que existe entre las variaciones de la conductividad y la presencia posterior de sismos. Anterior al incremento de la actividad sísmica hay un incremento en la conductividad, en otras palabras, durante el incremento de la conductividad la actividad sísmica es numéricamente menor y con el decremento de la conductividad la cantidad de sismos es sustancialmente mayor, Figura 13 (Martínez-García *et al.*, 2016). Para este análisis gráfico es necesario puntualizar que solo se procesaron los sismos ocurridos dentro de un círculo no mayor de 50 kilómetros, al considerar que los sitios de monitoreo se ubican dentro del área más sísmica de la región, lo cual fue corroborado con el procesamiento de 14046 eventos sísmicos ocurridos en los últimos 15 años.

5.2.6. Aportaciones importantes del trabajo de investigación

Recapitulando los resultados del trabajo de investigación se pueden mencionar tres aportaciones importantes:

5.2.6.1. Codependencia de los datos y la actividad sísmica.

Refiere a la dependencia que tiene la ubicación geográfica del equipo utilizado para el monitoreo y el comportamiento de los datos, manifestando la posible codependencia entre las áreas con la mayor frecuencia e intensidad sísmica y la presencia de variaciones o caídas



de tensión atípicos en la conductividad. Las gráficas obtenidas del monitoreo en sitios alejados de la franja más sísmica tienen caídas de tensión de los valores de la conductividad mantenidos que duran días o hasta de un par de semanas con ascensos bruscos de la misma magnitud, figuras 9 y 11 (Martínez-García *et al.*, 2015). Este comportamiento cambia a descensos y ascensos bruscos de la conductividad de unos pocos minutos en los sitios ubicados en la franja más sísmica, figuras 13 a 17 (Martínez-García *et al.*, 2015). Este comportamiento fue más manifiesto en los resultados que se aprecia en la figura 9 y 10 (Martínez-García *et al.*, 2016).

5.2.6.2. Variaciones atípicas de los datos e influencias externas

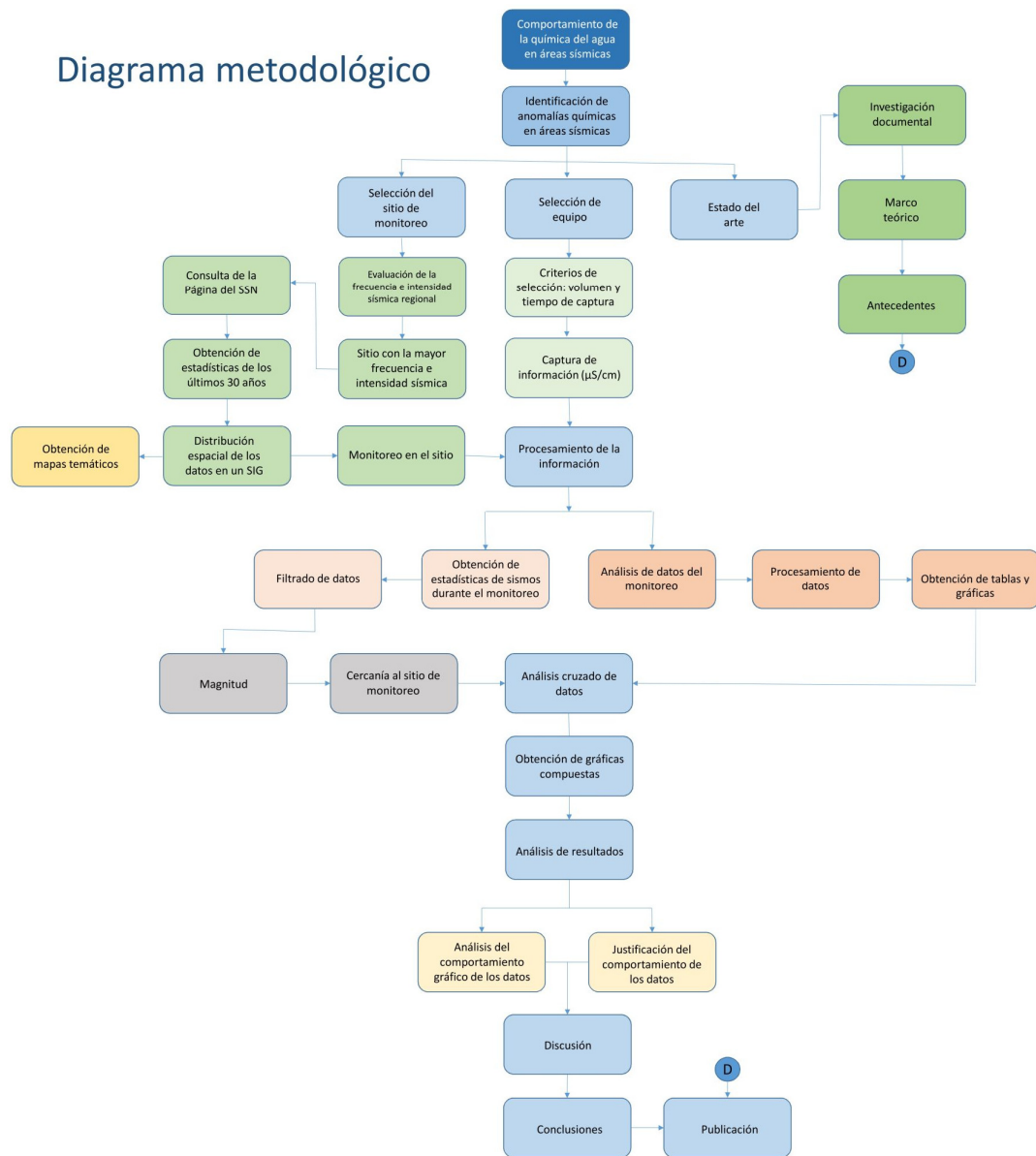
Este patrón de cambios en cortos periodos de tiempo fue más patente en los resultados obtenidos durante el monitoreo en los sitios ubicados en la comunidad de “Corralero”, municipio de Pinotepa Nacional, Estado de Oaxaca. Las gráficas obtenidas de las series de datos de 24 horas muestran que las variaciones de los datos tienen una aparente relación con la actividad humana tal como se aprecia en la figura 10 (Martínez-García *et al.*, 2016). Sin embargo, las variaciones también patentizan que en el subsuelo existe un flujo de agua extremadamente rápido, indicando una vigorosa recarga, posiblemente relacionada con la presencia de lagunas costeras o cuerpos de agua en el subsuelo.

