

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRICOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO DE HIDROCIENCIAS

CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA LERMA - CHAPALA

VIVIANA MARIA ARTEAGA CORTEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2010.

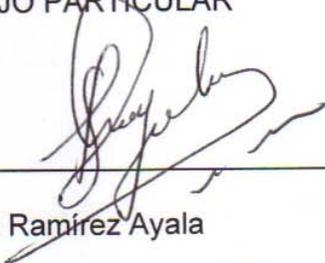
La presente tesis titulada: **“Calidad de las Aguas Residuales de la Cuenca Lerma – Chapala”**, realizada por la alumna: **“Viviana Maria Arteaga Cortez”** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

Consejero:



Dr. Carlos Ramírez Ayala

Asesor:



Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar

Asesor:



Dr. Ebandro Uscanga Mortera

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2010.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo mexicano, que gracias a su contribución y a través de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología financió mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados que me acogió y me brindó la oportunidad de formarme académicamente.

A Hidrociencias que me dio las facilidades para culminar mis estudios y desarrollar esta tarea, así como a los profesores del programa por compartir sus conocimientos.

Al Dr. Carlos Ramírez Ayala y al Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar por su enseñanza, su valiosa dirección, y la revisión de este trabajo, por su apoyo incondicional e invaluable amistad.

Al Dr. Ebandro Uscanga Mortera por las observaciones y aportaciones en la realización de este documento.

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de la vida y del progreso.

A mi madre Ana María Cortez Domínguez por su apoyo incondicional.

A mis hermanos Mariana y (†) Arturo por su apoyo.

A mi novio Jorge A. Baltazar, por su apoyo absoluto.

A mis amigos Mayra Mendoza, Miguel A. Pérez, Alfredo por su apoyo incondicional en los momentos difíciles.

ÍNDICE

Índice de cuadros	i
Índice de figuras	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
3.1. OBJETIVO	3
3.2. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
4.1. AGUAS RESIDUALES	4
4.2. REGLAMENTACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	7
4.3. CALIDAD DE LAS AGUAS PARA RIEGO	18
4.4. SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS	18
4.5. SODIFICACIÓN DE SUELOS	19
4.6. RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO	22
4.6.1. RAS	22
4.6.2. RAS _{aj} (RAS AJUSTADO)	22
4.6.3. RAS° (RAS CORREGIDO)	25
4.7. DIRECTRICES PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	27
4.8. EFECTO DE LOS IONES DE BICARBONATO HCO ₃ ⁻ Y CARBONATO CO ₃ ⁻² EN LA CALIDAD AGRONÓMICA DE LAS AGUAS	29
4.9. ÍNDICE DE SALINIDAD EFECTIVA (SE)	31
4.10. ÍNDICE DE SALINIDAD POTENCIAL (SP)	32
V. MATERIALES Y MÉTODOS	33

5.1.	DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	33
5.1.1	SUELOS	34
5.1.2	GEOLOGÍA	34
5.1.3	CLIMA	35
5.1.4	HIDROLOGÍA	36
5.2	UBICACIÓN DE SITIOS Y NUMERO DE MUESTRAS	38
5.3	DETERMINACIONES REALIZADAS A LAS MUESTRAS	40
5.3.1	DESCRIPCIÓN DE LAS DETERMINACIONES	40
5.4	MÉTODOS PARA COMPROBAR LA EXACTITUD DE LOS ANÁLISIS	46
VI	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	49
6.1	ESTACIONES DE MUESTREO Y COMPOSICIÓN IÓNICA	49
6.2	CONCENTRACIÓN DE SALES EN LAS MUESTRAS DE AGUA	59
6.3	CONCENTRACIÓN DE CATIONES EN LAS MUESTRAS DE AGUA (mmol/L)	62
6.4	CONCENTRACIÓN DE ANIONES EN LAS MUESTRAS DE AGUA (mmol/L)	63
6.5	DEPENDENCIA DE LA PRESIÓN OSMÓTICA CON RESPECTO A LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	64
6.6	ÍNDICE DE SALINIDAD	67
6.7	ÍNDICES DE CLASIFICACIÓN	73
6.8	DISTRIBUCIÓN DE FOSFATOS	75
6.9	DISTRIBUCIÓN DE NITRATOS	76
6.10	DISTRIBUCIÓN DE BORO	79
VII	CONCLUSIONES	82
VIII	RECOMENDACIONES	83
IX	BIBLIOGRAFÍA	84
	ANEXO I (formatos de campo)	87

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Criterios para la calidad del agua, publicados por la Organización Mundial de la Salud.	8
Cuadro 2	Comparativa entre los estándares de la OMS y la Unión Europea.	10
Cuadro 3	Límites máximos permisibles de contaminantes básicos.	12
Cuadro 4	Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros	13
Cuadro 5	Límites máximos permisibles para sistemas de alcantarillado urbano	14
Cuadro 6	Límites máximos permisibles de contaminantes	16
Cuadro 7	Criterios ecológicos de calidad del agua	17
Cuadro 8	Clasificación de las aguas para riego según su salinidad	19
Cuadro 9	Clasificación de las aguas para riego según su Relación de Adsorción de Sodio	20
Cuadro 10	Procedimiento para calcular pHc teórico calculado para las aguas, de riego.	24
Cuadro 11	Concentración de calcio (Ca°) en el agua del suelo, contenida en el suelo cerca de la superficie, que resulta de regar con aguas de determinado valor $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{+2}$ y CE en dS m^{-1} .	26
Cuadro 12	Directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego	28
Cuadro 13	Localización geográfica de las estaciones de muestreo	39
Cuadro 14	Determinaciones físico-químicas	40
Cuadro 15	Criterios de aceptación del balance anión - catión	47
Cuadro 16	Factores de conductividad para iones comúnmente concentrados en agua	47
Cuadro 17	Composición iónica de las aguas de la cuenca Lerma - Chápala	54

Cuadro 18	Clasificación de las aguas de muestreo de la cuenca Lerma - Chápala	61
Cuadro 19	Presión osmótica y clasificación de salinidad de las muestras de agua de la cuenca Lerma – Chápala.	65
Cuadro 20	Clasificación de las aguas para riego de acuerdo a su salinidad y sodicidad	70
Cuadro 21	Clasificación de las aguas de la cuenca Lerma – Chápala, según su reducción relativa de infiltración	72
Cuadro 22	Valores de índices de salinidad, de las aguas de la cuenca Lerma – Chápala	74
Cuadro 23	Contenido permisible de nitrato, en aguas para uso agrícola	76
Cuadro 24	Contenido de nitrato, en aguas de la cuenca Lerma - Chápala	77
Cuadro 25,	Contenido permisible de boro, en aguas para uso agrícola	79
Cuadro 26	Contenido de boro, en aguas de la cuenca Lerma - Chápala	80

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pagina
Figura 1	Diagrama de Wilcox para clasificar las aguas según el RAS y CE.	21
Figura 2	Ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica Lerma – Chápala	33
Figura 3	Hidrología superficial de la cuenca Lerma – Chápala (Cotler Avalos, Mazari Hiriart, de Anda Sánchez; 2006)	37
Figura 4	Ubicación de las estaciones de muestreo	38
Figura 5	Distribución de frecuencias en la conductividad eléctrica	50
Figura 6	Distribución de frecuencias en el pH	52
Figura 7	Composición iónica de las aguas de la cuenca Lerma – Chápala	57
Figura 8	Composición iónica de las aguas de la cuenca Lerma – Chápala	58
Figura 9	Relación entre conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la concentración total de sales (mg/L) de la cuenca Lerma - Chápala	60
Figura 10	Relación entre conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la concentración total de sales (mg/L) de la cuenca Lerma - Chápala	60
Figura 11	Relación entre conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la concentración de cationes (mmol/L) de la cuenca Lerma - Chápala	62
Figura 12	Relación entre conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la concentración de aniones (mmol/L) de la cuenca Lerma - Chápala	63
Figuras 13	Relación entre la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la presión osmótica (atm) de la cuenca	66
Figuras 14	Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego	68
Figuras 15	Diagrama de clasificación de aguas para riego de la cuenca Lerma – Chápala	69
Figuras 16	Reducción relativa de la infiltración causada por la	71

salinidad y la relación de adsorción de sodio, de las aguas de la cuenca Lerma – Chápala

Figuras 17	Distribución del contenido de Fosforo en las aguas de la cuenca Lerma - Chápala	75
Figura 18	Distribución del contenido de Nitrato en las aguas de la cuenca Lerma - Chápala	78
Figura 19	Distribución del contenido de Boro en las aguas de la cuenca Lerma - Chápala	81

RESUMEN
Viviana Ma. Arteaga Cortez, MC.
Colegio de Postgraduados, 2010

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales, en que se apoya el desarrollo, constituyéndose como un apoyo fundamental para el progreso del hombre. El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales. Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. En la actualidad se cuenta con una gran corriente que une el centro y el occidente del país, el río Lerma cubre 700 kilómetros, desde Toluca a Guadalajara. Este afluente tranquiliza la sed insaciable del Distrito Federal; cruza los complejos industriales del Estado de México y Salamanca, de igual forma estas zonas industriales descargan en su totalidad en el Río Lerma, el agua residual proveniente de esta corriente sirve a su vez para abastecer los llanos graneros del Bajío, en Querétaro y el Valle de Santiago en Guanajuato, y a través del lago de Chápala es la mayor fuente de agua potable de la capital de Jalisco (Bogar Escobar, 2005).

Las aguas residuales que se vierten a lo largo del río Lerma, reciben afluentes de los escurrimientos naturales.

En cada estación de muestreo de la cuenca hidrográfica Lerma-Chápala, se evaluaron los siguientes parámetros: la concentración (mg L^{-1}), la conductividad eléctrica (CE) el valor mínimo es $142 \mu\text{S cm}^{-1}$ y el máximo $12650 \mu\text{S cm}^{-1}$, encontrándose el valor de la media en $614 \mu\text{S cm}^{-1}$. La presión osmótica (PO) el valor mínimo es 0.51 atm y el máximo 5.5694 atm, encontrándose el valor de la media en 0.2106 atm. La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) el valor calculado por diferentes formulaciones no presenta cambios importantes por lo que el valor máximo se encuentra 30.911 y el mínimo 0.053 con una media 1.3057. De la misma forma se evaluaron los siguientes parámetros la salinidad efectiva (SE), salinidad potencial (SP), contenido de Fosforo (P), y Boro (B); Para definir de esta forma la calidad del agua, de la misma manera se realizó la caracterización química, determinándose los siguientes iones: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K , CO_3^{-2} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , y SO_4^{-2} .

Palabras clave: río Lerma, agua residual, caracterización química, contaminación, presión osmótica, relación de adsorción de sodio.

ABSTRACT

**Viviana Ma. Arteaga Cortez, MC.
Colegio de Postgraduados, 2010**

The water is one of the natural fundamental resources, on which the development rests, being constituted as a fundamental support for the progress of the man. The case of the water is one of the clearest examples: a major supply of water means a major load of waste water. The waste water is materials derived from domestic residues or from industrial processes, which cannot be rejected throwing them without treatment into lakes or conventional currents. Presently we count on a great current that joins the center and the west part of the country, the Lerma River runs through 700 kilometres, from Toluca to Guadalajara. This spring calms down the insatiable thirst of the Federal District; it crosses the industrial complexes of the State of Mexico and Salamanca, these industrial parks sends in its entirety their residual water into the Lerma River, the residual water coming from this flow serves in turn to the lands of the Shoal, in Querétaro and the Valley of Santiago in Guanajuato, and with the Chapala Lake is the major drinking fountain of Guadalajara the capital of Jalisco State (Bogar Escobar, 2005).

The waste water that are spilt along the river Lerma, receives tributaries of the natural runoffs.

On every station of sampling of the hydrographic basin Lerma-Chápala, the following parameters were evaluated: the concentration (mg L^{-1}), the electrical conductivity (CE) the minimal value is $142 \mu\text{S cm}^{-1}$ and the maximum $12650 \mu\text{S cm}^{-1}$, being the value of the average in $614 \mu\text{S cm}^{-1}$. The osmotic pressure (PO) the minimal value is 0.51 atm, and the maximum 5.5694 atm , being the value of the average in 0.2106 atm. The Relation of Adsorption of Sodium (RAS) the value calculated by different formulations does not present important changes for what the maximum value is 30.911 and the minimum 0.053 with an average 1.3057. Of the same form the following parameters evaluated the effective salinity (SE), potential salinity (SP), contained of Phosphorus (P), and Boron (B); to define of this form the quality of the water, of the same way the chemical characterization was performed, deciding the following ions: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K, CO_3^{-2} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , y SO_4^{-2} .

Key words: Lerma River, residual water, chemical characterization, pollution, osmotic pressure, relation of adsorption of sodium.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales, en que se apoya el desarrollo del hombre, es uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza que cubre aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie de la tierra. Sin embargo, en contra de lo que pudiera parecer, diversos factores limitan la disponibilidad del agua, dicha disponibilidad a nivel mundial enfrenta un conjunto de problemas, los cuales conforman lo que se conoce como la problemática del agua, que es distinta en cada lugar del planeta. El crecimiento demográfico, la rápida urbanización y el aumento del abastecimiento de agua y de saneamiento generarán problemas de contaminación de aguas residuales cada vez mayores. Se estima que el volumen global anual de aguas residuales es de 1,500 km³. Se trata de aguas con un alto contenido de elementos contaminantes, que a su vez contaminan aquellos sistemas a los que son evacuadas. Partiendo de la base de que cada litro de agua residual contamina al menos 8 litros de agua dulce, se estima que, anualmente unos 12,000 km³ de recursos hídricos del planeta no están disponibles para su aprovechamiento. En México, las aguas residuales se generan aproximadamente a una velocidad de 30 m³ por segundo (m³/s), 43,200 m³ se generan por día, alrededor del 19% de éstas se vierte directamente sin ningún tipo de tratamiento (Cotler, Mazari, de Anda, 2006).

En la actualidad se cuenta con una gran corriente que une el centro y el occidente del país, el río Lerma cubre 700 kilómetros, desde Toluca a Guadalajara. Este afluente tranquiliza la sed insaciable del Distrito Federal; cruza los complejos industriales del Estado de México y Salamanca, de igual forma estas zonas industriales descargan en su totalidad en el Río Lerma, el agua residual proveniente de esta corriente sirve a su vez para abastecer los llanos graneros del Bajío, en Querétaro y el Valle de Santiago en Guanajuato, y a través del lago de Chápala es la mayor fuente de agua potable de la capital de Jalisco (Bogar, 2005).

En la presente investigación se estudia el problema de la contaminación del agua, analizando la caracterización físico – química de las aguas residuales, y

los niveles de concentraciones iónicas, de la cuenca hidrológica del río Lerma, evaluando la calidad de las aguas residuales, según las normas oficiales mexicanas, y la calidad del agua a partir de los distintos índices de salinidad.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la utilización de las aguas residuales para riego se hace presente en las regiones más áridas del país. El agua proveniente de los complejo industriales del estado de México y de Salamanca, descargan en su totalidad en el río Lerma, el agua proveniente de esta corriente se usa para riego agrícola en la zona del bajío, en particular el valle de Santiago en el estado de Guanajuato. La utilización de aguas residuales para riego agrícola puede traer consigo un aumento gradual en el contenido de sales en el suelo, teniendo como consecuencia una reducción en la disponibilidad del agua para las plantas. Por lo tanto, la importancia de este trabajo radica que con base en la determinación de la calidad del agua se recomiendan una serie de medidas para control de la calidad del agua, de la cuenca hidrológica Lerma - Chápala.

III. OBJETIVO E HIPÓTESIS

3.1. OBJETIVO

Determinar las concentraciones iónicas de las aguas residuales de la cuenca del río Lerma, a lo largo de su cauce y afluentes.

Clasificación de acuerdo con los índices de las aguas residuales utilizadas para el riego de la cuenca hidrológica Lerma – Chápala, así como generar recomendaciones para su uso.

3.2. HIPÓTESIS

Las concentraciones y la composición química de las aguas residuales a lo largo de la cuenca hidrológica del río Lerma tienen variaciones debido a los afluentes provenientes de las ciudades que descargan aguas residuales, así como de las zonas industriales, en su recorrido atraviesa distintas formaciones geológicas encontradas a lo largo de la cuenca hidrológica Lerma - Chápala.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. AGUAS RESIDUALES

La disponibilidad de agua apta para el consumo humano a nivel mundial enfrenta un conjunto de problemas, los cuales conforman lo que se conoce como la problemática del agua, que es distinta en cada lugar de nuestro planeta.

Los problemas del agua se pueden resumir en la *escasez física*, debido a la carencia de agua por la baja precipitación o por insuficientes cuerpos de agua. Este problema se relaciona con la distribución del agua en el planeta. En otras zonas geográficas se presenta *escasez económica* ya que, a pesar de la existencia de agua, no se cuenta con la infraestructura necesaria para aprovecharla. En otros lugares existe agua, pero su calidad no es adecuada para la vida, debido a la contaminación que sufre por el mal manejo de los residuos domésticos e industriales. Adicionalmente se observa el derroche, o consumo excesivo de agua en actividades domésticas e industriales.

El crecimiento demográfico, la rápida urbanización y el aumento del abastecimiento de agua y de saneamiento generarán problemas de contaminación de aguas residuales cada vez mayores.

Se estima que el volumen global de aguas residuales producidas en 1995 supera los 1,500 km³. Se trata de aguas con un alto contenido en elementos contaminantes, que a su vez van a contaminar aquellos sistemas en los que se descargan (Lomeli, Tamayo. Recursos Hidrológicos de México. [en línea] n. d.).

Partiendo de la base de que cada litro de agua residual contamina al menos 8 litros de agua dulce, se estima que, anualmente unos 12,000 km³ de recursos hídricos del planeta no están disponibles para su aprovechamiento. Si esta cifra avanza al mismo ritmo que el crecimiento de la población, que se estima alcanzará los 9,000 millones de personas para el año 2050, el planeta perdería cada año unos 18,000 km³ de recursos hídricos.

En la actualidad, sólo el 10% de las aguas residuales domésticas son recolectadas en los países en vías de desarrollo y sólo el 10% de las plantas

de tratamiento de aguas residuales existentes operan de manera fiable y eficiente (Lenntech BV. FAQ Calidad del agua [en línea]. 1998 – 2009).

Algunos de los daños causados por el mal manejo de aguas residuales en el mundo por ejemplo:

- Mayores costos directos e indirectos causados por el aumento de enfermedades y de la mortalidad;
- Costos más altos para producir agua potable e industrial, con el resultado de tarifas más altas;
- Vertidos ilegales de hidrocarburos en aguas europeas;
- Niveles de hidrocarburos disueltos en el mar mediterráneo de hasta 5 g/l;
- En china los niveles de contaminación medidos en los ríos superan 108 veces los niveles admitidos en ese país;

Las aguas residuales sin tratar afectan a más del 70% de los arrecifes coralinos, valiosos hábitats que están desapareciendo y la biodiversidad está mermando, gran potencial pesquero y agrícola se está perdiendo, mientras la mala calidad del agua está reduciendo el ingreso por turismo y el valor de los bienes raíces.

En marzo de 2003, el Grupo Mundial sobre Financiamiento de Infraestructura para el Agua calculó que se necesitarían 56.000 millones de USD cada año para el tratamiento de aguas residuales con el fin de alcanzar el objetivo de saneamiento.

En México, como en muchos países del mundo, las principales fuentes de contaminación del agua se clasifican de acuerdo con su procedencia en tres grupos:

- Sector social. Aguas residuales municipales, se calcula que el 57 % de las aguas residuales son generadas por la población, principalmente en las ciudades de: México (23 %), Monterrey (4.1 %) y Guadalajara (4 %).

- Sector industrial. Descargas generadas de extracción y transformación de recursos naturales, la industria genera el 43 % de las aguas residuales.

- Sector agropecuario. Efluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado, y por las aguas de retorno de los campos agrícolas, la superficie agrícola de riego y temporal es de 28 millones de hectáreas, que usan 92 500 millones de m³ de agua y se consume el 82 % de ella por lo que la generación de aguas residuales es del 12 % (11 100 millones de m³) (Lenntech BV. FAQ [en línea]. 1998 – 2009).

El Estado de México, genera aguas residuales a una velocidad de 30 m³ por segundo (m³/s), generando 43,200 m³ y alrededor del 19% de éstas se vierte directamente sin ningún tipo de tratamiento.

El río Lerma muestra un paisaje variado y complejo, el agua se distribuye a través de una red de asignaciones y divisiones –federal, estatal, el cual abarca 5 estados, y municipal– “Su trascendencia radica en que es una zona de recarga del manto acuífero abastece al Distrito Federal de agua; es una excelente zona agrícola y es favorable para el desarrollo industrial”.

Lo que sucede a lo largo de su cuenca, es la falta de control federal sobre los contaminantes que vierten empresas y municipios. Los municipios de Naucalpan, Oztolotepec, Temoaya y Toluca son los principales afectados, debido a las descargas residuales que recibe el río Lerma. En la cuenca Lerma – Chápala la mayor parte de las aguas están contaminadas, por que el río es utilizado como canal receptor de desechos por las ciudades y zonas industriales de Toluca y Salamanca, recordando que en esta última existe una refinería. (Bogar, 2005).

Características físicas que presentan las aguas residuales en su mayoría son: Aspecto, color, turbidez, el agua que proviene del sector social e industrial, es agua que contiene muy poco oxígeno y que está caracterizada por un color negruzco, y que las sustancias químicas (composición) que presentan las aguas residuales son las siguientes:

Están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, son proteínas, ureas, aminos y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones. La concentración de orgánicos en el agua se determina a través de la demanda bioquímica de oxígeno cinco (DBO_5), la cual mide material orgánico carbonáceo principalmente, mientras que la demanda bioquímica de oxígeno veinte (DBO_{20}) mide material orgánico carbonáceo y nitrogenado demanda bioquímica de oxígeno 2 (DBO_2).

4.2. REGLAMENTACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

La calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes, factores físico-químicos tales como pH y conductividad eléctrica, cantidad de sales y de la presencia de fertilizantes. Los criterios, estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo del uso.

La reglamentación de las aguas residuales tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir las obras y procedimientos propios del sector de agua potable, de la misma forma complementa las acciones en materia de saneamiento, con la finalidad de estar en condiciones de cumplir con las leyes del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en la cual cada país establece cierto criterio para la reglamentación de aguas residuales.

Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), y por los gobiernos nacionales, pudiendo variar ligeramente de uno a otro.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece unos criterios para la calidad del agua, siendo punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable. Los últimos criterios publicados por la OMS son las acordadas en Génova, 1993 (Lenntech BV. FAQ [en línea]. 1998 – 2009).

Cuadro 1, Criterios para la calidad del agua, publicados por la Organización Mundial de la Salud.