Otra influencia externa en el comportamiento de los datos, pero de un carácter más regional, es la que se aprecia en las figuras 10, 12 y 13 (Martínez-García *et al.*, 2015). Se presentan descensos de la conductividad que se mantienen hasta por tres semanas durante los cuales se mantiene intensa actividad sísmica, pero a la cuarta semana comienza a ascender la conductividad con un decremento importante de la actividad telúrica. La serie de ascensos y descensos de la conductividad empieza con pequeñas fluctuaciones cuya amplitud aumenta con el tiempo; tal como se aprecia en la figura 13 (Martínez-García *et al.*, 2015), cuando se presenta la mayor amplitud en la gráfica, la presencia o ausencia de la actividad sísmica es más relevante.



5.2.6.3. Modelo metodológico

En este esquema se conjuntan en un diagrama de flujo la secuencia organizada de las actividades desarrolladas durante la implementación del proyecto, secuencia considerada una importante aportación del trabajo de investigación realizado.





UAEMex



Capítulo 6.

CONCLUSIONES



6.1. Conclusiones

1. **Las variaciones atípicas temporales de la conductividad antes de la manifestación de un sismo es irrefutable en los sitios próximos a la franja costera entre los estados de Guerrero y Oaxaca.**
 - a. De acuerdo con las figuras 6, 9, 13 y 17 (Martínez-García *et al.*, 2015), el comportamiento de los datos tienen una viable correspondencia entre la magnitud de los eventos sísmicos, la posición del sitio de muestreo y la presencia de variaciones atípicas de la conductividad. La presencia de las variaciones es sin duda irrefutable conforme el sitio de monitoreo se encuentra más cerca de la franja costera, Figura 8 (inciso 5.2.3, discusión general), esto es debido a la ocurrencia cercanía de los eventos sísmicos al sensor de conductividad, aunque estos sean de magnitudes menores a 4 grados. *Esta conclusión está a favor de la hipótesis del trabajo de investigación, confirmando la codependencia entre las variaciones anormales de la conductividad del agua y la actividad sísmica.* Por ejemplo, en sitios como “Papalutla” fue frecuente el registro de eventos sísmicos a más de 600 kilómetros de distancia del sensor, cuya magnitud no fue mayor a 4Mw, en este sitio la presencia de variaciones atípicas de la conductividad fue casi imperceptible, situación opuesta a lo observado en los pozos artesianos monitoreados en la comunidad de Corralero, sitio ubicado en al área donde se presenta la mayor frecuencia de eventos sísmicos, dentro de la franja costera.
2. **La comunidad de Corralero (Pinotepa Nacional, Oaxaca), área designada para el monitoreo intensivo de la conductividad, sísmicamente es la más activa por kilómetro cuadrado con tres eventos sísmicos por día (3.8 Mw en promedio).**



- a. Esta conclusión se fundamenta del análisis de datos estadísticos de 14046 sismos mayores a los 3.5 Mw registrados en los últimos 10 años, de 2006 a 2015 (SSN), dentro de los límites de los estados Guerrero, Oaxaca y estados vecinos, figuras 1 y 2 (Martínez-García *et al.*, 2015). Por su condición resultó ideal para la implementación del proyecto de investigación y fue correspondiente con la hipótesis y objetivo desarrollados durante el estudio.
-
- 3. La tendencia de los datos de conductividad en series de 24 horas, muestra incrementos y decrementos atípicos muy marcados en su comportamiento debido a un flujo del agua subterráneo extremadamente rápido por una recarga muy vigorosa y posible intervención humana.**
 - a. Los registros de conductividad en los pozos artesianos muestra fluctuaciones notables entre ellos con valores de 14.12 a 1203.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el sitio CAW01 y valores de 610 a 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el sitio CAW02 (Martínez-García *et al.*, 2016), durante el periodo de las 7:00 a las 23 horas, involucrando desarrollos en cortos periodos de tiempo hasta de una hora. Las series de datos de 24 horas, Figura 11 (Martínez-García *et al.*, 2016) muestran una estrecha relación con la intervención humana y sus labores domésticas.