Elemento/ sustancia	Símbolo/ fórmula	Valores normales en aguas dulces/superficiales/subterráneas
Aluminio	Al	
Amonio	NH ₄	< 0,2 mg L ⁻¹ (hasta 0,3 mg L ⁻¹ en aguas anaeróbicas)
Antimonio	Sb	< 4 µg L ⁻¹
Arsénico	As	
Asbestos		
Bario	Ba	
Berilio	Be	< 1 µg L ⁻¹
Boro	B	< 1 mg L ⁻¹
Cadmio	Cd	< 1 µg L ⁻¹
Cloro	Cl	
Cromo	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg L ⁻¹
Color		
Cobre	Cu	
Cianuro	CN ⁻	
Oxígeno disuelto	O ₂	
Flúor	F	< 1,5 mg L ⁻¹ (hasta 10)
Dureza	mg/l CaCO ₃	
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	
Hierro	Fe	0,5 - 50 mg L ⁻¹
Plomo	Pb	
Manganeso	Mn	
Mercurio	Hg	< 0,5 µg L ⁻¹
Molibdeno	Mo	< 0,01 mg L ⁻¹
Níquel	Ni	< 0,02 mg L ⁻¹
Nitratos y Nitritos	NO ₃ , NO ₂	
Turbidez		
pH		
Selenio	Se	< < 0,01 mg L ⁻¹
Plata	Ag	5 – 50 µg L ⁻¹
Sodio	Na	< 20 mg L ⁻¹
Sulfato	SO ₄	
Estaño inorgánico	Sn	
SDT		
Uranio	U	
Zinc	Zn	

La Unión Europea elaboró la Directiva 98/83/EC acerca de la calidad del agua, y los valores paramétricos son los siguientes:

- Plomo: La directriz fue reducida de $50 \mu\text{g L}^{-1}$ a $10 \mu\text{g L}^{-1}$, y se definió un periodo de transición de 15 años para permitir la sustitución de las redes de distribución construidas en plomo.
- Pesticidas: Los valores para sustancias individuales y para pesticidas totales fueron mantenidos ($0,1 - 0,5 \mu\text{g L}^{-1}$), en adición, se introdujeron valores más estrictos para ciertos pesticidas ($0,03 \mu\text{g L}^{-1}$).
- Cobre: El valor fue reducido de 3 a 2mg L^{-1} .
- Algunos nuevos estándares fueron introducidos para nuevos parámetros como trihalometanos, tricloroetano y tetracloroetano, bromato, acrilamida, etc.

Haciendo una comparación de los estándares europeos (1998) con respecto a los de la OMS (1993), tenemos lo siguiente:

Algunos ejemplos son:

- Boro (B): Directriz reducida de $0,3 \text{mg L}^{-1}$ a $0,001 \text{mg L}^{-1}$.
- Bromato (Br): No mencionado por la OMS, directriz de $0,01 \text{mg L}^{-1}$ en los estándares europeos.
- Manganeso (Mn): Directriz reducida de 0,5 a $0,05 \text{mg L}^{-1}$.
- Cianuro (CN): Directriz reducida de 0,07 a $0,005 \text{mg L}^{-1}$.

Pero en algunos casos las directrices europeas son menos estrictas que las de la OMS:

- Cadmio (Cd): La directriz fue elevada de 0,003 a $0,005 \text{mg L}^{-1}$.

A continuación puede ver el siguiente cuadro comparativo de los estándares de la OMS y la Comunidad europea:

Cuadro 2, Comparativa entre los estándares de la OMS y la Unión Europea.

	Estándares de la OMS 1993	Estándares europeos 1998
Sólidos suspendidos	No hay directriz	No se menciona
DQO	No hay directriz	No se menciona
DBO	No hay directriz	No se menciona
pH	No hay directriz ⁽²⁾	No se menciona
Conductividad	250 µS/cm	250 µS/cm
Color	No hay directriz ⁽³⁾	No se menciona
Oxígeno disuelto	No hay directriz ⁽⁴⁾	No se menciona
Dureza	No hay directriz ⁽⁵⁾	No se menciona
SDT	No hay directriz	No se menciona
cationes		
(iones positivos)		
Boro (B)	0,3 mg L ⁻¹	0,001 mg L ⁻¹
Nitrógeno total (N total)	50 mg L ⁻¹	No se menciona
aniones		
(iones negativos)		
Cloruro (Cl)	250 mg L ⁻¹	250 mg L ⁻¹
Sulfato (SO ₄)	500 mg L ⁻¹	250 mg L ⁻¹
Nitrato (NO ₃)	(Ver Nitrógeno)	50 mg L ⁻¹
Nitrito (NO ₂)	(Ver Nitrógeno)	0,50 mg L ⁻¹

(1) Deseable: Menos de 5 UNT

(2) Deseable: 6,5-8,5

(3) Deseable: 15 mg L⁻¹ Pt-Co

(4) Deseable: Menos del 75% de la concentración de saturación

(5) Deseable: 150-500 mg L⁻¹

En México, la regulación concerniente a la prevención y control de la contaminación del agua esta a cargo de la Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, esta institución dicta tres normas:

- NOM-001-ECOL-1996
- NOM-002-ECOL-1996
- NOM-003-ECOL-1997

NOM-001-ECOL-1996

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en los cuadros 3 y 4 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial Hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades (SEMARNAT, 1996).

Cuadro 3, Límites máximos permisibles de contaminantes básicos.

Parámetros (mg L ⁻¹ , excepto cuando se especifique)	Límites máximos permisibles para contaminantes básicos																			
	Ríos				Embalses naturales y artificiales						Aguas costeras				Suelo					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIO S (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au
	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen	sen
	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te
Sólidos Sedimentables (ml L ⁻¹)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	100	175	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	100	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A.	N.A.	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

Cuadro 4, Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros																				
Parámetros (*) (mg L-1, excepto cuando se especifique)	Ríos				Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras				Suelo							
	Uso en riego agrícola (a)		Uso público urbano (b)		Protección de vida acuática (c)		Uso en riego agrícola (b)		Uso público urbano (c)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (a)		Recreación (b)		Estuarios (b)		Uso en riego agrícola (a)		Humedales naturales (b)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuro	2	3	1	2	1	2	2	3	1	2	2	2	2	3	1	2	2	3	1	2
Cobre	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
Cromo	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	0.5	1
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

NOM-002-ECOL-1996

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

Las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en es cuadro 5. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples (SEMARNAT, 1996).

Cuadro 5, Límites máximos permisibles para sistemas de alcantarillado urbano

PARÁMETROS (mg L ⁻¹)	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES		
	Prom. Mensual	Prom. Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables ml L ⁻¹	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 5.5 - 10, determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40 °C, medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.

La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales.

NOM-003-ECOL-1997

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reusó.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reusó o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma (SEMARNAT, 1996)

Cuadro 6, Límites máximos permisibles de contaminantes

TIPO DE REUSÓ	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 mL	Huevos de Helminto (h L ⁻¹)	Grasas y Aceites mg L ⁻¹	DBO ₅ mg L ⁻¹	SST mg L ⁻¹
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, El agua residual tratada rehusada en servicios al público no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos

En el siguiente cuadro se muestran los criterios ecológicos de calidad del agua CE - CCA 001/89 (Diario oficial de la federación 1989) donde se muestran los niveles máximos permisibles para determinar la calidad del agua para consumo agrícola, clasificación donde nos daremos cuenta de cuales son las sales más nocivas para la agricultura:

Cuadro 7, Criterios ecológicos de calidad del agua

PARÁMETRO	NIVEL PARA RIEGO (mg L ⁻¹)	PARÁMETRO	NIVEL PARA RIEGO (mg L ⁻¹)
1 Acroleina	0.1	17 Dieldrin (II)	0.02
2 Aldrin	0.02	18 Fluoruros (como F)	1
3 Aluminio	5	19 Hierro	5
4 Antimonio	0.1	20 Eptacloro	0.02
5 Arsenico (II)	0.1	21 Materia flotante	V-2
6 Berilio (II)		22 Niquel	0.2
7 Boro (II)	0.7	23 pH	4.5 - 9.0
8 Cadmio (II)	0.01	24 Plomo	5
9 Cianuro (como CN ⁻)	0.02	25 Selenio (selenato)	0.02
10 Clordhano (II)	0.003	26 Solidos susp.	50
11 Cloruros (Cl ⁻)	147.5	27 Sulfatos (SO ₄ ⁻)	130
12 Cobre	0.2	28 Toxafeno	0.005
Coliformes		29 Zinc	2
14 fecales (NMO/100 mL)	1000		
14 CE mmhos cm ⁻¹	1		
15 Cromo exavalente	1		
16 DDE (II)	0.04		

4.3. CALIDAD DE LAS AGUAS PARA RIEGO

La calidad de las aguas para riego esta determinada por la concentración y composición de constituyentes disueltos que esta contenga (Doneen, 1975). Por lo tanto, la calidad del agua de riego es una consideración de uso agronómico, y tiene un carácter importante para comprender como se pueden salinizar los suelos agrícolas y como se puede saturar el complejo de intercambio catiónico con sodio intercambiable (Ayers y Wescot, 1987)

En los países en vías de desarrollo, muchas veces el agua utilizada para riego representa el 95% del total de usos del agua, la calidad de agua usada con fines agrícolas es determinante para la producción y calidad en la agricultura, mantenimiento de la productividad del suelo de manera sostenible (Lenntech.es, calidad-agua, [en línea]. 1998 – 2009).

Durante la evaluación del uso del agua para riego en las actividades agrícolas es necesario tomar en cuenta el riesgo de salinización para el suelo. Las propiedades físico- químicas del suelo, (estructura del suelo, estabilidad de los agregados) y permeabilidad son características del suelo muy susceptibles al tipo de iones intercambiables que provengan del agua de riego, o bien es importante señalar que los peligros de altas concentraciones de algunos de los siguientes iones: sulfato de calcio, magnesio, boro, bicarbonatos y carbonato. (Eaton, 1950)

4.4. SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS

La concentración total de sales solubles en aguas para riego, para fines de diagnostico y clasificación se puede expresar en términos de conductividad eléctrica (CE). Casi todas las aguas para riego que se han usado por mucho tiempo tienen una conductividad eléctrica menor a 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ocasionalmente se han usado aguas de mayor conductividad; pero sin obtener resultados satisfactorios. Con base en la conductividad eléctrica (CE) las aguas para riego se han distribuido en cuatro clases:

Cuadro 8, Clasificación de las aguas para riego según su salinidad.

CE		CE	TIPO
$\mu\text{S cm}^{-1}$		$\mu\text{S cm}^{-1}$	
250	> CE >	0	C1
750	> CE >	245	C2
2250	> CE >	750	C3
	> CE >	2250	C4

Aguas de baja salinidad (C1): Se utilizan en casi la mayoría de los cultivos y suelos, con poca probabilidad de que se presenten problemas de salinidad. Es necesario algún lavado, pero este ocurre generalmente bajo las prácticas normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

Aguas de salinidad media (C2): Este tipo de aguas se usan si existe lavado moderado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Aguas altamente salinas (C3): No pueden usarse en suelos con restricciones de drenaje. Aun y con este tipo de agua se requiere un manejo especial para el control de la salinidad y deben seleccionarse plantas con buena tolerancia a las sales.

Aguas muy altamente salinas (C4): No son aguas apropiadas para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse en circunstancias especiales. El suelo debe ser permeable, El drenaje adecuado, debe aplicarse agua en exceso considerando al lavado y se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a las sales.

4.5. SODIFICACIÓN DE LOS SUELOS

La subdivisión de las aguas de riego con respecto a la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), se basa primordialmente en la relación que tiene el sodio intercambiable en las condiciones físicas de los suelos (Bower et al., 1968). No obstante las plantas sensibles a este elemento pueden sufrir daños a consecuencia de la acumulación del sodio en sus tejidos. Cuando los valores de sodio

intercambiable son más bajos que los necesarios para afectar las condiciones físicas de los suelos.

Cuadro 9, Clasificación de las aguas para riego según su Relación de Adsorción de Sodio.

RAS		RAS	TIPO
10	> RAS >	0	S1
18	> RAS >	10	S2
26	> RAS >	18	S3
	> RAS >	26	S4

Aguas bajas en sodio (S1): Puede ser usada para riego en casi todos los suelos, con poco peligro de desarrollo de sodicidad. Sin embargo en cultivos susceptibles al sodio como frutales de hueso (aguacate), podrían acumular cantidades dañinas en las hojas.

Aguas medias en sodio (S2): En suelos de textura fina el ion sodio representa un peligro considerable, mas aun si los suelos poseen una alta capacidad de intercambio catiónico, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contenga yeso. Estas aguas solo pueden usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

Aguas altas en sodio (S3): Pueden producir problemas de sodicidad en la mayoría de los suelos, requieren manejo especial buen drenaje, altas cantidades de lavado, y aplicaciones de materia orgánica, si existe yeso en el suelo , el problema el problema podría desarrollarse cuando pase algún tiempo, de no ser así es preferible que se agregue.

Aguas muy altas en sodio (S4): generalmente no debe usarse para riego excepto en niveles bajos de salinidad con el uso de yeso o de algún otro mejorador que posibilite su uso.

Por otra parte debe mencionarse que, el riesgo de sodificación que implica el uso de un agua de riego, queda determinado por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes (calcio, magnesio y sodio). Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación y al contrario si predomina el calcio y el magnesio, esta sodificación es menor (Bower y Wilcox, 1965).

A continuación presentamos la forma en la que podemos clasificar las aguas por riesgo de sodicidad y salinidad.

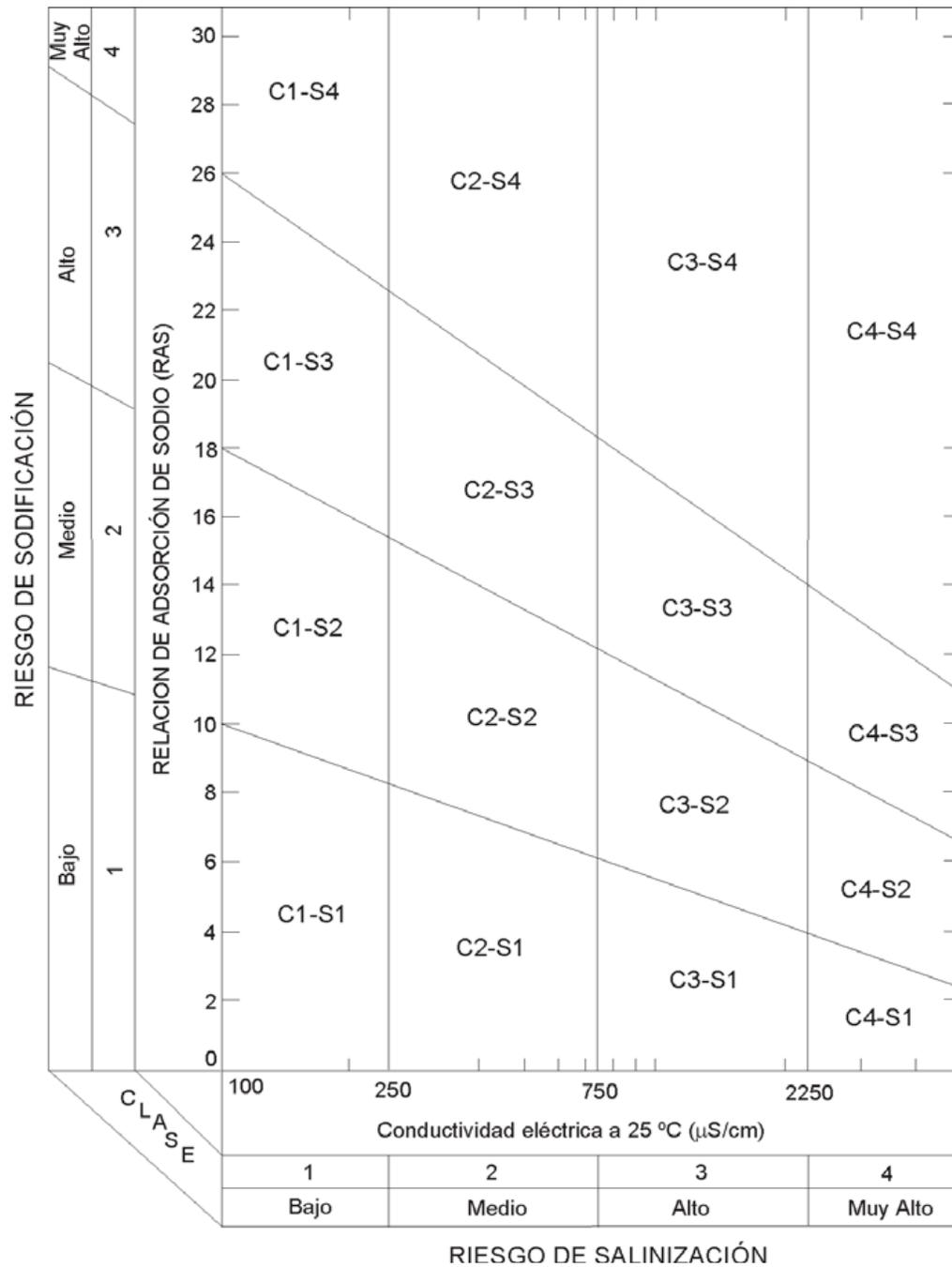


Figura 1, Diagrama de Wilcox para clasificar las aguas según el RAS y CE.

4.6. RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS)

4.6.1 RAS

Por lo general, las modificaciones del medio poroso de los suelos, se deben a diferentes niveles de sodio intercambiable. Cuando los iones de calcio se encuentran adsorbidos en los suelos en cantidades suficientes, los suelos tienen condiciones favorables para el desarrollo de cultivos agrícolas (Peterson, 1947). En cambio cuando los suelos tienen un estado de adsorbido algunas cantidades de sodio intercambiable, los suelos presentan dispersión coloidal y mayor viscosidad. En estos casos los suelos poseen una muy baja permeabilidad. La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) de una determinada solución del suelo en equilibrio con el agua de riego, se relaciona con una determinada cantidad de sodio adsorbido en el suelo y en consecuencia, esta relación puede usarse como un índice del peligro de sodificación en los suelos que tiene un agua en particular (Ayers y Wescot, 1987; Ortiz, 1977). La relación es la siguiente:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

En donde:

Na- es la concentración de los iones de sodio, expresada en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$

Ca- es la concentración de los iones de calcio, expresada en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$

Mg- Es la concentración de los iones de magnesio, expresada en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$

4.6.2 RASaj (RAS ajustado)

Esta formulación del RAS no contempla las diferencias físico-químicas esenciales de los iones polivalentes Ca^{+2} y de Mg^{+2} .

En 1968, Bower et al., crearon una modificación del índice RAS, el índice RAS ajustado.

$$RASaj = \frac{C_{Na^+}}{\sqrt{\frac{C_{Ca^{+2}} + C_{Mg^{+2}}}{2}}} [1 + (8.4 - pHc)]$$

Esta formula toma en cuenta la formación de precipitados en forma de $CaCO_3$ e incluye las disponibilidades de calcio en condiciones de una alcalinidad determinada. El índice de saturación estima la precipitación del $CaCO_3$ cuando alcanza su límite de saturación en presencia de iones de bicarbonato, (Langelier citado por Ayers y Westcot, 1987). Este índice se define por la diferencia entre el pH del agua (pHa) establecido como 8.4 y el pH teórico que el agua alcanzaría en el equilibrio con el $CaCO_3$ (pHc). Los valores positivos indican la tendencia del $CaCO_3$ a precipitarse, mientras que los valores negativos, sugieren que el $CaCO_3$ se mantiene en solución (Oster y Rhoadre, 1976). El índice de saturación se calcula de la siguiente forma:

$$IS = pHa - pHc$$

$$IS = (8.4 - pHc)$$

El pHc se define de la siguiente forma:

$$pHc = (pK_2 - pKc) + pCa + p(Alk)$$

En donde:

(pK_2 y pKc) = el pK_2 es el logaritmo negativo de la segunda constante de disociación del ácido carbónico (H_2CO_3) y pKc el producto de solubilidad del $CaCO_3$, corregidos ambos por fuerza iónica (Bower et al., 1965).

pCa = corresponde al logaritmo negativo de la concentración molar de Ca.

$P(Alk)$ = Corresponde al logaritmo negativo de la concentración equivalente de CO_3 y HCO_3 .

Cabe mencionar que esta formulación no toma en cuenta la precipitación del sulfato de calcio ($CaSO_4$) y además hace equivalentes, en sus propiedades físico-químicas a los iones Ca y Mg. Así mismo el valor de 8.4 que aparece en la formula significa que ese es el pH del $CaCO_3$ en agua destilada, valor que en la realidad del suelo no siempre se cumple.

Cuadro 10. Procedimiento para calcular pHc teórico calculado para las aguas, de riego.

$pH_c = (pK_2 - pK_c) + pCa + p(Alk)^2$			
Concentración meq L ⁻¹	pK ₂ -pK _{ps}	pCa	p(Alk)
0.05	2.00	4.60	4.30
0.10	2.00	4.30	4.00
0.15	2.00	4.10	3.80
0.20	2.00	4.00	3.70
0.25	2.00	3.90	3.60
0.30	2.00	3.80	3.50
0.40	2.00	3.70	3.40
0.50	2.10	3.60	3.30
0.75	2.10	3.40	3.10
0.80	2.10	3.38	3.08
1.00	2.10	3.30	3.00
1.10	2.10	3.26	2.96
1.25	2.10	3.20	2.90
1.50	2.10	3.10	2.80
2.00	2.20	3.00	2.70
2.10	2.20	2.98	2.68
2.50	2.20	2.90	2.60
3.00	2.20	2.80	2.50
4.00	2.20	2.70	2.40
5.00	2.20	2.60	2.30
6.00	2.20	2.50	2.20
8.00	2.30	2.40	2.10
10.00	2.30	2.30	2.00
12.50	2.30	2.20	1.90
15.00	2.30	2.10	1.80
20.00	2.40	2.00	1.70
30.00	2.40	1.80	1.50
50.00	2.50	1.60	1.30
80.00	2.50	1.40	1.10

a) Fuente: Nacayama (1982) citado por Ayers y Wescot, (1987)

b) Se entra en la primera columna con las concentraciones de: i) Ca²⁺ + Mg²⁺ + Na⁺; ii) Ca²⁺ y iii) CO₃²⁻ + HCO₃⁻ en meq/ L. Se obtiene (pK₂ - pK_{ps}), pCa y p(Alk), respectivamente.

4.6.3 RAS° (RAS corregido)

En 1981, Suarez recomienda un nuevo procedimiento para el cálculo de la relación de adsorción de sodio, el RAS corregido (RAS°); que conjuntamente con el valor de Ca° ofrece una mejor comprensión de las modificaciones del calcio del agua del suelo, que dan lugar a un aumento de su contenido, provocado por la disolución del calcio de los carbonatos y silicatos, o a una disminución del mismo, ocasionada por la precipitación del calcio en forma de carbonato.

Esta fórmula ajusta el valor del calcio en el agua al valor del equilibrio, este procedimiento supone la existencia de una fuente de calcio en el suelo, y la inexistencia de precipitación de magnesio.

El RAS° corregido se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$RAS^{\circ} = \frac{C_{Na^{+}}}{\sqrt{\frac{C_{Ca^{\circ}} + C_{Mg^{+2}}}{2}}}$$

En donde:

Na = contenido de sodio en el agua de riego, mmol_c L⁻¹

Ca° = contenido corregido de calcio en el agua de riego, mmol_c L⁻¹

Mg = Contenido corregido de magnesio en el agua de riego, mmol_c L⁻¹

El valor del Ca° es el contenido de los iones de calcio en el agua de riego, corregido por la salinidad del agua (CE), y por el contenido de iones bicarbonato en su relación con los iones de calcio (HCO₃⁻ / Ca⁺²) y por la expresión parcial del bióxido de carbono CO₂, ejercida en los primeros milímetros del suelo (P = 0.0007 atmosferas).

Cuadro 11, Concentración de calcio (Ca°) en el agua del suelo, contenida en el suelo cerca de la superficie, que resulta de regar con aguas de determinado valor $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{+2}$ y CEa en dS m^{-1} .

		SALINIDAD DEL AGUA APLICADA CEa dS m-1											
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
	0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
	0.10	8.30	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
	0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
	0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	9.57	7.91
	0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
	0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.62	5.91
	0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
	0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
	0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
	0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
	0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
	1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
Valores de	1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
	1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
$\text{HCO}_3^- / \text{Ca}^{+2}$	1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
	2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.58	1.63	1.70
	2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
	2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
	3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
	3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
	4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
	4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
	5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
	7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
	10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
	20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37
	30.00	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28

Suárez (1981), citado por Ayers y Wescot, 1987. $\text{HCO}_3^- / \text{Ca}^{+2}$ expresados en mmolc L^{-1} y CEa en dS m^{-1} .

4.7 Directrices para la clasificación de la calidad del agua.

Las directrices para evaluar la calidad del agua de riego propuestas por Ayers y Westcot (estudio FAO: riego y drenaje N° 29), se refieren sobre todo a los efectos a largo plazo de la calidad del agua sobre la producción de cultivos, las condiciones del suelo y el manejo agrícola. Cuando se utilizan las aguas con valores menores a los correspondientes a “ninguna” restricción de uso, por lo general, no se presentan o no se identifican problemas en los cultivos o en el suelo. En caso de la restricción “ligera a moderada” se requiere un cuidado gradualmente mayor en la selección de los cultivos y de las alternativas de manejo. La restricción “severa” implica la aparición de problemas de suelo y de cultivo y/o reducción en los rendimientos, es necesario un plan de operación específicamente adoptado a la calidad del agua que ha de emplearse.

Cuadro 12, Directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego.

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción del uso		
		Ninguna	Ligera a moderada	Severa
Salinidad. Afecta a la disponibilidad de agua para cultivo.	-	-	-	-
CEa	dS m ⁻¹ ó mmhos cm ⁻¹	< 0.7	0.7- 3.0	> 3.0
TSS	mg L ⁻¹	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltración. - reduce infiltración del suelo. Se evalúa con CEa y RAS	Valor RAS			
RAS = 0 – 3	y Eca =	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
RAS = 3 – 6	y Eca =	> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
RAS = 6 - 12	y Eca =	> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
RAS = 12 - 20	y Eca =	> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
RAS = 20 - 40	y Eca =	> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicidad. - de iones específicos afecta a cultivos sensibles.				
Sodio Na				
Riego por superficie	RAS	< 3	3 – 9	> 9
Riego por aspersión	me L ⁻¹	< 3	> 3	
Cloro Cl				
Riego por superficie	me L ⁻¹	< 4	4 – 10	> 10
Riego por aspersión	me L ⁻¹	< 3	> 3	
Boro B	me L ⁻¹	< 0.7	0.7 – 3	> 3
Varios. - afectan cultivos sensibles				
Nitrógeno NO₃ -N⁻	me L ⁻¹	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonato H- CO₃⁻	me L ⁻¹	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
(Solo daños en las hojas al regar por aspersión)				
ø+ #		Amplitud	Normal	6.5 – 8.4

Fuente: University of California Committee of Consultants. 1974

CE es la conductividad eléctrica del agua; medida a 25 °C.

TSS es el total de sólidos en solución en mg L⁻¹.

La mayoría de los cultivos y plantas leñosas son sensibles al sodio y al cloro. La mayor parte de los cultivos anuales también son sensibles. En el caso de riego por aspersión sobre el follaje, y humedad relativa por debajo del 30%, el sodio y el cloro pueden ser absorbidos por las hojas de cultivos sensibles.

4.8 Efecto de la concentración de los iones bicarbonato HCO_3^- y carbonato CO_3^{2-} en la calidad agronómica de las aguas para riego.

En las aguas con iones bicarbonatos hay la tendencia del calcio y del magnesio a precipitarse en forma de carbonatos a medida que la solución del suelo se vuelve mas concentrada. Esta reacción no se completa totalmente en circunstancias ordinarias, pero a medida que va teniendo lugar, las concentraciones de calcio y magnesio se van reduciendo, aumentando así la proporción relativa del sodio (Eaton, 1950, citado por Richards, 1973), al referirse a esta reacción usa tres términos:

1. Por ciento de sodio encontrado
2. Por ciento de sodio posible
3. Carbonato de sodio residual

Por ciento de sodio encontrado (PSE)

Este término se refiere al porcentaje de sodio medido con respecto a la suma de los principales cationes que intervienen en los procesos de sodificación.

$$PSE = \frac{(Na^+ * 100)}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+)}$$

Porcentaje de sodio posible (PSP)

El peligro del desplazamiento de calcio y de magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, empieza cuando el contenido de sodio en solución en el agua de riego no es suficientemente representativo de este peligro, debido a que ya en el suelo, las sales menos solubles (CaCO_3 , MgCO_3 y CaSO_4) precipitan y por tanto, el porcentaje de sodio posible esta referido a la salinidad efectiva.

Las aguas se consideran buenas si su PSP < 50 % y serán condicionadas si su PSP > 50 %. Aparentemente el PSP no define aguas no recomendables.

$$PSP = \frac{(Na^+ * 100)}{[(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+) - (CO_3^{-2} + HCO_3^-)]}$$

Donde la resta de $\text{CO}_3^{+2} + \text{HCO}_3^-$ no exceda $\text{Ca}_{+2} + \text{Mg}^{+2}$; condición para calcular la salinidad efectiva (SE).

$$PSP = \frac{Na^+}{SE * 100}$$

Carbonato de sodio residual (CSR)

Cuando en el agua de riego, el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el contenido de calcio y magnesio, existe la posibilidad de que se forme el carbonato de sodio, debido a que, por su alta solubilidad, puede permanecer en solución aun después de que ha precipitado los carbonatos de calcio y de magnesio. El carbonato de sodio provoca la de floculación del suelo. Este índice se calcula de la siguiente forma (Anderson, 1972).

$$CSR = (CO_3^{+2} + HCO_3^-) - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$$

Cuando la diferencia es negativa, no existe problema y el valor de carbonato de sodio residual puede suponerse igual a cero. Cuando el valor es positivo indica que Ca y Mg se precipitan al suelo como carbonatos, existiendo solo sales de sodio en

la solución. La clasificación de las aguas para riego de acuerdo con el carbonato de sodio residual queda de la siguiente forma:

Buena	Menos de 1.25
Condicionada	De 1.35 a 2.50
No recomendable	Más de 2.50

4.9 ÍNDICE DE SALINIDAD EFECTIVA (S.E.)

Este índice de clasificación de las aguas para riego, estima el peligro que pueden producir las sales mas solubles del agua al formar parte de la solución del suelo, es decir que al sustraerse de la concentración total, los carbonatos de calcio y de magnesio y los sulfatos de calcio; cuando estos se precipitan en el momento en el que el agua de riego pasa a formar parte de la solución del suelo y dejan de participar en el ascenso de la presión osmótica de la solución del suelo.

La salinidad efectiva se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Si } Ca > (CO_3^{-2} + HCO_3^{-} + SO_4^{-2})$$

Entonces:

$$SE = \text{Suma de Cationes} - (CO_3^{-2} + HCO_3^{-} + SO_4^{-2})$$

$$\text{Si } Ca < (CO_3^{-2} + HCO_3^{-} + SO_4^{-2}) \text{ pero } Ca > (CO_3^{-2} + HCO_3^{-})$$

Entonces:

$$SE = \text{Suma de Cationes} - Ca$$

$$\text{Si } Ca < (CO_3^{-2} + HCO_3^{-}) \text{ pero } (Ca^{+2} + Mg^{+2}) < (CO_3^{-2} + HCO_3^{-})$$

Entonces:

$$SE = \text{Suma de Cationes} - (CO_3^{-2} + HCO_3^{-})$$

$$\text{Si } (Ca^{+2} + Mg^{+2}) < (CO_3^{-2} + HCO_3^{-})$$

Entonces:

$$SE = \text{Suma de Cationes} - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$$

Aquí se puede observar que al analizar las ecuaciones, siempre a la suma de los cationes se le resta el comportamiento de las sales que pueden precipitarse y que por lo tanto se encuentren en menor cantidad.

La salinidad efectiva se da en mmolc / L.

De acuerdo con el índice de salinidad efectiva las aguas para riego se clasifican de la siguiente manera:

Buena	< 3
Condicionada	3 a 15
No recomendable	> 15

4.10 ÍNDICE DE SALINIDAD POTENCIAL (SP)

Este índice determina la cantidad de Cl^{-1} y SO_4^{-2} que puede ser perjudicial a los cultivos debido al incremento de la presión osmótica de la solución del suelo.

Los cloruros y los sulfatos son sales que se quedan en la solución del suelo, cuando la humedad aprovechable para las plantas es < 50%, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$SP = Cl^{-1} + \frac{1}{2}SO_4^{-2}$$

La salinidad potencial se expresa en mmolc / L.

De acuerdo con el índice de salinidad potencial las aguas para riego se clasifican de la siguiente manera:

Buena	< 3
Condicionada	3 a 15
No recomendable	> 15

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca Lerma – Chápala se localiza entre las coordenadas 19° 03' a 21° 34' N latitud, y 99° 16' a 103° 31' W longitud, desde donde nace en las lagunas de Almoloya, hasta su desembocadura en el Lago de Chápala.

Esta cuenca se encuentra asentada en un medio principalmente de origen volcánico extrusivo, debido a la extensión de la cuenca esta cuenta con una gran biodiversidad. El valle del Lerma es una cuenca semi-cerrada. Cuenta con ambientes acuáticos como las lagunas de Almoloya (Tlatizapan), Chignahuapan y Lerma –sometidas a un proceso natural de oclusión, acelerado por la acción transformadora del hombre- el río Lerma nace en aquella zona, posee llanuras, lomeríos y sierras, con bosques, pastizales y vegetación.

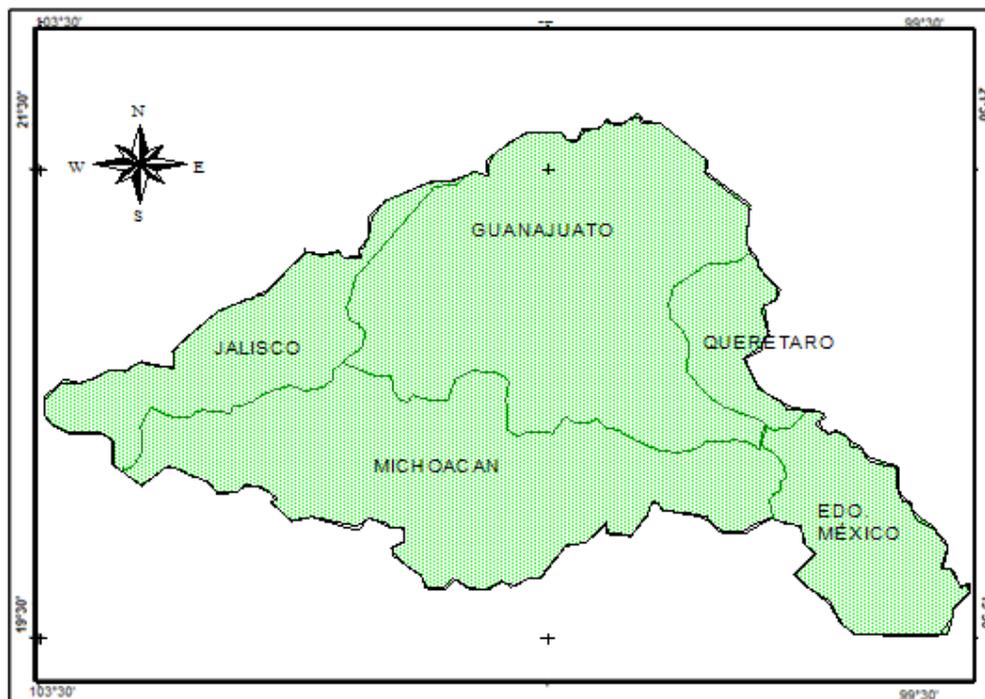


Figura 2, Ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica Lerma – Chápala.

5.1.1 SUELOS

En la cuenca hidrológica Lerma – Chápala, se pueden encontrar distintos tipos de suelos, distribuyéndose de la siguiente forma:

En la parte alta del sureste de la cuenca se encuentran los andosoles, lomeríos. En las planicies aluviales del bajío se presentan tres tipos de suelos principales: Entre ellos, se encuentran los vertisoles. A lo largo de algunos afluentes del río Lerma los suelos son producto de la sedimentación fluvio-aluvial, dando origen a los fluvisoles. En las planicies se encuentran suelos de tipo andosol y feozem y algunos Acrisoles en la parte montañosa de la sección oriental de la cuenca. En la parte norte de la cuenca predominan los feozem, en la zona de la planicie formada por areniscas. También los vertisoles sobre la extensa planicie aluvial que abarca hasta la zona del lago de Chápala; en esta planicie se encuentran lomeríos y donde principalmente predominan los feozems. En la parte sur se encuentra lomeríos y andosoles. Sobre algunas llanuras y piedemontes de las subcuencas Pátzcuaro, Angulo, Tepuxtepec y Tepetitlán se han formado planosoles. Finalmente, en la sección este y noreste los suelos predominantes son los feozem sobre laderas de montañas, piedemontes, lomeríos y colinas sobre rocas basálticas y depósitos aluvio-coluviales. Los luvisoles también se encuentran distribuidos a lo largo de lomeríos sobre rocas riolíticas y basálticas, así como también en colinas con limolitas. (INEGI, 2008).

5.1.2 GEOLOGÍA

La geología en la cuenca hidrológica Lerma – Chápala comprende eventos volcanosedimentarios, sedimentarios e ígneos intrusivos y extrusivos, que vienen del jurásico a la actualidad, así mismo, dichos eventos comprenden las eras cenozoico y mesozoico, representados de la siguiente forma:

Las rocas mesozoicas pertenecen al periodo jurasico del mesozoico, representado por rocas volcanosedimentarias, compuestas por toba andesítica, arenisca, caliza, limonita, lutita y filita en estratos y capas delgadas, estas rocas más antiguas se encuentran en la porción centro y norte de la cuenca, donde se encuentran rocas

sedimentarias. Mientras que en la porción centro y sur de la cuenca se localizan las rocas ígneas intrusivas y extrusivas.

El registro geológico de las rocas del paleoceno se encuentra en la base del paleógeno, y están representadas por conglomerados de origen continental.

Las rocas del neógeno se encuentran en la porción de Michoacán siendo este lugar la base del neógeno, esta representado por rocas ígneas extrusivas, de composición de riolita, riodacita, andesita y basalto, con orientación este – oeste desde Amealco y Huichapan, hasta el lago de Chápala.

Las rocas del pleistoceno, este periodo se representa principalmente por basaltos, andesita y en menor proporción riolita, encontrándose principalmente en Michoacán, Guanajuato y al sur y este de la cuenca Lerma – Chápala.

Las rocas del holoceno, se representan por rocas de basalto y andesita, provenientes de los últimos eventos volcánicos y materiales sin consolidar, como grava, arena, limo y arcilla, encontrándose en el centro y valles del río Lerma.

(INEGI, 2008)

5.1.3 CLIMA

El Lerma tiene una temperatura media anual de 17.5°C y una precipitación media anual de entre 800 y 1,134.7 mm. Geográficamente en la cuenca hidrológica Lerma – Chápala se pueden apreciar que no es uniforme.

La región norte de la cuenca comprende el estado de Guanajuato y una parte del estado de Querétaro, en esta región el clima es árido con lluvias en verano, la precipitación media para julio es de 128 mm.

La región centro, ubicada en el altiplano, el clima en esta región es templado húmedo con lluvias en verano, con fríos intensos, también presenta lluvias intensas durante los meses de junio, julio, agosto, septiembre.

La región sur de la cuenca esta representada por dos sub regiones:

- Región sureste: Se ubica en el estado de México, con clima templado semifrío húmedo con verano fresco largo y lluvias en verano

- Región suroeste: Esta región rodea al alago de Chápala presenta un clima templado semicalido subhúmedo con lluvias en verano, con precipitaciones abundantes en verano. (INEGI, 2008).

5.1.4 HIDROLOGÍA

El ciclo hidrológico es la circulación del agua a través de la precipitación, infiltración, escurrimiento, percolación almacenamiento, evaporación y la transpiración, en esta cuenca el ciclo hidrológico se ha ido modificando a lo largo de los años debido a la construcción y operación de obras hidráulicas así como por las actividades regionales. La cuenca del valle de México, y la cuenca Lerma – Chápala y desde recientes años la cuenca del Cutzamala interactúan con la cuenca del alto Lerma a través del ciclo del agua, en la figura 3, podemos observar la hidrología superficial de la cuenca.

El cauce principal de la cuenca hidrológica Lerma – Chápala es el río Lerma. El cual tiene una longitud aproximada de 705 km, este río recibe varios afluentes siendo los más importantes:

- Río la Gavia
- Río Jaltepec,
- Río la Laja
- Río Silao – Guanajuato
- Río Turbio
- Río Angulo
- Río Duero
- Río Zula

Como el agua del río Lerma se aprovecha en su totalidad en riego agrícola, abastecimiento urbano, generación de energía, etc. esta corriente desaparece en algunos tramos

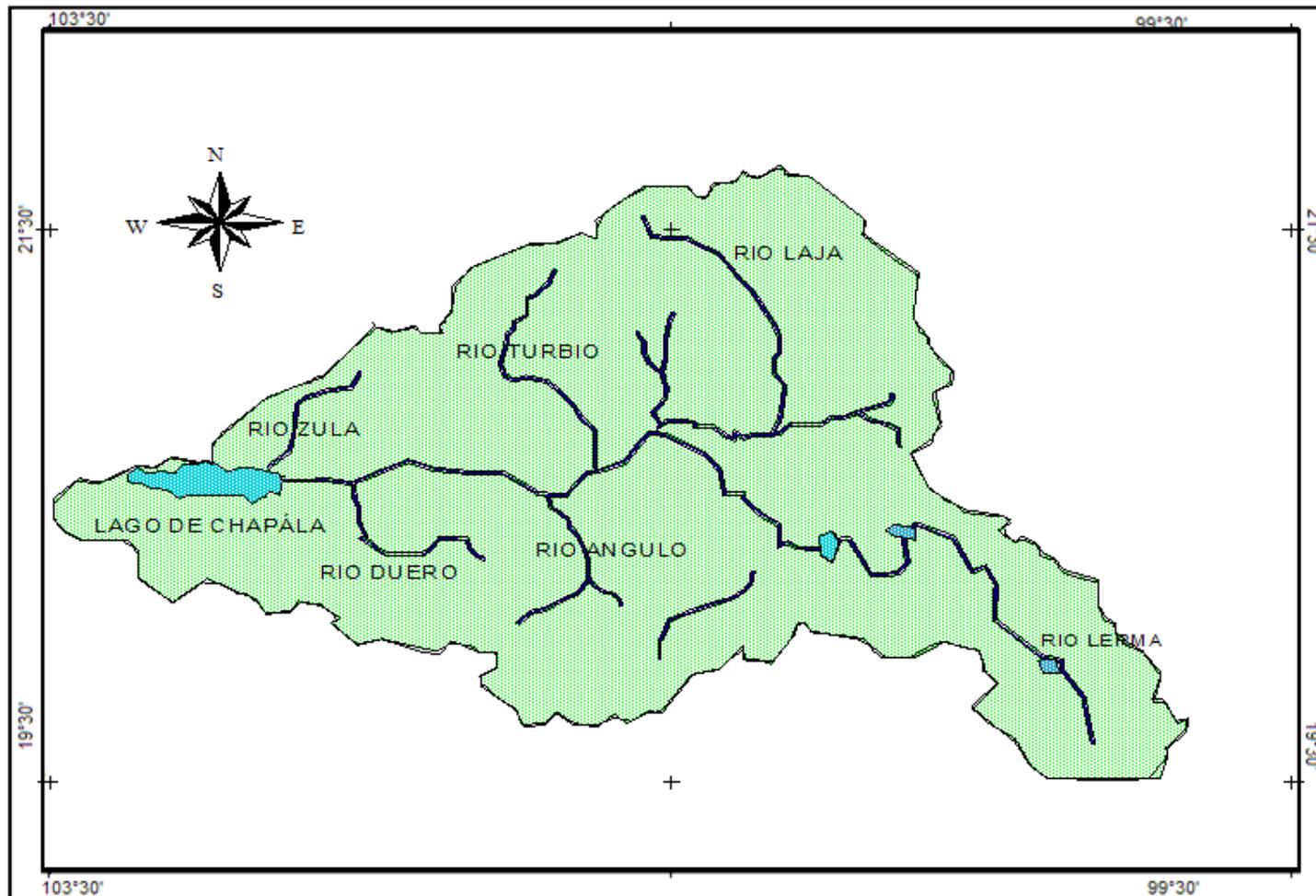


Figura 3, Hidrología superficial de la cuenca Lerma – Chápala (Cotler Avalos, Mazari Hiriart, de Anda Sánchez; 2006)

5.2. UBICACIÓN DE SITIOS Y NÚMERO DE MUESTRAS.

Los sitios muestreados a lo largo del río Lerma se ubicaron mediante un recorrido a lo largo de todo el cauce, desde su nacimiento en las lagunas de Almoloja hasta su desembocadura en el lago de Chapáala.

Se seleccionaron 58 estaciones de muestreo, teniendo en cuenta los afluentes que desembocan en el cauce principal, pozos, lagunas y nacimientos, considerando a estos puntos estratégicos, para conocer el carácter químico dominante de las aguas de la zona de estudio; se realizó un muestreo, el cual se efectuó en verano de 2009.

Para que las muestras sean representativas se recolectaron muestras de 0.500 L, por duplicado en cada estación de muestreo, se establecieron 58 estaciones en el siguiente mapa se observa la distribución de puntos de cada muestreo, así como el cuadro 13, con la identificación de los puntos muestreados.

En cada una de las estaciones de muestreo se llenó un formato, para recabar la información necesaria los formatos de campo se encuentran en el “anexo I”.