 - 4. En series de datos de 12 semanas de monitoreo, el incremento de la actividad sísmica tiene una correspondencia lineal con el decremento en la conductividad natural.**
 - a. Esto se corrobora en la Figura 13 (Martínez-García *et al.*, 2016), durante el incremento de la conductividad la actividad sísmica numéricamente disminuye y con el decremento de la conductividad la cantidad de sismos sustancialmente aumenta. El comportamiento de la conductividad durante periodos semanales e



incluso mensuales presenta fluctuaciones similares a ondas, lo anterior parecen estar relacionados con procesos internos que se desarrollan en las capas más profundas del área (Freund and Stolc, 2013; Scoville *et al.*, 2015); al parecer en el área se presentan oscilaciones de energía (ondas) que sólo son más visible en periodos largos de observación y su manifestación parece corresponder con la presencia o ausencia de eventos sísmicos.

5. El registro sistemático de la conductividad natural del agua por largos periodos de tiempo demuestra ser una alternativa efectiva de muestreo para dar respuesta al comportamiento y la correspondencia entre las variaciones atípicas de la conductividad observada y la actividad telúrica local en la franja costera entre los estados de Guerrero y Oaxaca.

- a) Los muestreos ordinarios de conductividad que se llevan a cabo para determinar la calidad del agua en lagos, corrientes y fuentes abastecimientos de agua (ciclos diarios y biogeoquímicos de temperatura, sólidos disueltos, CO₂, O₂, OD, pH, entre otros), regularmente obtienen registros instantáneos con periodos de examen de algunos minutos (Nimick *et al.*, 2011). Sin embargo, existen ciclos geoquímicos aún desconocidos que solo podrán ser corroborados con muestreos sistemáticos horarios, diarios, semanales, mensuales y anuales, tal es el caso del comportamiento irregular de la conductividad y su correspondencia con la actividad sísmica y fenómenos geo-energéticos, sucesos como los estudiados en este trabajo de investigación que por sus características, no había antecedentes publicados (Martínez-García *et al.*, 2015; Martínez-García *et al.*, 2016).



6.2. Recomendaciones.

Las variaciones de la conductividad natural tienen una estrecha relación con tres aspectos importantes: a) la escala de tiempo utilizada durante el monitoreo, b) con la influencia de la intervención humana y c) con la expresión de fenómenos externos terrestres de mayor escala espacial. Para resolver las incógnitas que surgen de los resultados y de los aspectos mencionados, en el corto plazo:

- a. Se debe continuar con la investigación y determinar la o las causas de las variaciones de la conductividad desde varios enfoques;
- b. También es necesario monitorear sitios carentes de la influencia humana. De igual forma plantear posibles hipótesis acerca de los procesos físicos, químicos o hidrológicos que puedan causar cambios en la conductividad por cada escala de tiempo, considerando periodos horarios, diarios, semanales, mensuales o anuales;
- c. Investigar el origen del agua que está contenida en los pozos estudiados; e identificar las rutas del flujo vertical u horizontal del agua;
- d. Identificar las diferentes fuentes de posibles abastecimientos de agua que llegan al pozo.
- e. Realizar simultáneamente el monitoreo de la conductividad del agua en al menos dos sitios que mantengan similares condiciones.
- f. A pesar de los inconvenientes que conlleva, dar mayor énfasis al estudio detallado que permita caracterizar las diferentes fuentes de energía (calor,



UAEMex



energía electromagnética, entre otras) y su comportamiento, empleando equipo más especializado.