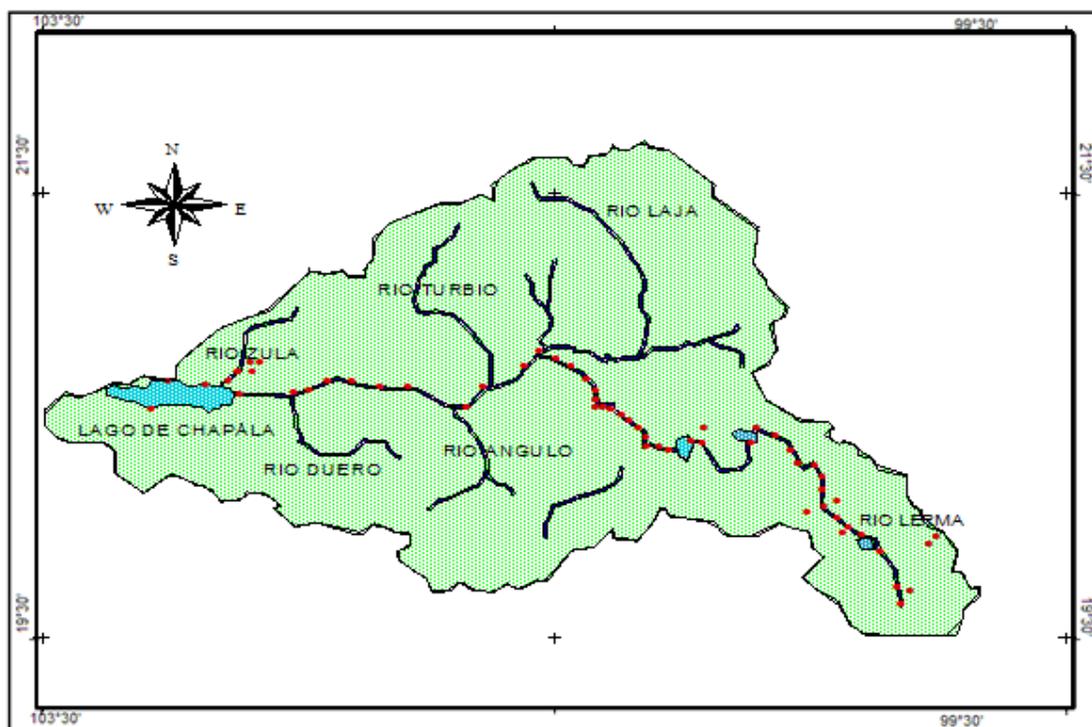


Figura 4, Ubicación de las estaciones de muestreo.

Cuadro13, Localización geográfica de las estaciones de muestreo.

Muestra	Estación de muestreo	Coordenadas		Altitud msnm
		N	W	
1	Valle el mirador	19° 18' 37.4"	99° 22' 59.1"	2926
2	Pozo Tlazala 39a	19° 11' 30.4"	99° 28' 52.3"	2483
3	Río Lerma Hacienda	19° 11' 7.5"	99° 30' 50.6"	2665
4	Lagunas de Almoloya	19° 09' 19.9"	99° 29' 42.1"	2569
5	Ocoyoacac	19° 15' 23.5"	99° 28' 18.8"	2585
6	Río Lerma	19° 17' 02.0"	99° 31' 20.6"	2597
7	Las torres Lerma	19° 22' 39.9"	99° 33' 18.1"	2583
8	Ixtlahuaca bordo	19° 27' 06.6"	99° 44' 06.8"	2571
9	Ixtlahuaca río	19° 28' 16.4"	99° 44' 05.4"	2554
10	Almoloya presa RELP/Álzate	19° 27' 54.9"	99° 42' 19.4"	2563
11	Carretera libre inicia presa Álzate	19° 29' 04.8"	99° 44' 07.5"	2574
12	Ixtlahuaca río Lerma	19° 37' 48.2"	99° 43' 37.7"	2541
13	Puente Atlacomulco	19° 47' 18.5"	99° 53' 42.0"	2532
14	Andaro	19° 54' 10.1"	100° 01' 21.5"	2377
15	Presa Juanacatlan	19° 58' 42.9"	100° 03' 09.5"	2368
16	Temazcalzingo dren el Borbollón	20° 01' 40.5"	100° 06' 31.7"	2380
17	Pese-ndeje, el Borbollón	20° 01' 32.8"	100° 06' 08.2"	2363
18	El tejocote pozo	20° 02' 19.8"	100° 08' 17.6"	2363
19	El tejocote manantial	20° 02' 19.8"	100° 08' 17.6"	2363
20	Temazcal manantial	20° 03' 20.8"	100° 09' 47.6"	1848
21	Tuxtepec presa	20° 03' 25.0"	100° 12' 22.1"	2354
22	Presa Tuxtepec	20° 04' 28.5"	100° 12' 10.7"	2379
23	El juguete presa	20° 10' 30.5"	100° 27' 55.1"	2031
24	El juguete nacimiento	20° 10' 28.5"	100° 27' 54.8"	2038
25	Puente la marimba	20° 00' 35.0"	100° 28' 51.7"	2048
26	Presa Solís	20° 02' 25.6"	100° 39' 14.8"	1907
27	Presa Solís nacimiento	20° 02' 53.6"	100° 40' 35.4"	1929
28	Solís cortina	20° 03' 05.3"	100° 40' 20.1"	1856
29	Entrada a los Ángeles	20° 03' 40.3"	100° 47' 09.5"	1847
30	Entrada a los Ángeles pozo	20° 03' 40.3"	100° 47' 09.5"	1847
31	Entrada a los Ángeles, pozo 2	20° 03' 27.5"	100° 46' 32.1"	1876
32	Entrada a los Ángeles dren	20° 03' 06.7"	100° 46' 50.4"	1863
33	Inchamacuaro	20° 04' 52.9"	100° 49' 40.6"	1857
34	Salvatierra	20° 12' 40.5"	100° 53' 10.1"	1753
35	El capulín	20° 16' 12.9"	100° 59' 01.0"	1762
36	Santiago Capitiro	20° 17' 02.3"	101° 01' 20.1"	1747
37	Jaral del progreso	20° 20' 10.3"	101° 02' 18.9"	1736
38	Pitayo	20° 27' 40.8"	101° 09' 42.6"	1713
39	Rancho pitayo	20° 29' 11.9"	101° 08' 05.5"	1717
40	Salamanca junto a refinería	20° 33' 20.8"	101° 10' 18.6"	1723

Continuación cuadro13

Muestra	Estación de muestreo	Coordenadas		Altitud msnm
		N	W	
41	Salamanca junto a refinería, dren	20° 33' 20.8"	101° 10' 18.6"	1723
42	Salamanca río Lerma salida	20° 33' 53.2"	101° 13' 26.1"	1707
43	Pueblo nuevo	20° 31' 09.2"	101° 22' 45.5"	1708
44	El Mármol	20° 12' 48.8"	101° 43' 56.3"	1675
45	La piedad	20° 01' 15.6"	102° 00' 15.9"	1690
46	Puente delgado	20° 22' 41.0"	102° 07' 09.5"	1627
47	Yerecuaro	20° 20' 06.1"	102° 15' 07.2"	1553
48	Concepción	20° 20' 49.6"	102° 19' 48.1"	1558
49	Briseñas	20° 16' 31.0"	102° 33' 32.6"	1547
50	Laguna de Chápala	20° 17' 37.5"	102° 45' 10.5"	1562
51	Ocotlán Río Zula	20° 20' 46.3"	102° 46' 19.7"	1535
52	Poncitlan	20° 20' 49.2"	102° 46' 48.8"	1526
53	Chápala Poncitlan	20° 19' 11.6"	102° 47' 21.8"	1527
54	La zapotera, laguna de chápala	20° 18' 15.1"	102° 51' 30.7"	1528
55	Agua caliente, laguna de chápala	20° 18' 44.4"	102° 55' 52.6"	1538
56	Mezcala, laguna de chápala	20° 20' 04.3"	103° 01' 04.4"	1529
57	Mizmaloya, laguna de chápala	20° 09' 43.4"	103° 06' 52.0"	1530
58	Ibarra, Río Duero	20° 15' 15.2"	102° 35' 18.3"	1535

5.3 DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS

Las determinaciones físico-químicas analíticas que se realizaron en cada una de las muestras y su duplicado se pueden observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 14, Determinaciones físico-químicas

DETERMINACIÓN	MÉTODO	REFERENCIA
a. pH	Potenciométrico	Eaton (1995)
b. Conductividad Eléctrica	Conductimétrico	Richards (1973)
c. Residuo Seco Evaporado (RSE)	En base peso seco	Eaton (1995)
d. Calcio y Magnesio	Titulación	Richards (1973)
e. Sodio y Potasio	Flamometría	Greenberg (1992)
f. Carbonatos y Bicarbonatos	Titulación	Richards (1973)
g. Cloruros	Titulación	Richards (1973)
h. Sulfatos	Turbidimetría	Eaton (1995)
i. Fosfatos	Colorimetría	Rodier (1978)
j. Nitratos	Colorimetría	Rodier (1978)
k. Boro	Azomethine-H	Page (1982)
l. Presión Osmótica	Osmometría	

5.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS DETERMINACIONES

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

Para determinar la conductividad eléctrica se utilizó un microprocesador “HI 255 MEDIDOR COMBINADO PH/MV/CE/TDS”. Para calibrarlo se uso cloruro de potasio, este microprocesador contiene sondas de CE y temperatura y un brazo soporte. Las sales inorgánicas en solución tienen la capacidad para conducir la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad.

En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad.

DETERMINACIÓN DEL pH

Para la determinación del pH de las muestras se utilizó un potenciómetro marca “Beckman”. Se utilizó solución estándar de pH conocido para la calibración, (Eaton, 1995), este aparato mide el pH de una disolución, sus componentes esenciales son un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un voltímetro calibrado para poder leer directamente en unidades de pH.

El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH, siendo este un indicador de la acidez de una sustancia. El pH está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H⁺) en una sustancia.

El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua.

El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida.

DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD TOTAL (RSE residuo seco)

Para determinar el residuo seco evaporado o total de sólidos solubles se utilizo una plancha marca "THERMOLYNE", primero se colocaron 25 mL de muestra y se coloco en capsulas de porcelana, para posteriormente ponerse en una plancha a evaporar a temperatura constante de 105 °C.

DETERMINACIÓN DE SODIO Y POTASIO

Para la determinación del contenido de sodio y potasio en las muestras de agua, se utilizo el método de flamometria de flama, (Greenberg, 1992). Este método consiste en utilizar un flamómetro marca "IL Autical Flame Photometer 643". Dicho aparato consta de tres partes principales: la fuente de radiación, la llama y el detector. La fuente de radiación consiste en una lámpara en cuyo interior se encuentra un cátodo, que ha de ser del mismo metal a analizar y un ánodo, además de un gas noble (helio o argón normalmente). La descarga eléctrica ioniza el gas noble, y sus choques contra el cátodo provocarán en último término que los átomos de este metal se exciten.

Na: El sodio es fácilmente excitado en una llama, produciendo una luz de color amarillo intenso; este color es debido principalmente a radiación de 589.6 nanómetros de longitud de onda, denominada comúnmente línea D del sodio. Aunque se omiten otras radiaciones de diferentes longitudes de onda, estas son menos potentes y pueden bloquearse mediante un vidrio amarillo adecuado (filtro de sodio) que permite efectivamente que pase únicamente la emisión de la línea D.

Si se alimenta una solución que tenga iones de sodio, en forma de rociado fino, es una llama bajo condiciones controladas y normalizadas y se hace pasar por la luz emitida a través de un filtro de sodio, puede medirse la intensidad de la emisión de la línea D fotoeléctricamente y relacionarse con la concentración de sodio que hay en la solución original.

K: El potasio, lo mismo que el sodio, es excitado también en una llama (aunque con menos facilidad) produciendo una luz color violeta. Sin embargo, la radiación mas intensa se encuentra en la región mas cercana al infrarrojo a una longitud de onda de 767 nanómetros, por lo que esta longitud de onda se emplea para medir la emisión de potasio en un fotómetro de llama por un método análogo al empleado

para el sodio utilizando un filtro de potasio que bloquea la mayor parte de radiaciones en la región invisible asta cerca de 750 nanómetros de longitud de onda. En general, los efectos de interferencia producidos por otros cationes suelen ser menos importantes que con el sodio, pero, no obstante, deben tenerse en cuenta.

Si se alimenta una solución que contenga iones de potasio, en forma de rociado fino, en una llama bajo condiciones controladas y normalizadas y se hace pasar la luz emitida a través de un filtro de potasio, puede medirse la intensidad de la emisión de la línea D fotoeléctricamente y relacionarse con la concentración de potasio que hay en la solución original (Dewis, 1984).

DETERMINACIÓN DE CALCIO MÁS MAGNESIO

Para la determinación de Ca + Mg, en las muestras de agua, se utilizo el método de titulación con etilen-diamino-tetraacetato (EDTA), recomendado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, (Richards, 1973).

Principio:

Con un pH óptimo de 10 en esta determinación, el ion EDTA forma complejos solubles con los iones de calcio y magnesio, separándolos, por tanto, de la solución sin precipitar al mismo pH. El colorante EN.T (eriocromo negro T) tiene un color turquesa, y con ausencia de iones de calcio y de magnesio, se forma un compuesto de color rojo vino con estos iones.

Por tanto, si se agrega solución amortiguadora a una solución que contenga iones calcio y magnesio de manera que se produzca, un pH aproximadamente 10 y luego se añade eriocromo T, se forma un color rojo. Si luego se añade lentamente EDTA, los iones de calcio y magnesio van pasando gradualmente de los complejos colorantes a los complejos EDTA, mas estables, hasta que, cuando han pasado totalmente, los colores rojos de los compuestos colorantes dejan paso al azul turquesa puro del colorante mismo (Dewis, 1984).

DETERMINACIÓN DE CALCIO

Para la determinación de Ca, se utilizó el método de titulación con etilen-diamino-tetraacetato (EDTA), recomendado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, (Richards, 1973).

Principio:

Si una solución que contiene iones de calcio y magnesio se alcaliniza fuertemente cuando su pH es aproximadamente igual a 12, se precipita selectivamente el magnesio en forma de hidróxido de magnesio, siempre y cuando la cantidad de magnesio no sea pequeña, de otra forma no se observara ninguna señal. Al mismo pH, el colorante murexida forma un compuesto rojo naranja con iones de calcio, pero no es afectado por el magnesio presente en forma de hidróxido de magnesio.

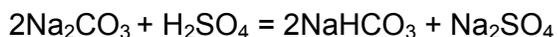
Así, pues, si una agua natural o un extracto acuoso de suelo se alcaliniza fuertemente y se trata con murexida, aparece un color rojo naranja debido a la reacción del colorante con iones de calcio y si luego se añade lentamente EDTA, los iones calcio pasan gradualmente al complejo EDTA que es más estable, hasta que, cuando hayan pasado en su totalidad los iones de calcio, la solución acuosa entonces tomara un color púrpura (Dewis, 1984).

DETERMINACIÓN DE CARBONATOS Y BICARBONATOS (CO₃ y HCO₃)

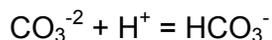
Para la determinación de CO₃ y HCO₃, se utilizó el método de titulación con ácido, recomendado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, (Richards, 1973). Este método consistió en titulación con ácido sulfúrico (H₂SO₄). Para la determinación de carbonatos se usa como indicador la fenolftaleína y para la determinación de bicarbonatos se usa como indicador anaranjado de metilo.

Principio:

Carbonatos: Cuando el pH de la muestra de agua o extracto acuoso es mayor de 8.4, el ion carbonato se hace presente como carbonato sódico. Si se valora la muestra con un ácido mineral estándar de pH de 8.4 el ion carbonato se convierte en bicarbonato.



Es decir:



Y la alcalinidad del ácido gastada da una medida del carbonato presente.

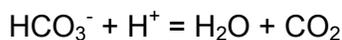
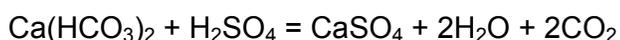
La mejor manera de hacer esta valoración es por potenciometría; pero el punto final puede apreciarse también empleando el indicador mixto rojo cresol-azul timol (ó fenolftaleína), que vira de violeta en un pH 8.8, a amarillo a pH 8.0, con un tono rojo-rosa neto a pH 8.4. El punto final se aprecia con la valoración con indicador por comparación del color con el del mismo volumen de solución amortiguadora a pH 8.4 conteniendo la misma cantidad del indicador.

Al agregar una gota de fenolftaleína, en presencia de carbonatos la muestra toma un color rosa; se agrega a gotas ácido sulfúrico hasta que el color desaparece.

Bicarbonato:

El ion bicarbonato reacciona con un ácido mineral (H_2SO_4) dejando en libertad el bi-óxido de carbono en la solución.

Durante el proceso de titulación ocurren las siguientes reacciones:



Si el valor del pH en el momento de la neutralización completa aproximadamente de 3.8. Por tanto, el bicarbonato puede determinarse por volumetría con un ácido mineral (H_2SO_4) a un pH de 3.8, por potenciometría o empleando un indicador que no sea afectado por el bióxido de carbono. El anaranjado de metilo da buen resultado. Al agregar anaranjado de metilo a la muestra se forma un color amarillo y se titula con ácido sulfúrico hasta que vire a un color cobre (Dewis, 1984).

CLOURUROS

Para la determinación de cloruros se utilizo el método de titulación con nitrato de plata, recomendado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, (Richards, 1973). Este método consistió en titulación con nitrato de plata y cromato de potasio como indicador.

Principio:

Los cloruros pueden ser fácilmente medidos por medio de procedimientos volumétricos empleando indicadores. Para una buena determinación, el método de Mohr emplea nitrato de plata (AgNO_3) para titulación y cromato de potasio K_2CrO_4 como indicador.

En la titulación el ion Cl^- se precipita como cloruro de plata (AgCl) en color blanco, por titulación con nitrato de plata.



El pH debe estar en un intervalo de 7 a 8 porque el ion Ag^+ se precipita como AgOH a niveles elevados de pH y el CrO_4^{-2} se convierte a $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ a niveles bajos de pH (Biggar, 1986).

SULFATOS

Para la determinación de sulfatos en las muestras de agua, se utilizo el método de turbidimetria, (Eaton, 1995). En este método consistió en la determinación de los sulfatos por medio de un espectrofotómetro marca perkin-elmer a una longitud de onda de 420 nm

Principio:

En este método el SO_4^{-2} se asocia con el Bario (Ba) del cloruro de bario BaCl , el sulfato de bario que se ha formado se encuentra en la solución en forma coloidal. El resultado de la turbidez es determinada por espectrofotometría o colorimetría. Los valores del espectro fotómetro se comparan con valores estándares de una curva preparada con concentraciones de iones sulfato SO_4^{-2} conocidos.

En un medio ácido hidroclicóriclo el SO_4^{2-} se precipita como BaSO_4 en forma de cristales finos de BaSO_4 . Esto es crucial para que el BaSO_4 precipitado este finamente disperso. Los reactivos condicionantes que se agregan a la muestra contienen glicerol y una concentración mayor de sal en orden para facilitar la dispersión del precipitado.

Los cristales de BaSO_4 empiezan a agregarse y a formar significativamente cristales grandes, alrededor de 10 minutos después de que el BaCl_2 es agregado, por lo tanto, la lectura en el espectrofotómetro debe ser completada antes de los 10 minutos, (Biggar, 1986).

BORO

Para la determinación de boro en las muestras de agua, se utilizo el método de la azometina-H, recomendado por la Sociedad Americana de Agronomía, (1982). Este método consistió en determinar la cantidad de boro por medio de un espectrofotómetro marca perkin-elmera una longitud de onda de 420 nm.

FOSFATOS

Para la determinación de fosfatos en las muestras de agua, se utilizo el método de colorimetría, (Rodier, 1978). En este método se determinan los fosfatos por medio de un espectrofotómetro marca perkin-elmer, a una longitud de onda de 690 nm.

NITRATOS

Para la determinación de nitratos en las muestras de agua, se utilizo el método de colorimetría, (Rodier, 1978). En este método se determinan los nitratos por medio de un espectrofotómetro marca perkin-elmer, a una longitud de onda de 690 nm.

PRESIÓN OSMÓTICA

La presión osmótica de la solución de suelo esta relacionada con la velocidad de absorción del agua por las plantas y el crecimiento de las mismas en los suelos salinos.

La presión osmótica es una de las propiedades coligativas de las soluciones salinas acuosas. Las propiedades coligativas de las soluciones acuosas electrolíticas son: 1. Disminución de vapor, 2. El aumento del punto de ebullición, 3. La disminución del punto de congelación, y 4. La presión osmótica. Las propiedades coligativas de las soluciones, dependen únicamente del número de moles del soluto, que estén presentes en una cantidad dada de disolvente. La naturaleza individual del soluto no causa ninguna diferencia, mientras su acción sea ideal. Como el número de moléculas de soluto presentes es igual al número de moles multiplicado por el número de Avogadro, entonces podemos decir, que estas propiedades coligativas se deben al número de partículas de soluto presentes en una cantidad dada de disolvente. Con este modelo, la presión osmótica de una disolución es la misma presión que un gas ideal ejercería si ocupase el mismo volumen de la disolución.

$$pV = nRT$$

La presión osmótica como la resultante de las dos tendencias relativas de escape de las moléculas de disolvente a ambos lados de la membrana. Realmente, la ecuación anterior es una ley límite, aplicable a disoluciones muy diluidas, y se simplifica, dándole esta forma, a partir de una expresión más exacta.

$$\pi = \frac{RT}{V_1} \ln \frac{P^0}{P}$$

Principio:

Esta determinación se basa en el principio de Peltier. Al colocar a diferentes temperaturas las uniones de un lazo formado por dos metales (cobre y bismuto), aparece una corriente eléctrica, que dependerá de la diferencia de temperaturas entre las uniones este es el principio físico de los termopares utilizados en

termometría (efecto Seebeck). El fenómeno inverso al Seebeck es el Peltier, por el cual, una corriente eléctrica que atraviesa las uniones de un lazo formado por dos metales diferentes, dependiendo del sentido de la corriente, genera calor y lo absorbe la otra.

Entonces, concretamente, el principio físico del efecto Peltier es que al conectar una fuente de corriente a un lazo formado por dos conductores A y B (telurio y bismuto), en una unión la corriente que va desde A hacia B es favorecida por el potencial de contacto y en la otra, la corriente que va desde B hacia A debe vencer una barrera de energía debida al potencial de contacto opuesto. Por lo tanto, una unión libera calor y la otra lo absorbe del medio ambiente.

5.4 MÉTODOS PARA COMPROBAR LA EXACTITUD DE LOS RESULTADOS

Los siguientes procedimientos para verificar la exactitud son específicamente aplicables a muestras de agua, para que la relación entre los análisis sea correcta. Estos incluyen pH, conductividad eléctrica, constituyentes aniónicos y cationicos mayores, que son generalmente indicadores de la calidad del agua (Eaton, 1995).

La suma de aniones y cationes, expresados en meq/L, deben estar equilibrados ya que todas las aguas son eléctricamente neutras, es decir la suma de aniones debe ser similar a la suma de cationes. Esto se basa sobre el porcentaje de diferencia, definida como sigue:

$$\% \text{diferenci} = 100 \frac{|\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}|}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}}$$

Los resultados se basan en el criterio de aceptación, como se muestra en el cuadro 15.

Cuadro 15, Criterios de aceptación del balance anión - catión.

Suma de aniones (meq/L)	% de diferencia aceptable
0.0 - 3.0	± 0.2 meq/L
3.0 - 10.0	±2.0 %
10.0 - 800.0	5.0%

La conductividad eléctrica calculada es mayor que la medida, analizar nuevamente la suma mayor de iones. El rango aceptable es como sigue:

$$0.9 < \frac{CE_{calculada}}{CE_{medida}} < 1.1$$

Cuadro16, Factores de conductividad para iones comúnmente concentrados en agua.

Ion	Conductividad (25°C) $\mu\text{mhos/cm}$	
	Para meq/L	Para mg/L
Bicarbonato	43.6	0.715
Calcio	52.0	2.600
Carbonato	84.6	2.820
Cloro	75.9	2.140
Magnesio	46.6	3.820
Nitrato	71.0	1.150
Potasio	72.0	1.840
Sodio	48.9	2.130
Sulfato	73.9	1.540

La conductividad eléctrica y la suma de los iones, la suma de anión y catión debe ser 1/100 del valor de la conductividad eléctrica medida. Si ambas sumas no cumplen con este criterio, la suma no es confiable y se debe analizar la muestra nuevamente, de la siguiente forma:

$$100 \times \text{suma se anión (o catión), meq/L} = (0.9-1.1) \text{ CE}$$

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 ESTACIONES DE MUESTREO Y COMPOSICIÓN IÓNICA.

La discusión sobre los contenidos de los distintos iones en soluciones de las aguas residuales de la cuenca Lerma – Chápala, se llevará a cabo mediante el análisis, de los siguientes parámetros:

1. Distribución de los aniones y cationes
2. Concentración total de sales en aguas
3. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
4. Dependencia de la presión osmótica (MPa) con respecto a la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
5. Valores de la relación de adsorción de sodio (RAS, RASaj, RAS°)
6. Relación entre RAS-CE,
7. Índices de salinidad
8. Distribución de Boro, Fosfato, Nitrato en la cuenca Lerma – Chápala.

CE

En este muestreo se observa que los valores más altos de conductividad eléctrica se encontraron en las estaciones 17 y 41 donde los valores oscilan en 12,650 y 6,285 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los valores más bajos se presentaron en las estaciones 11, 20, 23 y 24, los valores de estas estaciones oscilan entre 142 y 277 $\mu\text{S cm}^{-1}$, se puede observar que la conductividad eléctrica varía de 142 a 12,650 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

En la figura 5, se muestran las variaciones de la conductividad eléctrica

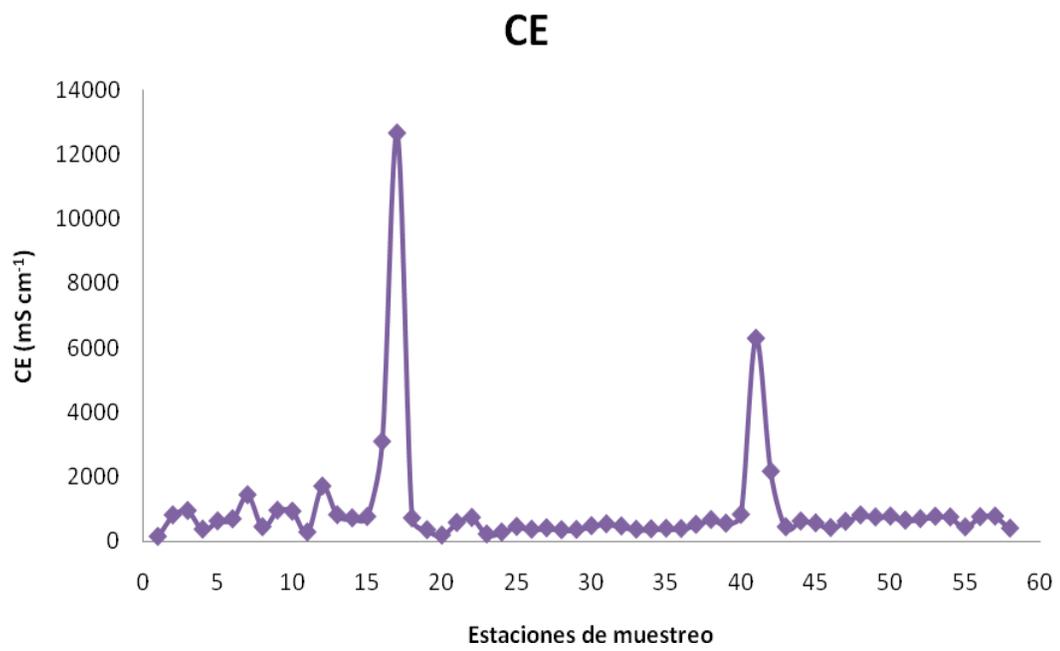


Figura 5, Distribución la conductividad eléctrica a lo largo de las estaciones de muestreo de la cuenca Lerma - Chápala

pH

Ayers y Westcot, (1987) indican que el pH es un índice que caracteriza el grado de acidez o basicidad en un medio.

En la figura 6, se muestra el comportamiento del pH a lo largo de las estaciones de muestreo, podemos observar que el valor mas alto se encuentra en la estación de muestreo 4, donde el valor es de 9.10, mientras que el valor mas bajo se presento en la estación de muestreo 9, con un valor de 6.25, el comportamiento de las estaciones restantes presenta una media de 7.4.

En el proyecto “Evaluación del manejo del agua como elemento integrador en la Cuenca Lerma – Chápala”, estudio realizado por la Universidad Autónoma Metropolitana - X, Universidad Nacional Autónoma de México, y SEMARNAT en 2005, se encontró que los valores correspondientes al pH muestreados a lo largo de cuenca en época de lluvias fluctúan entre 7 y 8.4, lo que indica que el sistema tiene una tendencia alcalina, y en el muestreo realizado en junio de 2009 se tienen valores muy similares.

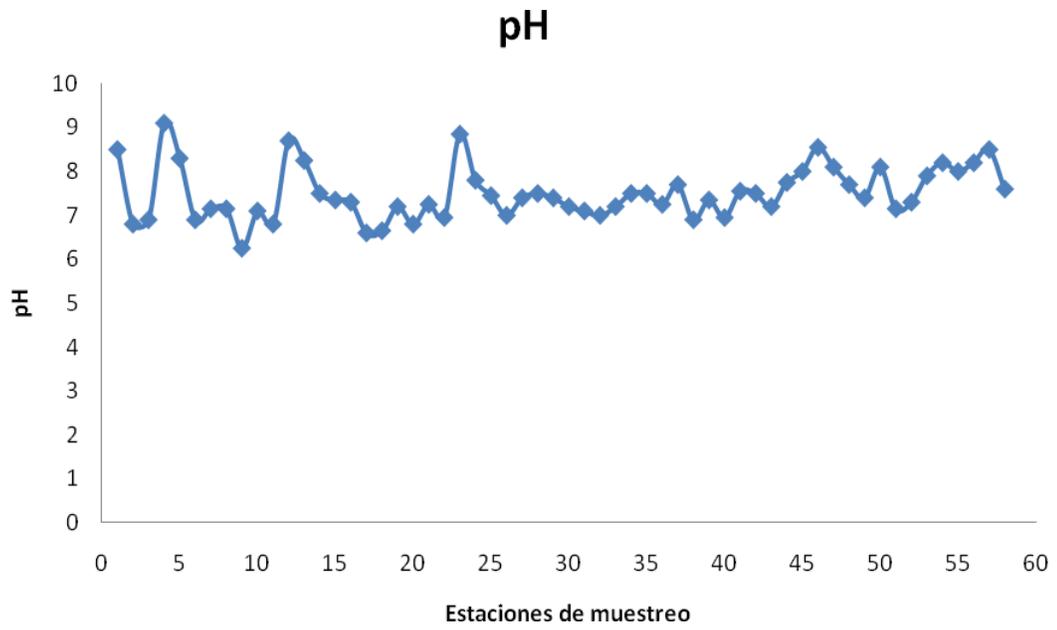


Figura 6, Distribución del pH a lo largo de las estaciones de muestreo de la cuenca Lerma - Chápala.

La calidad del agua es de suma importancia para conocer las condiciones de salinidad en zonas de riego, de ahí la necesidad de conocer cuales son los componentes, para de acuerdo a estos, poder predecir el efecto que producirá el agua sobre los suelos y plantas.

En la figura 7, se presenta la distribución de los diferentes cationes y aniones de la cuenca hidrológica Lerma – Chápala, en esta figura se puede observar que la concentración electrolítica de las aguas de esta cuenca se mantienen en valores muy similares excepto en las estaciones 16 y 17 donde los valores tienen un incremento, estas estaciones corresponden al municipio de Temazcalzingo en el estado de México, al igual que en las estaciones 41 y 42, donde tenemos un incremento considerable, estas estaciones pertenecen a la ciudad de Salamanca, en el estado de Guanajuato. Como podemos observar en la figura 8, se muestra mas claramente la distribución de aniones y cationes de la cuenca hidrológica Lerma - Chápala, en esta grafica se omitieron las estaciones 16, 17, 41 y 42. Con respecto a los cationes analizados el elemento con mayor concentración fue el sodio (Na) los valores de este elemento variaron de 0.04 hasta 94.52 meq L⁻¹, presentando una media de 1.73 meq L⁻¹, el segundo lugar de concentración fue para el magnesio (Mg) los valores de este elemento oscilaron de 0.26 a 12.5 meq L⁻¹ registrando una media de 1.164 meq/L, el potasio (K) fue el tercer elemento en concentración, sus valores varían de 0.06 a 9.25 meq L⁻¹, presentando una media en 0.64 meq L⁻¹, por ultimo el calcio (Ca) presento una variación de 0.18 a 6.2 meq L⁻¹ con una media de 0.80 meq L⁻¹.

Con respecto a los aniones analizados el elemento con mayor concentración fue el bicarbonato (HCO₃) los valores de este elemento variaron de 1.12 hasta 89.40 meq L⁻¹, presentando una media de 4.53 meq L⁻¹, el segundo lugar de concentración fue para el cloruro (Cl) los valores de este elemento oscilaron de 0.17 a 20.32 meq L⁻¹ registrando una media de 2.13 meq L⁻¹, el sulfato (SO₄) fue el tercer elemento en concentración, sus valores varían de 0.02 a 9.6 meq L⁻¹, presentando una media en 0.06 meq L⁻¹, por ultimo el carbonato (CO₃) con una variación de 0.0 a 0.3 meq L⁻¹ con una media de 0.0 meq L⁻¹.

En el muestreo realizado en verano del 2009, como podemos observar en el cuadro 17, se indican las composiciones iónicas de las distintas muestras, de 58 estaciones de muestreo.

Cuadro 17, Composición iónica de las aguas de la cuenca Lerma - Chápala

Muestra	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Suma	Carbonato	Bicarbonato	Cloruro	Sulfato	Suma	RSE	%	Presión	
			meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		(CO ₃)	(HCO ₃)	(Cl)	(SO ₄)					aniones
			mS cm ⁻¹	meq L ⁻¹	mg L ⁻¹											
1	Valle el mirador	8.50	142.0	0.400	0.900	0.042	0.060	1.402	0.02	1.160	0.170	0.020	1.374	103.899	1.080	0.051
				8.016	10.935	0.920	2.346		0.60	70.760	6.027	0.961				
				0.200	0.450	0.040	0.060		0.01	1.160	0.170	0.010				
2	Pozo Tlazala 39a	6.80	809.0	0.900	1.900	4.655	0.535	7.990	0.00	5.350	2.440	0.040	7.830	603.706	1.011	0.352
				18.036	23.750	107.410	21.110		0.00	326.350	86.498	1.921				
				0.450	0.950	4.655	0.535		0.00	5.350	2.440	0.020				
3	Río Lerma Hacienda	6.90	944.0	1.300	2.900	4.460	0.655	9.323	0.00	5.910	3.090	0.080	9.080	685.468	1.300	0.386
				26.052	35.240	102.580	25.611		0.00	360.510	109.541	3.842				
				0.650	1.450	4.460	0.655		0.00	5.910	3.090	0.040				
4	Lagunas de Almoloya	9.10	366.0	1.000	0.800	1.280	0.485	3.570	0.04	2.130	1.310	0.040	3.480	266.360	1.280	0.150
				20.040	9.720	29.440	19.160		1.20	129.930	46.440	1.921				
				0.500	0.400	1.280	0.485		0.02	2.130	1.310	0.020				
5	Ocoyoacac	8.30	623.0	0.800	1.400	3.410	0.460	6.070	0.00	3.800	2.080	0.040	5.910	450.966	1.340	0.266
				16.032	17.010	78.430	17.986		0.00	231.800	73.736	1.921				
				0.400	0.700	3.410	0.460		0.00	3.800	2.080	0.020				
6	Río Lerma	6.90	689.0	0.900	2.300	3.060	0.460	6.720	0.00	4.090	2.460	0.060	6.550	487.380	1.280	0.285
				18.036	27.950	70.380	17.986		0.00	249.490	85.080	2.882				
				0.450	1.150	3.060	0.460		0.00	4.090	2.460	0.030				
7	Las torres Lerma	7.15	1434.0	2.000	2.100	8.230	1.645	13.980	0.00	8.560	4.040	1.020	13.620	1067.905	1.300	0.613
				40.080	25.520	189.290	64.520		0.00	522.160	143.218	49.000				
				1.000	1.050	8.230	1.645		0.00	8.560	4.040	0.510				
8	Ixtlahuaca bordo	7.15	442.0	0.800	1.200	1.770	0.590	4.360	0.00	3.130	1.080	0.040	4.250	336.271	1.280	0.186
				16.032	14.580	40.710	23.069		0.00	190.930	38.286	1.921				
				0.400	0.600	1.770	0.590		0.00	3.130	1.080	0.020				

Continuación cuadro 17.

Muestra	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Suma	Carbonato	Bicarbonato	Cloruro	Sulfato	Suma	RSE	%	Presión			
			meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		(CO ₃)	(HCO ₃)	(Cl)	(SO ₄)					aniones	Error	Osmótica
			mS cm ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹					meq L ⁻¹	mg L ⁻¹	Mpa
9	Ixtlahuaca río	6.25	954.0	1.300	1.900	5.090	1.005	9.300	0.00	5.180	3.190	0.060	8.970	685.437	1.810	0.400		
				26.052	23.090	117.070	39.296	0.00	315.980	113.086	2.882							
				0.650	0.950	5.090	1.005	0.00	5.180	3.190	0.009							
10	Almoloya presa RELP/Álzate	7.10	925.0	1.200	1.800	5.120	0.930	9.050	0.00	5.360	2.600	0.760	8.720	677.311	1.860	0.389		
				24.048	21.870	117.760	36.363	0.00	326.960	92.170	36.503							
				0.600	0.900	5.120	0.930	0.00	5.360	2.600	0.380							
11	Carretera libre inicia presa álzate	6.80	277.0	0.200	0.800	1.410	0.290	2.700	0.00	1.800	0.780	0.040	2.620	203.366	1.490	0.117		
				4.008	9.720	32.430	11.339	0.00	109.800	27.651	1.921							
				0.100	0.400	1.410	0.290	0.00	1.800	0.780	0.020							
12	Ixtlahuaca río Lerma	8.70	1701.0	1.850	3.120	10.010	1.600	16.580	0.30	9.480	5.570	1.080	16.130	1244.128	1.380	0.730		
				37.074	37.910	230.230	62.560	9.00	578.280	197.457	51.872							
				0.925	1.560	10.010	1.600	0.15	9.480	5.570	0.540							
13	Puente Atlacomulco	8.25	813.0	1.300	1.750	4.050	0.830	7.930	0.00	4.730	2.300	0.640	7.670	592.652	1.660	0.337		
				26.052	21.260	93.150	32.453	0.00	288.530	81.535	30.739							
				0.650	0.875	4.050	0.830	0.00	4.730	2.300	0.320							
14	Andaro	7.50	716.0	1.100	1.550	3.520	0.805	6.980	0.00	3.620	2.650	0.440	6.710	505.540	1.970	0.297		
				22.044	18.830	80.960	31.670	0.00	220.820	93.943	21.133							
				0.550	0.775	3.520	0.805	0.00	3.620	2.650	0.220							
15	Presa Juanacatlan	7.35	759.0	1.120	1.800	3.786	0.790	7.496	0.00	4.080	2.700	0.480	7.260	547.514	1.630	0.320		
				22.445	21.870	87.170	30.889	0.00	248.880	95.715	23.054							
				0.560	0.900	3.786	0.790	0.00	4.080	2.700	0.240							
16	Temazcalzingo dren el borbollón	7.30	3087.0	2.100	3.600	21.530	2.860	30.090	0.00	21.830	5.080	2.400	29.310	2396.382	1.313	1.354		
				42.084	43.740	495.190	111.826	0.00	1331.630	180.086	115.272							
				1.050	1.800	21.530	2.860	0.00	21.830	5.080	1.200							

Continuación cuadro 17.

Muestra	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Suma	Carbonato	Bicarbonato	Cloruro	Sulfato	Suma	RSE	%	Presión	
			meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	cationes	(CO ₃)	(HCO ₃)	(Cl)	(SO ₄)	aniones	Error	Osmótica		
			mS cm ⁻¹	meq L ⁻¹	mg L ⁻¹	Mpa										
17	Pese-ndeje, el borbollón	6.60	12650.0	6.200	12.500	94.520	9.255	122.480	0.00	89.400	20.320	9.600	119.320	9758.741	1.307	5.569
				124.248	151.880	2173.960	362.070	0.00	5453.400	720.344	461.088					
				3.100	6.250	94.520	9.255	0.00	89.400	20.320	4.800					
18	El tejocote pozo	6.65	714.0	1.150	1.300	3.630	0.880	6.960	0.00	3.800	2.600	0.380	6.780	515.431	1.310	0.302
				23.046	15.800	83.490	34.408	0.00	231.800	92.170	18.251					
				0.575	0.650	3.630	0.880	0.00	3.800	2.600	0.190					
19	El tejocote manantial	7.20	349.0	0.600	0.800	1.600	0.410	3.410	0.00	2.080	1.200	0.040	3.320	254.031	1.337	0.147
				12.024	9.720	36.800	16.031	0.00	126.880	42.540	1.921					
				0.300	0.400	1.600	0.410	0.00	2.080	1.200	0.020					
20	Temazcal manantial	6.80	183.0	0.300	0.350	1.020	0.100	1.770	0.00	1.120	0.580	0.020	1.720	131.680	1.430	0.077
				6.012	4.250	23.460	3.910	0.00	68.320	20.561	0.961					
				0.150	0.175	1.020	0.100	0.00	1.120	0.580	0.010					
21	Tuxtepec presa	7.25	573.0	0.900	1.280	2.940	0.480	5.600	0.00	3.690	1.520	0.200	5.410	422.036	1.730	0.240
				18.036	15.550	67.620	18.768	0.00	225.090	53.884	9.606					
				0.450	0.640	2.940	0.480	0.00	3.690	1.520	0.100					
22	Presa Tuxtepec	6.95	729.0	1.200	1.800	3.310	0.800	7.110	0.00	3.680	2.650	0.600	6.930	517.087	1.280	0.299
				24.048	21.870	76.130	31.280	0.00	224.480	93.943	28.818					
				0.600	0.900	3.310	0.800	0.00	3.680	2.650	0.300					
23	El juguete presa	8.85	218.0	0.180	0.260	1.390	0.300	2.130	0.04	1.510	0.410	0.120	2.080	169.484	1.190	0.096
				3.607	3.160	31.970	11.730	1.20	92.110	14.535	5.764					
				0.090	0.130	1.390	0.300	0.02	1.510	0.410	0.060					
24	El juguete nacimiento	7.80	277.0	0.240	0.420	1.740	0.300	2.700	0.00	2.030	0.460	0.140	2.630	215.402	1.310	0.121
				4.810	5.100	40.020	11.730	0.00	123.830	16.307	6.724					
				0.120	0.210	1.740	0.300	0.00	2.030	0.460	0.070					

Continuación cuadro 17.

Muestra	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Suma cationes	Carbonato	Bicarbonato	Cloruro	Sulfato	Suma aniones	RSE	% Error	Presión Osmótica Mpa	
			meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		(CO ₃)	(HCO ₃)	(Cl)	(SO ₄)					
			mS cm ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹					meq L ⁻¹
25	Puente la marimba	7.45	452.0	0.640	0.940	2.530	0.300	4.410	0.00	2.580	1.610	0.080	4.270	322.774	1.610	0.192
				12.826	11.420	58.190	11.730		0.00	157.380	57.075	3.842				
				0.320	0.470	2.530	0.300		0.00	2.580	1.610	0.040				
26	Presa Solís	7.00	363.0	0.800	1.080	1.270	0.400	3.550	0.00	2.070	1.300	0.100	3.470	259.448	1.140	0.148
				16.032	13.120	29.210	15.640		0.00	126.270	46.085	4.803				
				0.400	0.540	1.270	0.400		0.00	2.070	1.300	0.050				
27	Presa Solís nacimiento	7.40	408.0	0.960	1.200	1.450	0.420	4.029	0.00	2.460	1.360	0.120	3.940	297.118	1.130	0.162
				19.238	14.580	33.350	16.422		0.00	150.060	48.212	5.764				
				0.480	0.600	1.450	0.210		0.00	2.460	1.360	0.060				
28	Solís cortina	7.50	348.0	0.800	1.100	1.000	0.500	3.400	0.00	1.960	1.260	0.100	3.320	248.914	1.190	0.140
				16.032	13.350	23.000	19.550		0.00	119.560	44.667	4.803				
				0.400	0.550	1.000	0.500		0.00	1.960	1.260	0.050				
29	Entrada a los ángeles	7.40	357.0	0.800	1.200	1.100	0.420	3.520	0.00	1.970	1.290	0.180	3.440	255.027	1.150	0.144
				16.032	14.580	25.300	16.422		0.00	120.170	45.731	8.645				
				0.400	0.600	1.100	0.420		0.00	1.970	1.290	0.090				
30	Entrada a los ángeles pozo	7.20	474.0	0.860	1.110	2.120	0.590	4.680	0.00	3.120	1.360	0.080	4.560	356.310	1.300	0.202
				17.234	13.490	48.760	23.069		0.00	190.320	48.212	3.842				
				0.430	0.555	2.120	0.590		0.00	3.120	1.360	0.080				
31	Entrada a los ángeles, pozo 2	7.10	533.0	0.900	1.200	2.560	0.600	5.260	0.00	3.240	1.700	0.180	5.120	394.096	1.350	0.226
				18.036	14.580	58.880	23.460		0.00	197.640	60.265	8.645				
				0.450	0.600	2.560	0.600		0.00	3.240	1.700	0.090				
32	Entrada a los ángeles dren	7.00	467.0	0.800	1.100	2.210	0.460	4.570	0.00	2.860	1.450	0.140	4.450	341.721	1.330	0.196
				16.032	13.370	50.830	17.986		0.00	174.460	51.403	6.724				
				0.400	0.550	2.210	0.460		0.00	2.860	1.450	0.070				

Continuación cuadro 17.