UAEMex



BIBLIOGRAFÍA



6. Araiza-Quijano, G. and Hernandez-del-Valle, M.R. 1996. Some Observations of Atmospheric Luminosity as a Possible Earthquake Precursor. *Geofísica Internacional*, 35, 403-408.
7. Asada, T. *et al.*, 2001. An attempt to delineate very low frequency electromagnetic signals associated with earthquakes. *Earth, Planets and Space*, 53(1), pp.55-62.
8. Athanasiou, M. A. *et al.*, 2015. The ultra low frequency electromagnetic radiation observed in the topside ionosphere above boundaries of tectonic plates. *Research in Geophysics*, 4(1), pp.31-39. Available at: <http://www.pagepress.org/journals/index.php/rg/article/view/5001>.
9. Bhat, S., 2005. Salinity (conductivity) sensor based on parallel plate capacitors. , p.95.
10. Biagi, P.F. *et al.*, 2001. Hydrogeochemical precursors of strong earthquakes in Kamchatka: Further analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1(1-2), pp.9-14.
11. Bleier, T. *et al.*, 2009. Investigation of ULF magnetic pulsations, air conductivity changes, and infra red signatures associated with the 30 October alum rock M5.4 earthquake. *Natural Hazards and Earth System Science*, 9(2), pp.585-603.
12. Buskirk, R.E., Frohlich, C. and Latham, G.V. 1981 Unusual Animal Behavior before Earthquakes: A Review of Possible Sensory Mechanisms. *Reviews of Geophysics*, 19, 247-270. <http://dx.doi.org/10.1029/RG019i002p00247>.
13. Campbell, W.H. 2009. Natural magnetic disturbance fields, not precursors, preceding the Loma Prieta earthquake. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 114, pp.1-7.
14. Chang, R. 2002. Química. 7ma edición. McGRAW-HILL Interamericana Editores, S. A. de C. V. ISBN 970-10-3894-0, pp. 2 de 1004.
15. Chen, J. 2013. Canadian lung cancer relative risk from radon exposure for short periods in childhood compared to a lifetime. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(5), pp.1916-1926.



16. Chyi, L.L., Chou, C.Y., Yang, F.T. and Chen, C.H. 2002. Automated Radon Monitoring of Seismicity in a Fault Zone. *Geofísica Internacional*, 41, 507-511.
17. Cicerone, R.D., Ebel, J.E. and Britton, J. 2009. A Systematic Compilation of Earthquake Precursors. *Tectonophysics*, 476, 371-396. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.008>.
18. Deming, D. 2004. The hum: An anomalous sound heard around the world. *Journal of Scientific Exploration*, 18(4), pp.571-595. Available at: http://scientificexploration.org/journal/jse_18_4_deming.pdf.
19. Dologlou, E. 2010. Recent aspects on possible interrelation between precursory electric signals and anomalous bioeffects. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(9), pp.1951-1955. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-10-1951-2010>.
20. Dunajacka, M. A. y Pulinets, S. A. 2005. Atmospheric and thermal anomalies observed around the time of strong earthquakes in México. *Atmosfera*, 18(4), pp.235-247.
21. Febriani, F. *et al.*, 2014. Ultra low frequency (ULF) electromagnetic anomalies associated with large earthquakes in Java Island , Indonesia by using wavelet transform and detrended fluctuation analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, pp.789-798.
22. Fidani, C. 2010. The earthquake lights (EQL) of the 6 April 2009 Aquila earthquake, in Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(5), pp.967-978.
23. Fielding, E.J. *et al.*, 2009. Shallow fault-zone dilatancy recovery after the 2003 Bam earthquake in Iran. *Nature*, 458(7234), pp.64-68. <http://dx.doi.org/10.1038/nature07817>.
24. Foppiano, A. J. *et al.*, 2008. Ionospheric evidence of the May 1960 earthquake over Concepción? *Geofísica Internacional*, 47(3), pp.179-183.
25. Freund, F. and Stolc, V., 2013. Nature of pre-earthquake phenomena and their effects on living organisms. *Animals*, 3(2), pp.513-531.
26. Freund, F.T. 2003. Rocks That Crackle and Sparkle and Glow : Strange Pre-Earthquake Phenomena. *J. Sci. Expl.*, 17(1), pp.37-71. Available at: <http://seismicnews.com/pics/lightning.pdf>.



27. Freund, F.T. 2007a. Pre-earthquake signals – Part I: Deviatoric stresses turn rocks into a source of electric currents. *Nat. Hazards Earth Sys. Sci.*, (7), pp.535–541. Available at: <http://empl.ksc.nasa.gov/Publications/Measuring> Electrostatic Phenomena on Mars and the Moon-fin..pdf.
28. Freund, F.T. 2007b. Pre-Earthquake Signals—Part II: Flow of Battery Currents in the Crust. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 543–548. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-7-543-2007>.
29. Freund, F.T., Takeuchi, A. and Lau, B.W.S., 2006. Electric currents streaming out of stressed igneous rocks – A step towards understanding pre-earthquake low frequency EM emissions. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 31(4–9), pp.389–396. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474706506000647>.
30. Freund, F.T., Takeuchi, A., Lau, B.W.S., Al-Manaseer, A., Fu, C.C., Bryant, N.A. and Ouzounov, D. 2006. Stimulated Infrared Emission from Rocks: Assessing a Stress Indicator. *eEarth*, 1, 97–121.
31. Frohlich, C. and Buskirk, R.E. 1980. Can Fish Detect Seismic Waves? *Geophysical Research Letters*, 7, 569. <http://dx.doi.org/10.1029/GL007i008p00569>.
32. Gali, R.K., Soupir, M.L. and Helmers, M.J., 2012. Electrical Conductivity as a tool to estimate chemical properties of drainage water quality in the Des Moines Lobe , Iowa. In *ASABE Annual International Meeting*. Iowa,USA, pp. 2–10.
33. Garstang, M., 2009. Precursor Tsunami Signals Detected by Elephants. *The Open Conservation Biology Journal*, 3, pp.1–3.
34. Ge, L., Zhao, J. y Luo, Y. 2014. The Research on Earthquake Radon Anomalies. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2(December), pp.38–40. Available at: <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2014.25006>.
35. Grant, R. A. and Halliday, T., 2010. Predicting the unpredictable; evidence of pre-seismic anticipatory behaviour in the common toad. *Journal of Zoology*, 281(4), pp.263–271.



36. Grant, R. A. *et al.*, 2011. Ground water chemistry changes before major earthquakes and possible effects on animals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(6), pp.1936–1956. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph8061936>.
37. Guangcai, W., Zuochen, Z., Min, W., Cravotta, C.A. and Chenglong, L. 2005. Implications of Ground Water Chemistry and Flow Patterns for Earthquake Studies. *Ground Water*, 43, 478-484. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.2005.0037.x>.
38. Guo, G. y Jie, Y. 2013. Three attempts of earthquake prediction with satellite cloud images. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13(1), pp.91–95.
39. Guo, G. y Wang, B. 2008. Cloud anomaly before Iran earthquake. *International Journal of Remote Sensing*, 29(7), pp.1921–1928. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160701373762>.
40. Hallett, M., 1992. Percetion of the pre-seismic signals among reptiles. The case of the Parma Apennines (Italy). *NCGTN*, 15(1), pp.1106–1107.
41. Hasbi, A. M., Mohd Ali, M. a. y Misran, N. 2011. Ionospheric variations before some large earthquakes over Sumatra. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(2), pp.597–611.
42. Hayakawa, M. 2013. Possible Electromagnetic Effects on Abnormal Animal Behavior. *Animals*, pp.19–32.
43. Hayakawa, M. *et al.*, 2011. Ionospheric perturbations in possible association with the 2010 Haiti earthquake, as based on medium-distance subionospheric VLF propagation data. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11, pp.513–518.
44. Hayakawa, M., Hattori, K. y Ohta, K. 2007. Monitoring of ULF (Ultra-Low-Frequency) Geomagnetic Variations Associated with Earthquakes. *Sensors*, 7, pp.1108–1122.
45. Henshaw, D.L. 2004. Childhood Leukaemia and EMFs ; Mobile Phones and Brain Tumours , Risks and Causal Pathways Two types of fields from the electricity supply : Electric fields (EFs) & Magnetic fields (MFs)* Doubling of Childhood



- Leukaemia risk Increased incidence of chi. In *The 7th Princess Chulabhorn International Science Congress*. pp. 1–17.
46. Henshaw, D.L., Ward, J.P. and Matthews, J.C. 2008. Can Disturbances in the Atmospheric Electric Field Created by Powerline Corona Ions Disrupt Melatonin Production in the Pineal Gland? *Journal of Pineal Research*, 45, 341–350. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-079X.2008.00594.x>.
47. Heraud, J. A. y Lira, J. A. 2011. Co-seismic luminescence in Lima, 150 km from the epicenter of the Pisco, Peru earthquake of 15 August 2007. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(4), pp.1025–1036. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-11-1025-2011>.
48. Jin, X. *et al.*, 2013. The Correlations between the Lightning Density Distribution of Sichuan Province and the Seismic Area. *International Journal of Geosciences*, 4(March), pp.380–386. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2013.42036>.
49. Kawaguchi, Y. 1998. Charged particle emission and luminescence upon bending fracture of granite. *Japanese Journal of Applied Physics, Part 1: Regular Papers and Short Notes and Review Papers*, 37(6 A), pp.3495–3499.
50. Kirschvink, J.L. 2000. Earthquake prediction by animals: Evolution and sensory perception. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(2), pp.312–323. <http://dx.doi.org/10.1785/0119980114>.
51. Koren, I. *et al.*, 2012. Aerosol-induced intensification of rain from the tropics to the mid-latitudes. *Nature Geoscience*, 5(2), pp.118–122. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1364>.
52. Koshevaya, S., V. Grimalsky, G. Urquiza, M. Tecpoyotl, A. Kotsarenko, V. Yutsis, N.M. 2012. Explosions and seismic phenomena based on exciting of acoustic-electromagnetic waves. *Natural Science*, 04(28), pp.652–658.
53. Koshevaya, S.V., Pérez-Enríquez, R. and Kotsarenko, N.Y. 1997. The Detection of Electromagnetic Processes in the Ionosphere Caused by Seismic Activity. *Geofísica Internacional*, 36, 55–60.
54. Kostoglodov, V. *et al.*, 2003. A large silent earthquake in the Guerrero seismic gap, Mexico. *Geophysical Research Letters*, 30(15), p.1807.