Muestra		pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Suma	Carbonato	Bicarbonato	Cloruro	Sulfato	Suma	RSE	%	Presión				
				meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		(CO ₃)	(HCO ₃)	(Cl)	(SO ₄)					aniones	mg L ⁻¹	Error	Osmótica
				mS cm ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹					meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	Mpa	
33	Inchamacuaro	7.20	364.0	0.410	0.550	2.220	0.420	3.600	0.00	2.160	1.250	0.100	3.510	271.941	1.270	0.145				
				8.216	6.680	51.060	16.422		0.00	131.760	44.313	4.803								
				0.550	0.650	0.770	0.430		0.01	1.900	1.610	0.001								
34	Salvatierra	7.50	378.0	0.500	0.600	2.190	0.440	3.733	0.00	2.190	1.320	0.120	3.630	279.976	1.360	0.165				
				10.020	7.290	50.370	17.204		0.00	133.590	46.794	5.764								
				0.250	0.300	2.190	0.440		0.00	2.190	1.320	0.060								
35	El capulín	7.50	394.0	0.800	1.100	1.470	0.480	3.850	0.00	2.080	1.500	0.180	3.760	279.613	1.310	0.161				
				16.032	13.370	33.810	18.768		0.00	126.880	53.175	8.645								
				0.400	0.550	1.470	0.480		0.00	2.080	1.500	0.090								
36	Santiago Capitiro	7.25	386.0	0.720	0.960	1.640	0.440	3.760	0.00	2.190	1.300	0.160	3.650	277.229	1.480	0.159				
				14.429	11.660	37.720	17.204		0.00	133.590	46.085	7.685								
				0.360	0.480	1.640	0.440		0.00	2.190	1.300	0.080								
37	Jaral del progreso	7.70	515.0	1.050	1.150	2.300	0.515	5.020	0.00	2.990	1.750	0.150	4.890	371.550	1.310	0.214				
				21.042	13.970	52.900	20.137		0.00	182.390	62.038	7.205								
				0.525	0.575	2.300	0.515		0.00	2.990	1.750	0.075								
38	Pitayo	6.90	665.0	0.850	1.400	3.840	0.480	6.570	0.00	3.500	2.670	0.160	6.330	472.048	1.860	0.286				
				17.034	17.010	88.320	18.768		0.00	213.500	94.652	7.685								
				0.425	0.700	3.840	0.480		0.00	3.500	2.670	0.080								
39	Rancho pitayo	7.35	551.0	0.850	1.120	2.970	0.500	5.442	0.00	3.320	1.800	0.160	5.280	405.472	1.490	0.236				
				17.034	13.610	68.310	19.550		0.00	202.520	63.810	7.685								
				0.425	0.560	2.970	0.500		0.00	3.320	1.800	0.080								
40	Salamanca junto a refinería	6.95	825.0	1.400	1.580	4.480	0.580	8.040	0.00	5.440	2.180	0.220	7.840	612.219	1.260	0.349				
				28.056	19.200	103.040	22.678		0.00	331.840	77.281	10.567								
				0.700	0.790	4.480	0.580		0.00	5.440	2.180	0.110								

Continuación cuadro 17.

Muestra	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Suma	Carbonato	Bicarbonato	Cloruro	Sulfato	Suma	RSE	%	Presión			
			meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		(CO ₃)	(HCO ₃)	(Cl)	(SO ₄)					aniones	Error	Osmótica
			mS cm ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹					meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	mg L ⁻¹
41	Salamanca junto a refinería, dren	7.55	6285.0	4.120	7.800	44.330	5.020	61.270	0.00	44.910	12.800	1.960	59.670	4835.076	1.320	2.789		
				82.565	94.770	1019.590	196.282	0.00	2739.510	453.760	94.139							
				2.060	3.900	44.330	5.020	0.00	44.910	12.800	0.980							
42	Salamanca río Lerma salida	7.50	2161.0	1.700	2.500	15.220	1.650	21.070	0.00	11.850	7.600	0.860	20.310	1562.515	1.840	0.950		
				34.068	30.380	350.060	64.515	0.00	722.850	269.420	41.306							
				0.850	1.250	15.220	1.650	0.00	11.850	7.600	0.430							
43	Pueblo nuevo	7.20	441.0	0.860	1.210	1.620	0.600	4.290	0.00	2.940	1.120	0.120	4.180	327.938	1.290	0.180		
				17.234	14.700	37.260	23.460	0.00	179.340	39.704	5.764							
				0.430	0.605	1.620	0.600	0.00	2.940	1.120	0.060							
44	El mármol	7.75	620.0	1.180	1.820	2.540	0.500	6.040	0.00	3.250	2.410	0.220	5.880	431.772	1.360	0.252		
				23.647	22.110	58.420	19.550	0.00	198.250	85.435	10.567							
				0.590	0.910	2.540	0.500	0.00	3.250	2.410	0.110							
45	La piedad	8.00	562.0	1.050	1.450	2.280	0.700	5.480	0.00	2.810	2.210	0.320	5.340	396.255	1.290	0.230		
				21.042	17.620	52.440	27.370	0.00	171.410	78.345	15.370							
				0.525	0.725	2.280	0.700	0.00	2.810	2.210	0.160							
46	Puente delgado	8.55	416.0	0.900	1.100	1.900	0.125	4.030	0.08	2.160	1.420	0.060	3.920	276.198	1.380	0.163		
				18.036	13.370	43.700	4.888	2.40	131.760	50.339	2.882							
				0.450	0.550	1.900	0.125	0.04	2.160	1.420	0.030							
47	Yerecuaro	8.10	608.0	1.080	1.600	2.790	0.480	5.950	0.00	3.800	1.830	0.180	5.810	443.508	1.190	0.252		
				21.643	19.440	64.170	18.768	0.00	231.800	64.874	8.645							
				0.540	0.800	2.790	0.480	0.00	3.800	1.830	0.090							
48	Concepción	7.70	807.0	2.200	2.000	3.090	0.580	7.870	0.00	4.200	3.200	0.260	7.660	562.225	1.360	0.325		
				44.088	24.300	71.070	22.678	0.00	256.200	113.440	12.488							
				1.100	1.000	3.090	0.580	0.00	4.200	3.200	0.130							

Continuación cuadro 17.

Muestra	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Suma	Carbonato	Bicarbonato	Cloruro	Sulfato	Suma	RSE	%	Presión			
			meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		(CO ₃)	(HCO ₃)	(Cl)	(SO ₄)					aniones	Error	Osmótica
			mS cm ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹					meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	mg L ⁻¹
49	Briseñas	7.40	745.0	1.600	1.800	3.210	0.680	7.290	0.00	4.260	2.600	0.280	7.140	536.985	1.040	0.308		
				32.064	21.870	73.830	26.588	0.00	259.860	92.170	13.448							
				0.800	0.900	3.210	0.680	0.00	4.260	2.600	0.140							
50	Laguna de Chápala	8.10	770.0	2.100	2.010	2.630	0.770	7.510	0.00	4.300	2.710	0.300	7.310	547.366	1.350	0.309		
				42.084	24.420	60.490	30.107	0.00	262.300	96.070	14.409							
				1.050	1.005	2.630	0.770	0.00	4.300	2.710	0.150							
51	Ocotlán río Zula	7.15	646.0	1.160	1.400	3.220	0.515	6.300	0.00	3.520	2.400	0.200	6.120	458.506	1.450	0.270		
				23.246	17.010	74.060	20.137	0.00	214.720	85.080	9.606							
				0.580	0.700	3.220	0.515	0.00	3.520	2.400	0.100							
52	Poncitlan	7.30	694.0	2.000	1.800	2.355	0.615	6.770	0.00	4.230	2.000	0.350	6.580	501.937	1.420	0.278		
				40.080	21.870	54.165	24.047	0.00	258.030	70.900	16.811							
				1.000	0.900	2.355	0.615	0.00	4.230	2.000	0.175							
53	Chápala Poncitlan	7.90	767.0	2.200	2.000	2.500	0.730	7.430	0.00	3.720	3.120	0.380	7.220	527.043	1.430	0.307		
				44.088	24.300	57.500	28.543	0.00	226.920	110.604	18.251							
				1.100	1.000	2.500	0.730	0.00	3.720	3.120	0.190							
54	La zapotera, laguna de Chápala	8.20	744.0	2.200	2.300	1.975	0.735	7.210	0.00	3.280	3.370	0.360	7.010	499.805	1.410	0.292		
				44.088	28.750	45.425	28.739	0.00	200.080	119.467	17.291							
				1.100	1.150	1.975	0.735	0.00	3.280	3.370	0.180							
55	Agua caliente, laguna de Chápala	8.00	436.0	0.640	0.840	2.366	0.460	4.306	0.00	3.000	1.080	0.080	4.160	331.143	1.770	0.188		
				12.826	10.210	54.414	17.986	0.00	183.000	38.286	3.842							
				0.320	0.420	2.366	0.460	0.00	3.000	1.080	0.040							
56	Mezcala, laguna de Chápala	8.20	752.0	2.000	2.400	2.275	0.675	7.350	0.00	3.600	3.180	0.380	7.160	514.992	1.310	0.298		
				40.080	29.160	52.325	26.393	0.00	219.600	112.731	18.251							
				1.000	1.200	2.275	0.675	0.00	3.600	3.180	0.190							

Continuación cuadro 17.

Muestra	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Suma	Carbonato	Bicarbonato	Cloruro	Sulfato	Suma	RSE	% Error	Presión Osmótica	
			meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		(CO ₃)	(HCO ₃)	(Cl)	(SO ₄)					aniones
			mS cm ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹		meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹					meq L ⁻¹
57	Mizmaloya, laguna de Chápala	8.50	770.0	1.910	2.400	2.460	0.740	7.510	0.08	3.820	2.950	0.520	7.290	535.015	1.490	0.304
				38.276	29.160	56.580	28.934	2.40	233.020	104.578	24.976					
				0.955	1.200	2.460	0.740	0.04	3.820	2.950	0.260					
58	Ibarra, Río Duero	7.60	397.0	1.000	1.700	0.840	0.340	3.880	0.02	2.180	1.500	0.120	3.800	274.605	1.040	0.154
				20.040	20.660	19.320	13.294	0.60	132.980	53.175	5.764					
				0.500	0.850	0.840	0.340	0.01	2.180	1.500	0.060					
Media		7.46	511.9	0.808	1.164	1.730	0.644	5.009	0.00	4.534	2.131	0.062	4.876	371.436	3.495	0.350
				16.195	14.554	39.791	25.173	0.00	276.586	75.543	2.982					
				0.404	0.582	1.730	0.644	0.00	4.534	2.131	0.031					
Mediana		7.40	614.0	1.100	1.570	3.575	0.740	5.995	0.00	4.230	2.700	0.270	5.845	437.640	10.320	0.421
				22.044	19.625	82.225	28.934	0.00	258.030	95.715	12.968					
				0.550	0.785	3.575	0.740	0.00	4.230	2.700	0.135					
Moda		7.50	277.0	0.400	0.900	4.655	0.480	2.700	0.00	3.800	2.600	0.040	3.320	0.000	1.310	0.708
				8.016	11.250	107.065	18.768	0.00	231.800	92.170	1.921					
				0.200	0.450	4.655	0.480	0.00	3.800	2.600	0.020					

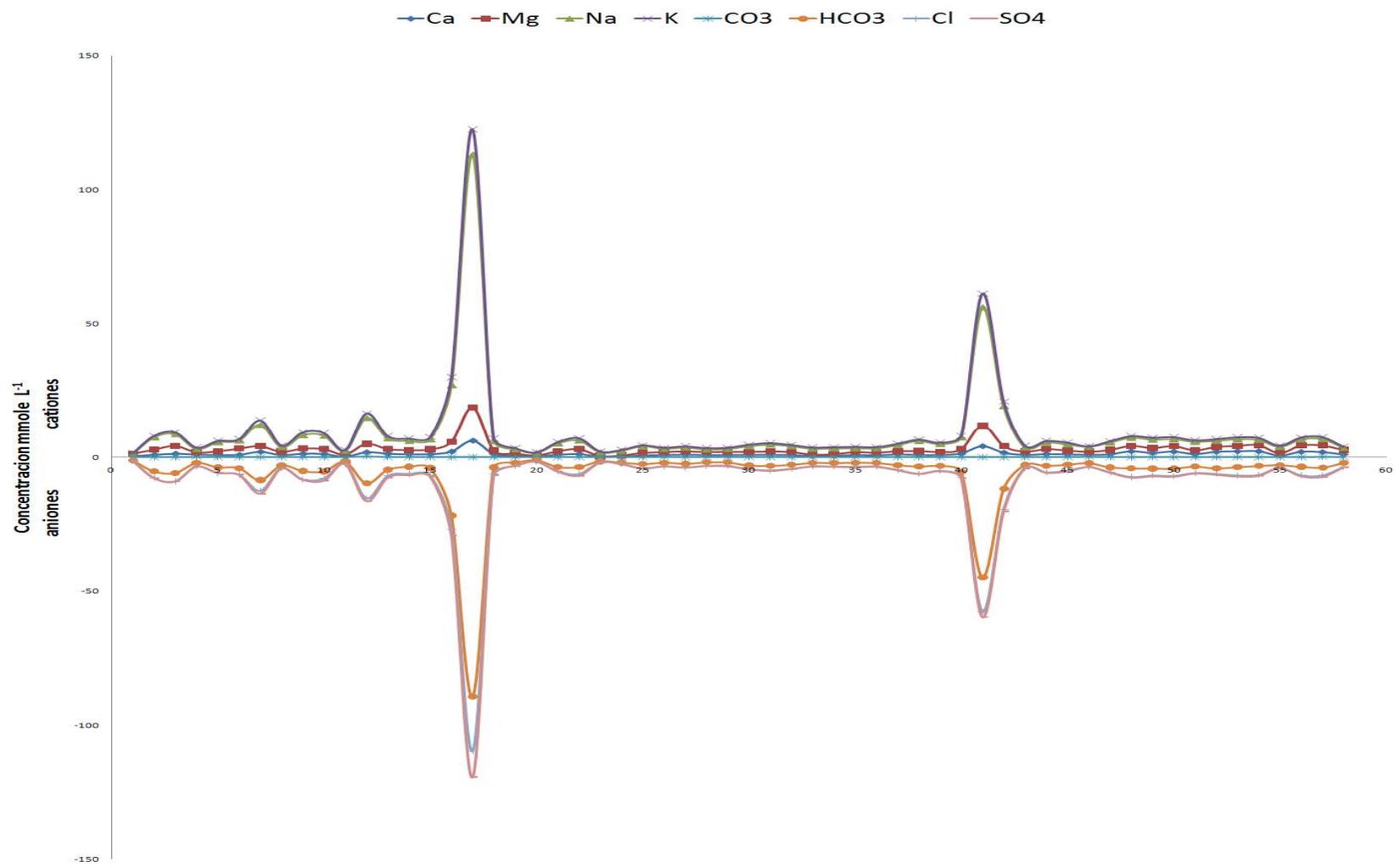


Figura 7, Composición iónica de las aguas de la cuenca Lerma – Chápala

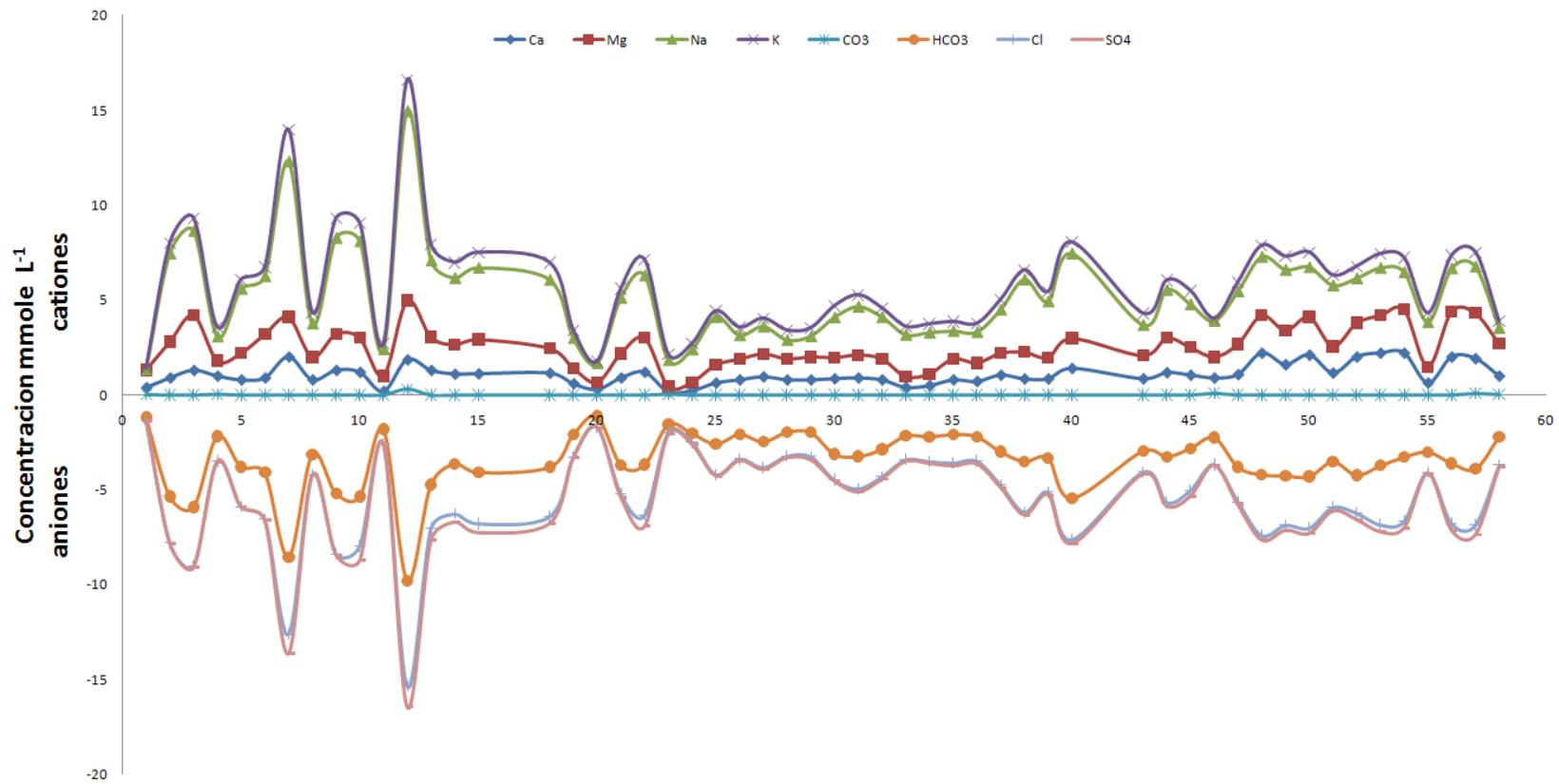


Figura 8, Composición iónica de las aguas de la cuenca Lerma – Chápala

6.2 CONCENTRACIÓN DE SALES EN LAS MUESTRAS DE AGUA

En la figura 9, se muestra la relación funcional que se establece entre la conductividad eléctrica y la concentración de sales disueltas, la concentración total de sales solubles en las aguas para uso agrícola, para fines de diagnóstico y clasificación se puede expresar en términos de conductividad eléctrica, esta relación siempre expresara una dependencia lineal, debido a que los iones de las sales solubles se disocian de manera equivalente, en este muestreo podemos observar que el coeficiente que determina los valores de dependencia es de $a=0.702$. Este valor corresponde a aguas bicarbonatadas sódicas.

En la figura 10, podemos observar con más claridad el comportamiento de la relación entre la conductividad eléctrica y la concentración total de sales, ya que en este muestreo se observaron 4 estaciones que muestran valores mas altos, las estaciones 16 y 17, correspondientes al municipio de Temascalcingo en el estado de México, y las estaciones 41 y 42 correspondientes a la refinería de Salamanca en el estado de Guanajuato. En el cuadro 18, se presenta la clasificación de cada una de las muestra de agua correspondientes a las 58 estaciones de muestreo.

Se puede observar que el 87.9 % de las estaciones de muestreo presentan agua bicarbonatada sódica, el 6.9 % de las muestras corresponde a aguas bicarbonatadas magnésicas, el 3.4 % a aguas bicarbonatadas magnésico-sódicas, y el 1.8 % corresponde a aguas bicarbonatadas sódico-magnésicas.