55. Kotsarenko, A., Grimalsky, V., Koshevaya, S., Pérez Enríquez, R., Yutsis, V., López Cruz-Abeyro, J.A. and Villegas Cerón, R.A. 2008. Evidence of a New Electromagnetic Resonance Discovered at Teoloyucan Geomagnetic Station, México? *Geofísica Internacional*, 47, 287-293.
56. Kumar, A., Walia, V., Singh, S., Bajwa, B.S., Mahajan, S., Dhar, S. and Yang, T.F. 2012. Earthquake Precursory Studies at Amritsar Punjab, India Using Radon Measurement Techniques. *International Journal of Physical Sciences*, 7, 5669-5677.
57. Li, Q. *et al.*, 2015. On the Anomalies in ULF Magnetic Field Variations Prior to the 2008 Sichuan Earthquake. *Open Journal of Earthquake Research*, 4(May), pp.55-64.
58. Li, Y. *et al.*, 2009. Behavioral change related to Wenchuan devastating earthquake in mice. *Bioelectromagnetics*, 30(8), pp.613-620.
59. Lighton, J.R.B. y Duncan, F.D. 2005. Shaken, not stirred: a serendipitous study of ants and earthquakes. *The Journal of experimental biology*, 208(Pt 16), pp.3103-3107.
60. Liperovsky, V. A. y Meister, M., 1990. Electromagnetic Disturbances Associated With Earthquakes: An Analysis of Ground-Based and Satellite Data. *Journal of Scientific Exploration*, 4(2), pp.203-211.
61. Liperovsky, V. A. *et al.*, 2011. Electric field and infrared radiation in the troposphere before earthquakes. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11, pp.3125-3133.
62. Liso, G. De and Fidani, C., 2014. Seismic Precursory Phenomenology in Unusual Animal Behaviour in Val Pellice , Western Piedmont , in Comparison with Anomalies of Some Physical Parameters. *Open Journal of Earthquake Research*, 2014(February), pp.30-42. Available at: <http://www.scirp.org/journal/ojer>.
63. Liu, Y. y Rice, J.R. 2009. Slow slip predictions based on granite and gabbro friction data compared to GPS measurements in northern Cascadia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(9), pp.1-19.
64. Li-Xin, W., Jin-Ping, L. and Shan-Jun, L. 2009. Space Observed Two Abnormal Linear Clouds before Wenchuan Earthquake. In *3rd IASME / WSEAS International Conference on Geology and Seismology*. pp. 138 - 143.
65. Lomnitz, C., 1990. Predicción de Sismos : Una ojeada al futuro. *GEOS*, 10, pp.11-19.



66. Martínez-García, F. , Colín-Cruz, A. , Pereira-Corona, A. , Adame-Martínez, S. and Ramírez-García, J. (2016) Natural Water Conductivity Behavior within the Seismic Pacific Coast of Southern Mexico. *Open Access Library Journal*, **3**, 1-21. doi: [10.4236/oalib.1102836](https://doi.org/10.4236/oalib.1102836).
67. Martínez-García, F., Colín-Cruz, A., Adame-Martínez S. and Ramírez-García, J.J. 2015. Atypical Variations of Water Conductivity Prior to Tectonic Earthquakes. *International Journal of Geosciences*, 2015(December), pp.1367–1385. Available at: <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2015.612108>.
68. Namgaladze, A.A., Zolotov, O.V., Karpov, M.I. and Romanovskaya, Y.V. 2012. Manifestations of the Earthquake Preparations in the Ionosphere Total Electron Content Variations. *Natural Science*, **4**, 848-855. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2012.411113>.
69. Nava, A., 2011. *Terremotos* 4th ed. F. de C. E. (FCE), ed., México: Fondo de Cultura Económica (FCE).
70. Nimick, D.A., Gammons, C.H. y Parker, S.R. 2011. Diel biogeochemical processes and their effect on the aqueous chemistry of streams: A review. *Chemical Geology*, **283**(1-2), pp.3–17.
71. Obara, K. and Sekine, S., 2009. Characteristic activity and migration of episodic tremor and slow-slip events in central Japan. *Earth, Planets and Space*, **61**(7), pp.853–862.
72. Omori, Y. *et al.*, 2007. Anomalous radon emanation linked to preseismic electromagnetic phenomena. *Natural Hazards and Earth System Science*, **7**(5), pp.629–635. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-7-629-2007>.
73. Papadopoulos, G. A. *et al.*, 2010. Strong foreshock signal preceding the L'Aquila (Italy) earthquake (Mw 6.3) of 6 April 2009. *Natural Hazards and Earth System Science*, **10**(1), pp.19–24. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-10-19-2010>.
74. Payero, J.S. *et al.*, 2008. Nonvolcanic tremor observed in the Mexican subduction zone. *Geophysical Research Letters*, **35**(7), pp.1–6.
75. Pérez-Campos, X., Kim, Y.H., Husker, A., Davis, P.M., Clayton, R.W., Iglesias, A., Pacheco, J.F., Singh, S.K., Manea, V.C. and Gurnis, M. 2008. Horizontal Subduction