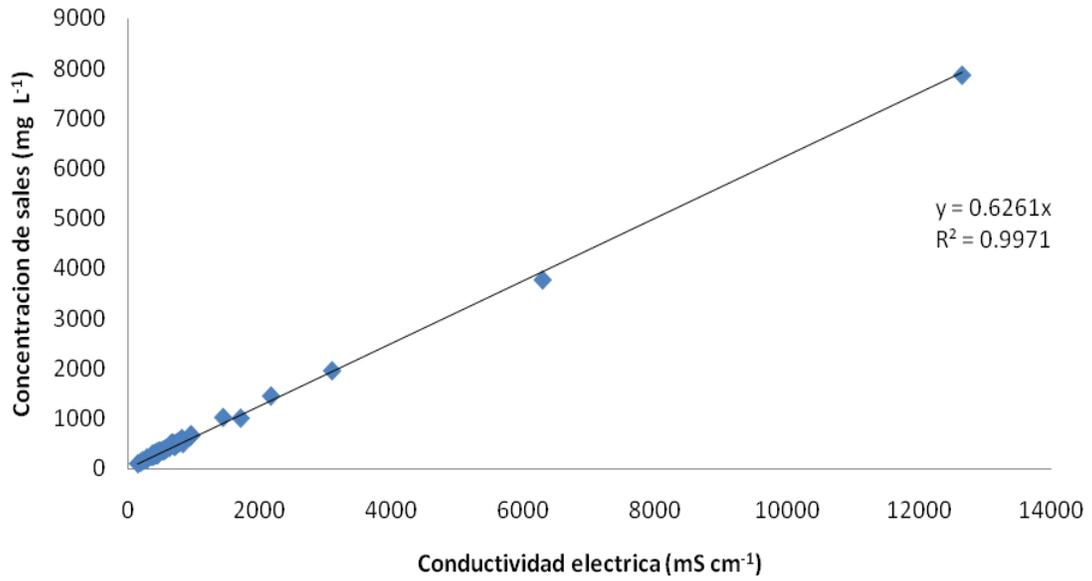


Figura 9, Relación entre conductividad eléctrica (mS cm⁻¹) y la concentración total de sales (mg L⁻¹) de la cuenca Lerma - Chápala

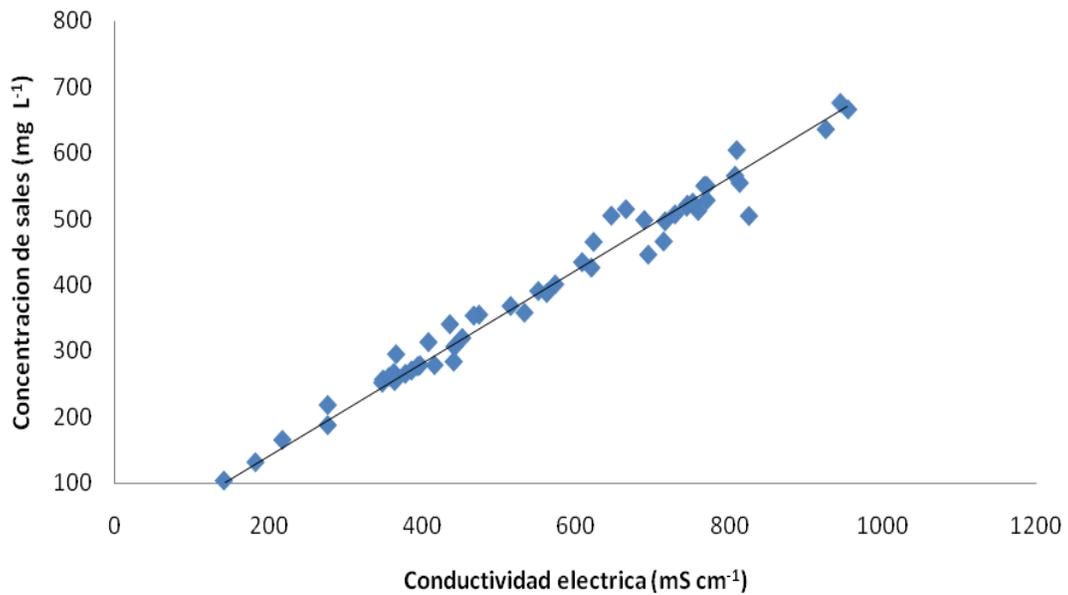


Figura 10, Relación entre conductividad eléctrica (mS cm⁻¹) y la concentración total de sales (mg L⁻¹) de la cuenca Lerma - Chápala

Cuadro 18, Clasificación de las aguas del muestreo de la cuenca Lerma – Chápala

Muestra	Lugar	Catión	Anión	Clasificación
		Dominante	Dominante	
1	Valle el mirador	Tipo de magnesio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Magnésica
2	Pozo Tlazala 39a	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
3	Río Lerma Hacienda	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
4	Lagunas de Almoloya	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
5	Ocoyoacac	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
6	Río Lerma	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
7	Las torres Lerma	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
8	Ixtlahuaca bordo	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
9	Ixtlahuaca río	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
10	Almoloya presa RELP/Álzate	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
11	Carretera libre inicia presa Álzate	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
12	Ixtlahuaca río Lerma	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
13	Puente Atlacomulco	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
14	Andaro	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
15	Presa Juanacatlan	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
16	Temazcalzingo dren el borbollón	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
17	Pese-ndeje, el borbollón	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
18	El tejocote pozo	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
19	El tejocote manantial	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
20	Temazcal manantial	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
21	Tuxtepec presa	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
22	Presa Tuxtepec	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
23	El juguete presa	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
24	El juguete nacimiento	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
25	Puente la marimba	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
26	Presa Solís	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
27	Presa Solís nacimiento	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
28	Solís cortina	Mixta: Magnesico-sódica	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Magnésico-sódica
29	Entrada a los ángeles	Mixta: Magnesico-sódica	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Magnésico-sódica
30	Entrada a los ángeles pozo	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
31	Entrada a los ángeles, pozo 2	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
32	Entrada a los ángeles dren	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
33	Inchamacuaro	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
34	Salvatierra	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
35	El capulín	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
36	Santiago Capitiro	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
37	Jaral del progreso	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
38	Pitayo	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
39	Rancho pitayo	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
40	Salamanca junto a refinería	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica

Cuadro 18, Continuación.

Muestra	Lugar	Catión	Anión	Clasificación
		Dominante	Dominante	
41	Salamanca junto a refinería, dren	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
42	Salamanca río Lerma salida	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
43	Pueblo nuevo	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
44	El mármol	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
45	La piedad	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
46	Puente delgado	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
47	Yerecuaro	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
48	Concepción	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
49	Briseñas	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
50	Laguna de Chápala	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
51	Ocotlán río Zula	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
52	Poncitlan	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
53	Chápala Poncitlan	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
54	La zapotera, laguna de Chápala	Tipo de magnesio	Mixta: Clorurada-bicarbonatada	Clorurada-bicarbonatada Magnésica
55	Agua caliente, laguna de Chápala	Tipo de sodio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica
56	Mezcala, laguna de Chápala	Tipo de magnesio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Magnésica
57	Mizmaloya, laguna de Chápala	Mixta: Sódico-magnésica	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Sódica-magnésica
58	Ibarra, Río Duero	Tipo de magnesio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatada Magnésica

6.3 CONCENTRACIÓN DE CATIONES EN LAS MUESTRAS DE AGUA (mmol_c L⁻¹)

Para verificar que los datos analíticos sean correctos, Los laboratorios de salinidad de los Estados Unidos de América, recomienda que el número del cociente que resulta de dividir la conductividad eléctrica en mS cm⁻¹ entre el total de cationes en miliequivalentes por litro, deba ser aproximadamente 10.0. El coeficiente (a) tiene variaciones para soluciones acuosas muy salinas, en este muestreo el valor de a es de 9.8901. En la figura 11, se muestra la dependencia concentración de cationes, y conductividad eléctrica.

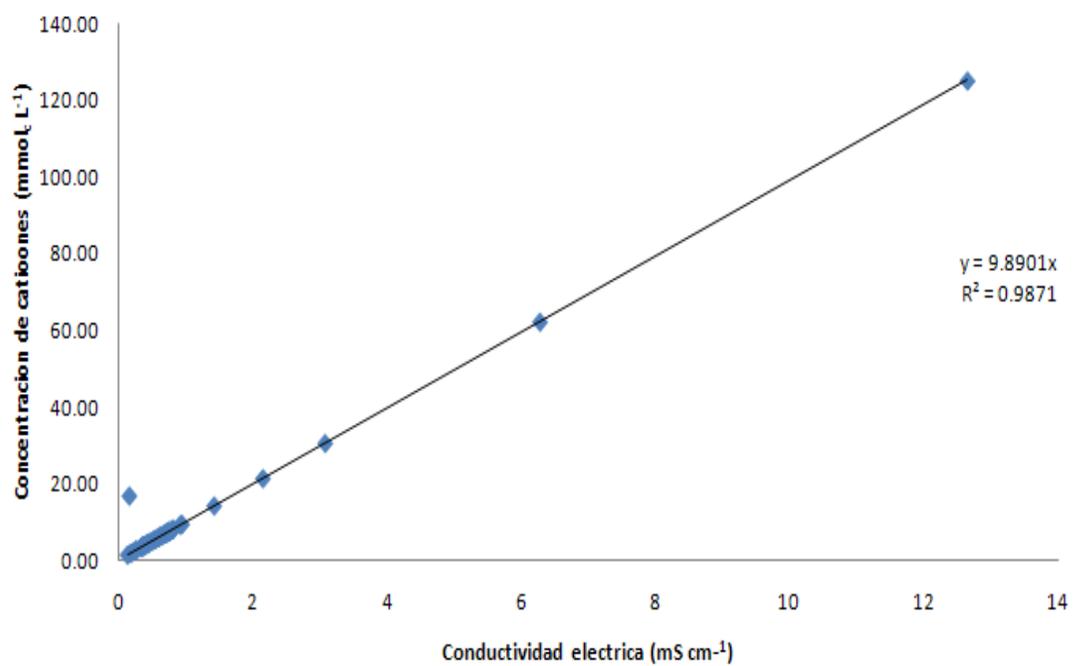


Figura 11, Relación entre conductividad eléctrica (mS cm⁻¹) y la concentración de cationes (mmol_c L⁻¹) de la cuenca Lerma - Chápala

6.4 CONCENTRACIÓN DE ANIONES EN LAS MUESTRAS DE AGUA (mmol_c L⁻¹)

En la figura 12, se muestra la dependencia de la concentración de aniones y la conductividad eléctrica. El valor del coeficiente (a) que presenta esta relación funcional para este muestreo es de $a = 9.462$. El laboratorio de salinidad de los Estados Unidos de América establece que para el caso de determinaciones analíticas en soluciones acuosas, el valor del coeficiente de esta relación funcional concentración de cationes o de aniones, con la conductividad eléctrica es de $a = 9-11$. El valor de a depende de los tipos de sales solubles en soluciones acuosas.

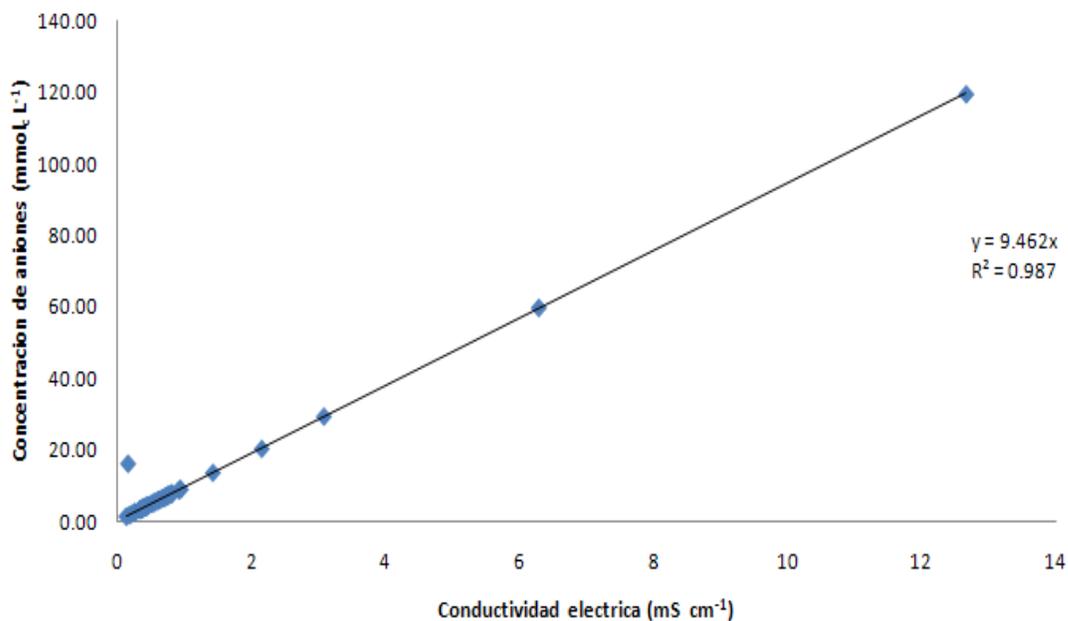


Figura 12, Relación entre conductividad eléctrica (mS cm⁻¹) y la concentración de aniones (mmol_c L⁻¹) de la cuenca Lerma - Chápala

6.5 DEPENDENCIA DE LA PRESIÓN OSMÓTICA CON RESPECTO A LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En la figura 13, se presenta la relación presión osmótica y conductividad eléctrica, la presión osmótica, es una relación muy útil en las prácticas agrícolas. Con respecto al efecto de las sales en el agua de riego, se sabe que una mayor concentración de sales genera una mayor presión osmótica que al ser aplicada al suelo puede variar sus niveles de concentración de la solución del suelo.

Los valores del muestreo se pueden observar en el cuadro 19 que el valor mas alto es el correspondiente a la muestra 17, en la estación Pese-ndeje el borbollón, en el estado de México, el valor mínimo corresponde a la estación 1, en la estación Valle del mirador, en el estado de México.

Cuadro 19, Presión osmótica y clasificación de salinidad de las muestras de agua de la cuenca Lerma – Chápala.

Muestra		Presión osmótica		Presión osmótica	
		P=Rnt/v	Salinidad	PO=0.36*CE	Salinidad
		atm		atm	
1	Valle el mirador	0.0514	Baja	0.0511	Baja
2	Pozo Tlazala 39a	0.3523	Moderada	0.2912	Moderada
3	Río Lerma Hacienda	0.3856	Moderada	0.3398	Moderada
4	Lagunas de Almoloya	0.1503	Moderada	0.1318	Moderada
5	Ocoyoacac	0.2657	Moderada	0.2243	Moderada
6	Río Lerma	0.2848	Moderada	0.2480	Moderada
7	Las torres Lerma	0.6126	Alta	0.5162	Moderada
8	Ixtlahuaca bordo	0.1857	Moderada	0.1591	Moderada
9	Ixtlahuaca río	0.4005	Moderada	0.3434	Moderada
10	Almoloya presa RELP/Álzate	0.3888	Moderada	0.3330	Moderada
11	Carretera libre inicia presa Álzate	0.1174	Moderada	0.0997	Baja
12	Ixtlahuaca río Lerma	0.7299	Alta	0.6124	Alta
13	Puente Atlacomulco	0.3365	Moderada	0.2927	Moderada
14	Andaro	0.2973	Moderada	0.2578	Moderada
15	Presa Juanacatlan	0.3200	Moderada	0.2732	Moderada
16	Temazcalzingo dren el borbollón	1.3542	Alta	1.1113	Alta
17	Pese-ndeje, el borbollón	5.5694	Alta	4.5540	Alta
18	El tejocote pozo	0.3015	Moderada	0.2570	Moderada
19	El tejocote manantial	0.1470	Moderada	0.1256	Moderada
20	Temazcal manantial	0.0772	Baja	0.0659	Baja
21	Tuxtepec presa	0.2402	Moderada	0.2063	Moderada
22	Presa Tuxtepec	0.2995	Moderada	0.2624	Moderada
23	El juguete presa	0.0957	Baja	0.0785	Baja
24	El juguete nacimiento	0.1206	Moderada	0.0997	Moderada
25	Puente la marimba	0.1921	Moderada	0.1627	Moderada
26	Presa Solís	0.1475	Moderada	0.1307	Moderada
27	Presa Solís nacimiento	0.1620	Moderada	0.1469	Moderada
28	Solís cortina	0.1399	Moderada	0.1253	Moderada
29	Entrada a los ángeles	0.1436	Moderada	0.1285	Moderada
30	Entrada a los ángeles pozo	0.2020	Moderada	0.1706	Moderada
31	Entrada a los ángeles, pozo 2	0.2261	Moderada	0.1919	Moderada
32	Entrada a los ángeles dren	0.1957	Moderada	0.1681	Moderada
33	Inchamacuaro	0.1449	Moderada	0.1310	Moderada
34	Salvatierra	0.1651	Moderada	0.1361	Moderada
35	El capulín	0.1607	Moderada	0.1418	Moderada
36	Santiago Capitiro	0.1588	Moderada	0.1390	Moderada
37	Jaral del progreso	0.2141	Moderada	0.1854	Moderada
38	Pitayo	0.2861	Moderada	0.2394	Moderada
39	Rancho pitayo	0.2362	Moderada	0.1984	Moderada
40	Salamanca junto a refinería	0.3494	Moderada	0.2970	Moderada

Cuadro 19, Continuación.

Muestra		Presión osmótica		Presión osmótica	
		P=Rnt/v	Salinidad	PO=0.36*CE	Salinidad
		atm		atm	
41	Salamanca junto a refinería, dren	2.7890	Alta	2.2626	Alta
42	Salamanca río Lerma salida	0.9505	Moderada	0.7780	Moderada
43	Pueblo nuevo	0.1804	Moderada	0.1588	Moderada
44	El mármol	0.2522	Moderada	0.2232	Moderada
45	La piedad	0.2302	Moderada	0.2023	Moderada
46	Puente delgado	0.1633	Moderada	0.1498	Moderada
47	Yerecuaro	0.2520	Moderada	0.2189	Moderada
48	Concepción	0.3254	Moderada	0.2905	Moderada
49	Briseñas	0.3080	Moderada	0.2682	Moderada
50	Laguna de Chápala	0.3086	Moderada	0.2772	Moderada
51	Ocotlán río Zula	0.2700	Moderada	0.2326	Moderada
52	Poncitlan	0.2780	Moderada	0.2498	Moderada
53	Chápala Poncitlan	0.3070	Moderada	0.2761	Moderada
54	La zapotera, laguna de Chápala	0.2920	Moderada	0.2678	Moderada
55	Agua caliente, laguna de Chápala	0.1880	Moderada	0.1570	Moderada
56	Mezcala, laguna de Chápala	0.2985	Moderada	0.2707	Moderada
57	Mizmaloya, laguna de Chápala	0.3041	Moderada	0.2772	Moderada
58	Ibarra, Río Duero	0.1544	Moderada	0.1429	Moderada

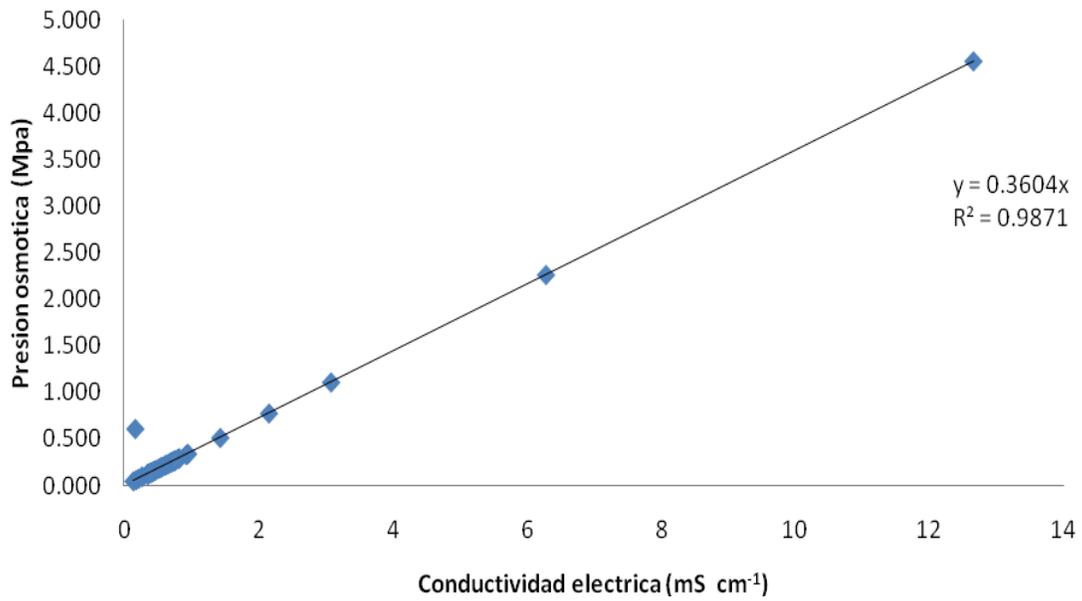


Figura 13, Relación entre la conductividad eléctrica (mS cm⁻¹) y la presión osmótica (Mpa) de la cuenca Lerma - Chápala

6.6 ÍNDICE DE SALINIDAD

La concentración total de sales solubles en las aguas de riego, para fines de diagnóstico y clasificación, se pueden expresar en términos de conductividad eléctrica. Para una clasificación rápida se recurre al diagrama de Richard, este diagrama se basa en la conductividad eléctrica y en la relación de adsorción de sodio.

Para tener en cuenta las variaciones entre cada valor calculado de la relación de adsorción de sodio (RAS) graficado contra la conductividad eléctrica; se grafican los tres valores de la RAS (RAS, RAS_{aj}, RAS°).

En la figura 15, se presenta como se distribuyen en diferentes grupos de peligrosidad del ion sodio, de acuerdo con su concentración, en el cuadro 20, correspondiente al muestreo, se observa la clasificación de las aguas en base a su salinidad y sodicidad, tenemos que las aguas de buena calidad y aptas para riego son las siguientes; C1-S2, C1-S1, C2-S1, con el siguiente grupo se deben de utilizar ciertas precauciones si se desea utilizarlas para riego; C1-S4, C1-S3, C2-S2, C2-S3, C2-S4, C3-S1, C3-S2, C3-S3, C3-S4, C4-S1, C4-S2, el ultimo grupo C4-S4, no es recomendable para riego.

En la figura 14, se observa la distribución los grupos de peligrosidad.