- and Truncation of the Cocos Plate beneath Central Mexico. *Geophysical Research Letters*, 35, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL035127>.
76. Plastino, W. *et al.*, 2010. Uranium groundwater anomalies and L'Aquila earthquake, 6th April 2009 (Italy). *Journal of Environmental Radioactivity*, 101(1), pp.45–50. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.08.009>.
77. Pulinets S.A. and Dunajevka, M.A. 2007. Specific Variations of air Temperature and Relative Humidity around the Time of Michoacan Earthquake M8.1 Sept. 19, 1985 as a Possible Indicator of Interaction between Tectonic Plates. *Tectonophysics*, 431, 221-230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2006.05.044>.
78. Pulinets, S. 2004. Ionospheric Precursors of Earthquakes: Recent Advances in Theory and Practical Applications, *Terr. Atmospheric & Ocean Science*, 15, 413-435.
79. Pulinets, S. A. *et al.*, 2006. Thermal, atmospheric and ionospheric anomalies around the time of the Colima M7.8 earthquake of 21 January 2003. *Annales Geophysicae*, 24(3), pp.835–849. <http://dx.doi.org/10.5194/angeo-24-835-2006>.
80. Pulinets, S.A. 2009. Physical Mechanism of the Vertical Electric Field Generation over Active Tectonic Faults. *Advances in Space Research*, 44, 767-773. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2009.04.038>.
81. Pulinets, S.A., Contreras, A.L. and Ciralo, L. 2005. Total Electron Content Variations in the Ionosphere before the Colima, Mexico, Earthquake of 21 January 2003. *Geofisica Internacional*, 44, 369-377.
82. Pulinets, S.A., Ouzounov, D., Karelin, A.V., Boyarchuk, K.A. and Pokhmelnikh, L.A. 2006. The Physical Nature of Thermal Anomalies Observed before Strong Earthquakes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 143-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2006.02.042>.
83. Reddy, D.V. and Nagabhushanam, P. 2011. Groundwater Electrical Conductivity and Soil Radon Gas Monitoring for Earthquake Precursory Studies in Koyna, India. *Applied Geochemistry*, 26, 731-737. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.01.031>.
84. Sac, M.M., Harmansah, C., Camgoz, B. and Sozbilir, H. 2011. Radon Monitoring as the Earthquake Precursor in Fault Line in Western Turkey. *Ekoloji*, 20, 93-98.



85. Santos, J. A. *et al.*, 2012. Cloud-to-ground lightning in Portugal: Patterns and dynamical forcing. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(3), pp.639–649.
86. Saradjian, M.R. y Akhoondzadeh, M. 2011. Thermal anomalies detection before strong earthquakes ($M < 6.0$) using interquartile, wavelet and Kalman filter methods. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(4), pp.1099–1108.
87. Saraf, A. K. and Choudhury, S., 2005. Thermal remote sensing technique in the study of pre-earthquake thermal anomalies. *J. Ind. Geophys. Union*, 9(3), pp.197–207.
88. Saraf, A.K. *et al.*, 2008. Detecting Earthquake Precursor: A Thermal Remote Sensing Approach. *Geospatial World*, (table 1), pp.1–13.
89. Saraf, A.K. *et al.*, 2008. Satellite detection of earthquake thermal infrared precursors in Iran. *Natural Hazards*, 47(1), pp.119–135.
90. Sarkar, S., Choudhary, S., Sonakia, A., Vishwakarma, A. and Gwal, A.K. 2012. Ionospheric Anomalies Associated with the Haiti Earthquake of 12 January 2010 Observed by DEMETER Satellite. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 671-678. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-12-671-2012>.
91. Scoville, J., Héraud, J. y Freund, F. 2015. Pre-earthquake magnetic pulses. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15, pp.1873–1880.
92. Servicio Geológico Mexicano (SGM) 1998a. Carta Geológico-Minera Chilpancingo E14-8. Secretaría de Economía, 1.
93. Servicio Geológico Mexicano (SGM) 1998b. Carta Geológico-Minera Cuernavaca E14-5. Secretaría de Economía, 1.
94. Sharma, D.K. *et al.*, 2006. Effect of seismic activities on ion temperature in the F2 region of the ionosphere. *Atmosfera*, 19(1), pp.1–7.
95. Shiro, B. *et al.*, 2012. Measuring Ion Currents and Electric Fields Caused by Earthquakes, Volcanoes, and Lightning in the Mesosphere. In *NSRC*. pp. 27–29.
96. Shou, Z., 2007. The cloud of the m8.4 Indonesian earthquake on september 12, 2007. *NCGTN*, (45), pp.31–33.
97. Silva, H.G. *et al.*, 2011. Atmospheric electrical field decrease during the M =4.1 Sousel earthquake (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(3), pp.987–991.



98. Singh, S. *et al.*, 2010. Radon monitoring in soil gas and ground water for earthquake prediction studies in north west Himalayas, India. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 21(4), pp.685–695. [http://dx.doi.org/10.3319/TAO.2009.07.17.01\(TT\)](http://dx.doi.org/10.3319/TAO.2009.07.17.01(TT)).
99. Stanica, D. y Stanica, D. a. 2011. Anomalous pre-seismic behavior of the electromagnetic normalized functions related to the intermediate depth earthquakes occurred in Vrancea zone, Romania. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(12), pp.3151–3156.
100. Straser, V. 2009a. A “Jackpot ” for the forecast of earthquakes. *Nat. Hazards Earth Sysy. Sci.*, 11(51), pp.4–13.
101. Straser, V. 2009b. Luminous phenomena in the atmosphere: signs of uplift of the earth’s crust? The “lights” in Taro Valley (Italy) and Hessdalen (Norway). *NCGTN*, (53), pp.47–56.
102. Stratta, P. *et al.*, 2012. Mental health issues after the L’Aquila (Italy) earthquake. *Salud & Sociedad*, 3(1), pp.20–30.
103. Thomas P. Chapin, A.S.T. and M.P.Z., 2014. Robust, low-cost data loggers for stream temperature, flow intermittency, and relative conductivity monitoring. *Water Resources Research*, 50, pp.5216–5234.
104. Thomas, D., 1988. Geochemical precursors to seismic activity. *Pure and Applied Geophysics* *PAGEOPH*, 126(2-4), pp.241–266. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00878998>
105. Mettler-Toledo, 2014. Guía para la medición de la conductividad: Teoría y práctica de la conductividad. , p.60.
106. Tong, W.K. 1988. Abnormal Animal Behavior. Faculty of the Department of Earth Sciences, Northeastern Illinois.
107. Vassiliou, M.S. and Kanamori, H., 1982. The energy release in earthquakes. *Bulletin of the Seismological Socmty of Amerma*, 72(2), pp.371–387.
108. Vaupotič, J., Riggio, A., Santulin, M., Zmazek, B. and Kobal, I. 2010. A Radon Anomaly in Soil Gas at Cazzaso, NE Italy, as a Precursor of an ML = 5.1 Earthquake. *Nukleonika*, 55, 507-511.



109. Virk, H.S., Walia, V., Sharma, A.K., Kumar, N. and Kumar, R. 2000. Correlation of Radon Anomalies with Microseismic Events in Kangra and Chamba Valleys of N-W Himalaya. *Geofisica Internacional*, 39, 221-227.
110. Vishal, A., Bikramjit, S. B., Surinder, S. 2011. Measurements of Radon Concentrations in Ground Water Samples of Tectonically Active Areas of. *Radiation Protection and Environment*, 34(1), pp.50-54.
111. Walker, S.N., Kadirkamanathan, V. y Pokhotelov, O.A. 2013. Changes in the ultra-low frequency wave field during the precursor phase to the Sichuan earthquake: DEMETER observations. *Annales Geophysicae*, 31(9), pp.1597-1603.
112. Yadav, K.S., Karia, S.P. and Pathak, K.N., 2015. Anomalous Variation in GPS Based TEC Prior to the 5 Earthquakes in 2009 and 2010. *Positioning*, 6(November), pp.96-106.
113. Yamamoto, J. *et al.*, 2013. Seismic patterns of the Guerrero-Oaxaca, Mexico region, and its relationship to the continental margin structure. *Geophysical Journal International*, 192(1), pp.375-389.
114. Yamauchi, H. *et al.*, 2014. Unusual Animal Behavior Preceding the 2011 Earthquake off the Pacific Coast of Tohoku, Japan: A Way to Predict the Approach of Large Earthquakes. *Animals*, 4(March), pp.131-145.
115. Yanai, S., Semba, Y. and Endo, S., 2012. Remarkable Changes in Behavior and Physiology of Laboratory Mice after the Massive 2011 Tohoku Earthquake in Japan. *PLoS ONE*, 7(9), pp.1-8.
116. Zhang, X. *et al.*, 2012. Phenomena of electrostatic perturbations before strong earthquakes (2005-2010) observed on DEMETER. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(1), pp.75-83.

ANEXO



Foto 1. Monitoreo en el sitio "La Soledad", usando el medidor multiparamétrico



Foto 2. Monitoreo en el sitio "Laguna 1", usando el medidor multiparamétrico



Foto 3. Sitio el Borbollón.



Foto 4. Monitoreo en el sitio "Papalutla", usando el medidor multiparamétrico. Balneario de aguas termales.



Foto 5. Manantial en el Sitio "Teoixtla", centro recreativo ubicado en la comunidad de Tixtla, Gro.



Foto 6. Monitoreo en el sitio "Papatutla", usando el medidor multiparamétrico. Balneario de aguas termales.



Foto 7. Monitoreo en el sitio "El Borbollón", usando el medidor multiparamétrico



Foto 8. Monitoreo en el sitio "Laguna 2", usando el medidor multiparamétrico