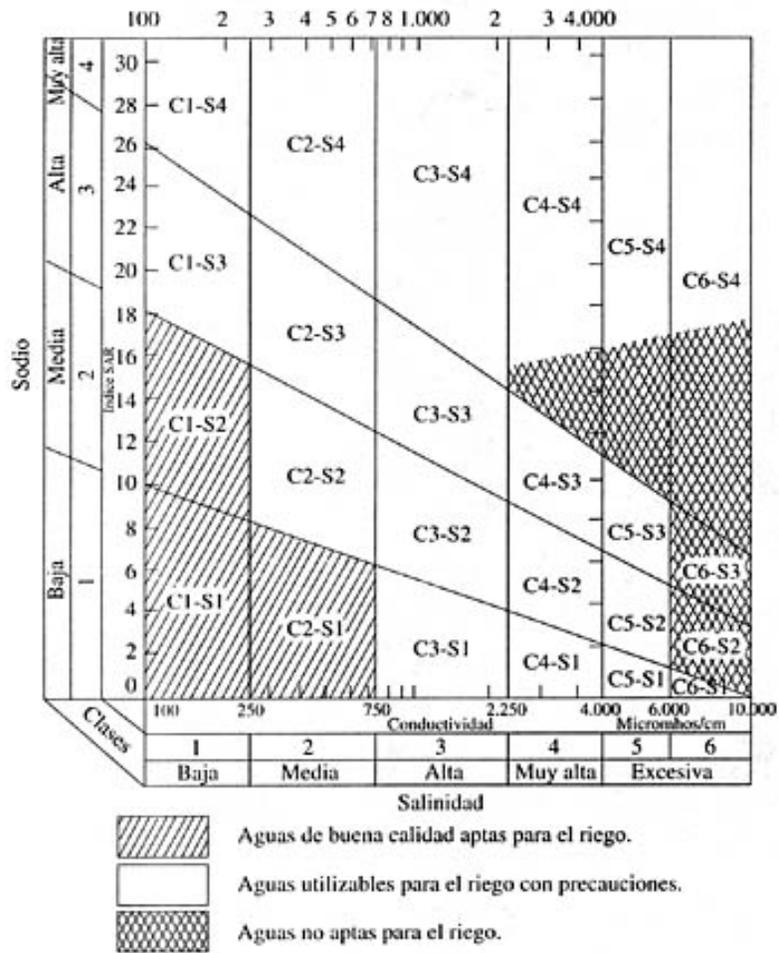


Figura 14, Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.(U.S. Soil Salinity Laboratory). Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA,1973)

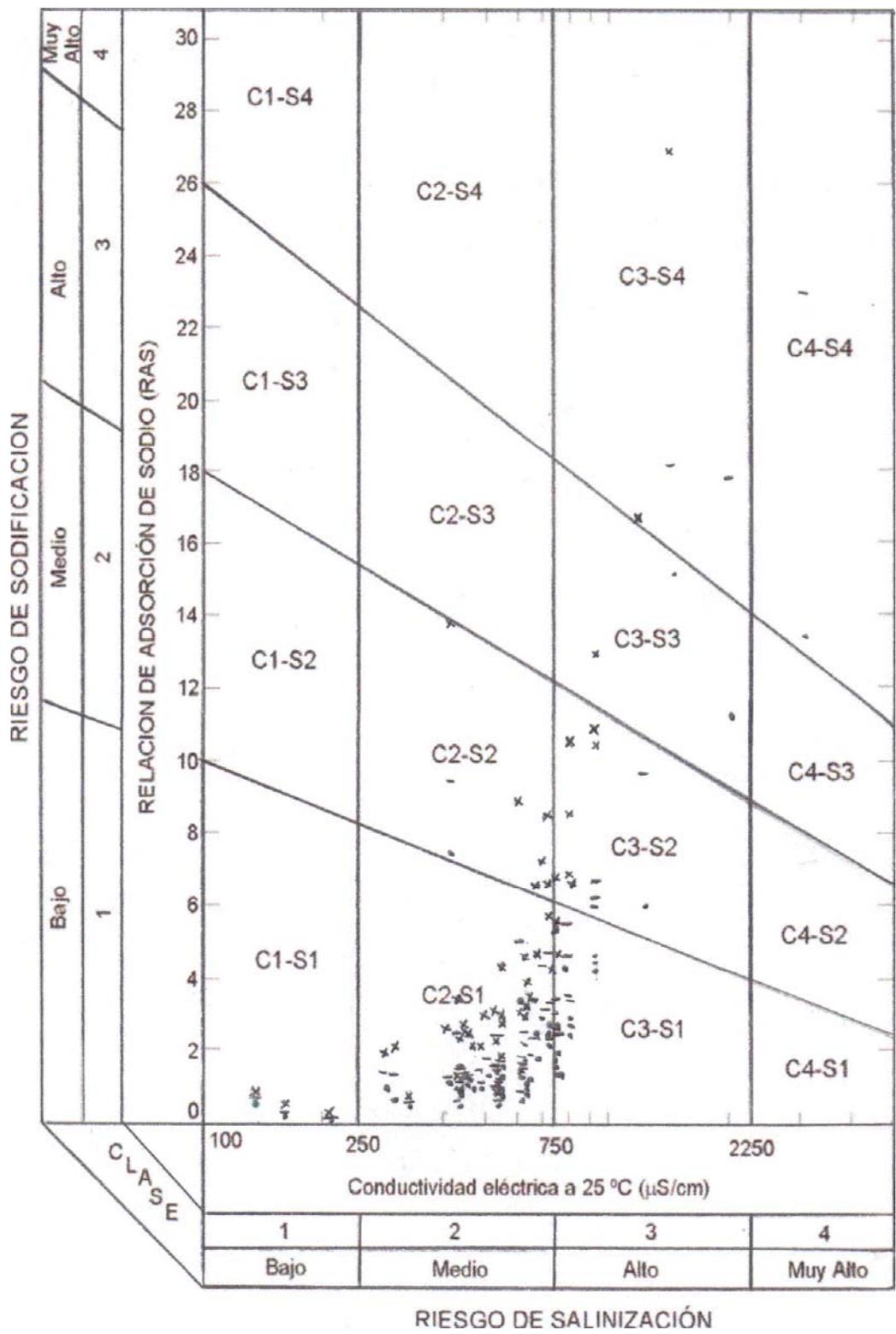


Figura 15, Diagrama de clasificación de aguas para riego de la cuenca Lerma – Chápala.

Cuadro 20, Clasificación de las aguas para riego de acuerdo a su salinidad y sodicidad.

Muestra	RAS	RASaj	RAS°
1	C1-S1	C1-S1	C1-S1
2	C3-S1	C3-S2	C3-S1
3	C3-S1	C3-S3	C3-S2
4	C2-S1	C2-S1	C2-S1
5	C2-S1	C2-S2	C2-S1
6	C2-S1	C2-S2	C2-S1
7	C3-S2	C3-S4	C3-S2
8	C2-S1	C2-S1	C2-S1
9	C3-S1	C3-S2	C3-S2
10	C3-S1	C3-S2	C3-S2
11	C2-S1	C2-S1	C2-S1
12	C3-S3	C3-S4	C3-S4
13	C3-S1	C3-S2	C3-S1
14	C2-S1	C2-S2	C2-S1
15	C3-S1	C3-S2	C3-S1
16	C4-S4	C4-S4	C4-S4
17	C4-S4	C4-S4	C4-S4
18	C2-S1	C2-S2	C2-S1
19	C2-S1	C2-S1	C2-S1
20	C1-S1	C1-S1	C1-S1
21	C2-S1	C2-S1	C2-S1
22	C2-S1	C2-S2	C2-S1
23	C1-S1	C1-S1	C1-S1
24	C2-S1	C2-S1	C2-S1
25	C2-S1	C2-S1	C2-S1
26	C2-S1	C2-S1	C2-S1
27	C2-S1	C2-S1	C2-S1
28	C2-S1	C2-S1	C2-S1
29	C2-S1	C2-S1	C2-S1
30	C2-S1	C2-S1	C2-S1
31	C2-S1	C2-S1	C2-S1
32	C2-S1	C2-S1	C2-S1
33	C2-S1	C2-S1	C2-S1
34	C2-S1	C2-S1	C2-S1
35	C2-S1	C2-S1	C2-S1
36	C2-S1	C2-S1	C2-S1
37	C2-S1	C2-S1	C2-S1
38	C2-S1	C2-S1	C2-S1
39	C2-S1	C2-S1	C2-S1
40	C3-S1	C3-S1	C3-S1

Cuadro 20, Continuación.

Muestra	RAS	RASaj	RAS°
41	C4-S4	C4-S4	C4-S4
42	C3-S3	C4-S4	C3-S4
43	C2-S1	C2-S1	C2-S1
44	C2-S1	C2-S1	C2-S1
45	C2-S1	C2-S1	C2-S1
46	C2-S1	C2-S1	C2-S1
47	C2-S1	C2-S1	C2-S1
48	C3-S1	C3-S2	C3-S1
49	C2-S1	C2-S1	C2-S1
50	C3-S1	C3-S1	C3-S1
51	C2-S1	C2-S1	C2-S1
52	C2-S1	C2-S1	C2-S1
53	C3-S1	C3-S1	C3-S1
54	C2-S1	C2-S1	C2-S1
55	C2-S2	C2-S2	C2-S2
56	C3-S1	C3-S1	C3-S1
57	C3-S1	C3-S1	C3-S1
58	C3-S1	C2-S1	C2-S1

La sodicidad de los suelos aumenta la dispersión y pérdida de estructura de la superficie de los suelos, por lo que se manifiesta en la disminución de la permeabilidad de los suelos y el aumento de encostramiento. De esta forma se hace presente la pérdida de infiltración hacia la zona radicular, reduciendo considerablemente las plantas por unidad de área.

Como se puede observar en la figura 16, en la mayoría de nuestras estaciones de muestreo se presenta una reducción ligera a moderada, en el cuadro 21 se puede observar más a detalle la clasificación.

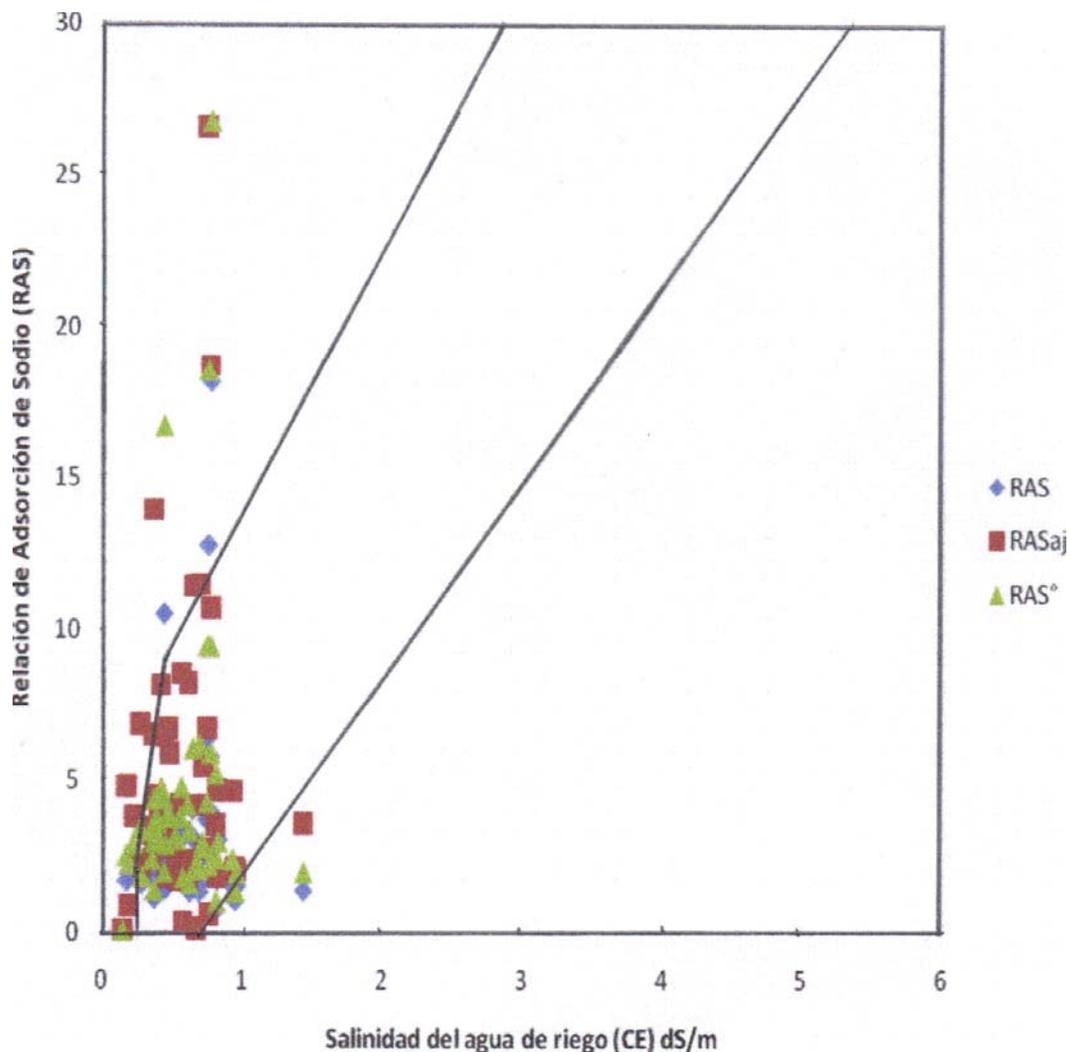


Figura 16, Reducción relativa de la infiltración causada por la salinidad y la relación de adsorción de sodio, de las aguas de la cuenca Lerma – Chápala.

Cuadro 21, Continuación.

Muestra	RAS	RASaj	RAS°
41	Reducción severa	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
42	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
43	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
44	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
45	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
46	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
47	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
48	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
49	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
50	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
51	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
52	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
53	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
54	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
55	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
56	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
57	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
58	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada

6.7 ÍNDICES DE CLASIFICACIÓN

Es prioritario, en los estudios para conocer la calidad del agua con fines agrícolas, observar como dependiendo de la variada composición química del agua esta afecta de manera distinta las propiedades físicas de los suelos.

Uno de los procedimientos para determinar los posibles problemas de infiltración, el método de carbonato de sodio residual (CSR), de la misma forma se propone el índice de salinidad efectiva (SE) y el de salinidad potencial (SP), de esta forma se puede observar el peligro que representan las sales solubles en el agua de riego, las sales menos solubles precipitan en el suelo y es más notorio el proceso cuando las aguas de riego tienen alto contenido de carbonatos y bicarbonatos.

En el cuadro 22, se presentan los valores de los distintos índices de salinidad; salinidad potencial, salinidad efectiva y carbonato de sodio residual, con respecto a la salinidad potencial, el 77.58 % de las estaciones de muestreo presentaron una buena calidad, mientras que el 20 % de las muestras de agua son condicionadas y el .42 % de las muestras no son recomendables, para la salinidad efectiva el 50 % de muestras de agua son de buena calidad, el 43.10 % de las muestras de agua son condicionadas y el 6.9 % no son recomendables, de igual forma podemos observar que para el carbonato de sodio residual, el 68.96 % de las muestras presentan una buena calidad, el 18.96 % de las estaciones presentan una calidad condicionada y el 12.08 % no son recomendables.

Cuadro 22, Valores de índices de salinidad, de las aguas de la cuenca Lerma – Chápala

Muestra	SP	CLASIFICACIÓN	SE	CLASIFICACIÓN	CSR	CLASIFICACIÓN	
1	Valle el mirador	0.18	Buena	0.10	Buena	-0.12	Buena
2	Pozo Tlazala 39a	2.46	Buena	5.19	Condicionada	2.55	No recomendable
3	Río Lerma Hacienda	3.13	Condicionada	5.12	Condicionada	1.71	Condicionada
4	Lagunas de Almoloya	1.33	Buena	1.77	Buena	0.37	Buena
5	Ocoyoacac	2.10	Buena	3.87	Condicionada	1.60	Condicionada
6	Río Lerma	2.49	Buena	3.52	Condicionada	0.89	Buena
7	Las torres Lerma	4.55	Condicionada	9.88	Condicionada	4.46	No recomendable
8	Ixtlahuaca bordo	1.10	Buena	2.36	Buena	1.13	Buena
9	Ixtlahuaca río	3.22	Condicionada	6.10	Condicionada	1.98	Condicionada
10	Almoloya presa RELP/Álzate	2.98	Buena	6.05	Condicionada	2.36	Condicionada
11	Carretera libre inicia presa Álzate	0.80	Buena	1.70	Buena	0.80	Buena
12	Ixtlahuaca río Lerma	6.11	Condicionada	11.61	Condicionada	4.81	No recomendable
13	Puente Atlacomulco	2.62	Buena	4.88	Condicionada	1.68	Condicionada
14	Andaro	2.87	Buena	4.33	Condicionada	0.97	Buena
15	Presa Juanacatlan	2.94	Buena	4.58	Condicionada	1.16	Buena
16	Temazcalzingo dren el borbollón	6.28	Condicionada	24.39	No recomendable	16.13	No recomendable
17	Pese-ndeje, el borbollón	25.12	No recomendable	103.78	No recomendable	70.70	No recomendable
18	El tejocote pozo	2.79	Buena	4.51	Condicionada	1.35	Condicionada
19	El tejocote manantial	1.22	Buena	2.01	Buena	0.68	Buena
20	Temazcal manantial	0.59	Buena	1.12	Buena	0.47	Buena
21	Tuxtepec presa	1.62	Buena	3.42	Condicionada	1.51	Condicionada
22	Presa Tuxtepec	2.95	Buena	4.11	Condicionada	0.68	Buena
23	El juguete presa	0.47	Buena	1.69	Buena	1.11	Buena
24	El juguete nacimiento	0.53	Buena	2.04	Buena	1.37	Condicionada
25	Puente la marimba	1.65	Buena	2.83	Buena	1.00	Buena
26	Presa Solís	1.35	Buena	1.67	Buena	0.19	Buena
27	Presa Solís nacimiento	1.42	Buena	1.87	Buena	0.30	Buena
28	Solís cortina	1.31	Buena	1.50	Buena	0.06	Buena
29	Entrada a los ángeles	1.38	Buena	1.52	Buena	-0.03	Buena
30	Entrada a los ángeles pozo	1.40	Buena	2.71	Buena	1.15	Buena
31	Entrada a los ángeles, pozo 2	1.79	Buena	3.16	Condicionada	1.14	Buena
32	Entrada a los ángeles dren	1.52	Buena	2.67	Buena	0.96	Buena
33	Inchamacuaro	1.30	Buena	2.64	Buena	1.20	Buena
34	Salvatierra	1.38	Buena	2.63	Buena	1.09	Buena
35	El capulín	1.59	Buena	1.95	Buena	0.18	Buena
36	Santiago Capitiro	1.38	Buena	2.08	Buena	0.51	Buena
37	Jaral del progreso	1.83	Buena	2.82	Buena	0.79	Buena
38	Pitayo	2.75	Buena	4.32	Condicionada	1.25	Buena
39	Rancho pitayo	1.88	Buena	3.47	Condicionada	1.35	Condicionada
40	Salamanca junto a refinería	2.29	Buena	5.06	Condicionada	2.46	Condicionada

Cuadro 22, Continuación.

Muestra	SP	CLASIFICACIÓN	SE	CLASIFICACIÓN	CSR	CLASIFICACIÓN	
41	Salamanca junto a refinería, dren	13.78	Condicionada	49.35	No recomendable	32.99	No recomendable
42	Salamanca río Lerma salida	8.03	Condicionada	16.87	No recomendable	7.65	No recomendable
43	Pueblo nuevo	1.18	Buena	2.22	Buena	0.87	Buena
44	El mármol	2.52	Buena	3.04	Buena	0.25	Buena
45	La piedad	2.37	Buena	2.98	Buena	0.31	Buena
46	Puente delgado	1.45	Buena	2.03	Buena	0.24	Buena
47	Yerecuaro	1.92	Buena	3.27	Condicionada	1.12	Buena
48	Concepción	3.33	Condicionada	3.67	Condicionada	0.00	Buena
49	Briseñas	2.74	Buena	3.89	Condicionada	0.86	Buena
50	Laguna de Chápala	2.86	Buena	3.40	Condicionada	0.19	Buena
51	Ocotlán río Zula	2.50	Buena	3.74	Condicionada	0.96	Buena
52	Poncitlan	2.18	Buena	2.97	Buena	0.43	Buena
53	Chápala Poncitlan	3.31	Condicionada	3.23	Condicionada	-0.48	Buena
54	La zapotera, laguna de Chápala	3.55	Condicionada	2.71	Buena	-1.22	Buena
55	Agua caliente, laguna de Chápala	1.12	Buena	2.83	Buena	1.52	Condicionada
56	Mezcala, laguna de Chápala	3.37	Condicionada	2.95	Buena	-0.80	Buena
57	Mizmaloya, laguna de Chápala	3.21	Condicionada	3.20	Condicionada	-0.41	Buena
58	Ibarra, Río Duero	1.56	Buena	1.18	Buena	-0.50	Buena

6.8 DISTRIBUCIÓN DE FOSFATOS

En las directrices para determinar la calidad del agua para uso agrícola (Ayers y Westcot, 1987). Señalan que el contenido de fósforo en las aguas de riego normales es de 0.0 – 2.0 mg L⁻¹.

El fósforo se encuentra en suelos y aguas en forma orgánica e inorgánica. La concentración de forma inorgánica gobierna la disponibilidad de este elemento en las plantas.

En la figura 17, se observa el comportamiento de este elemento a lo largo del río Lerma.

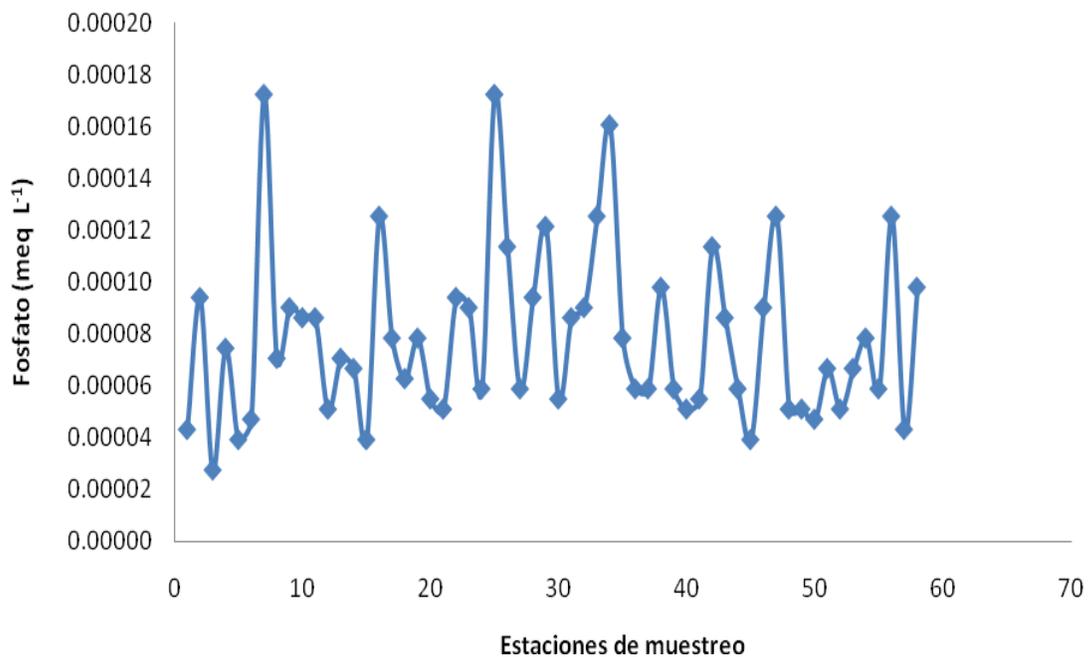


Figura 17, Distribución del contenido de Fosforo en las aguas de la cuenca Lerma - Chápala

6.9 DISTRIBUCIÓN DE NITRATOS

El agua de riego es una fuente importante de nutrientes, en especial a lo referente a nitratos, desafortunadamente en la actualidad las aguas par uso agrícola tienen altos contenidos de nitratos, en el cuadro 23, podemos observar los contenidos permisibles de nitratos, (Compo), y en el cuadro 24, observamos los contenidos nitratos en las aguas de la cuenca Lerma - Chápala.

Cuadro 23, Contenido permisible de nitrato, en aguas para uso agrícola.

Contenido de Nitrato en mqe L ⁻¹ .			
bajo	Moderado	Alto	Muy alto
< 0.15	0.15 - 0.8	0.8 - 1.6	> 1.6

Cuadro 24, Contenido de nitrato, en aguas de la cuenca Lerma – Chápala

Muestra		Nitrato	Clasificación
1	Valle el mirador	0.00255	Bajo
2	Pozo Tlazala 39a	0.00526	Bajo
3	Río Lerma Hacienda	0.01509	Bajo
4	Lagunas de Almoloya	0.00489	Bajo
5	Ocoyoacac	0.01064	Bajo
6	Río Lerma	0.02292	Bajo
7	Las torres Lerma	0.01881	Bajo
8	Ixtlahuaca bordo	0.00136	Bajo
9	Ixtlahuaca río	0.01110	Bajo
10	Almoloya presa RELP/Álzate	0.01509	Bajo
11	Carretera libre inicia presa Álzate	0.00151	Bajo
12	Ixtlahuaca río Lerma	0.00169	Bajo
13	Puente Atlacomulco	0.00886	Bajo
14	Andaro	0.01170	Bajo
15	Presa Juanacatlan	0.01204	Bajo
16	Temazcalzingo dren el borbollón	0.00567	Bajo
17	Pese-ndeje, el borbollón	0.00200	Bajo
18	El tejocote pozo	0.00020	Bajo
19	El tejocote manantial	0.00026	Bajo
20	Temazcal manantial	0.00077	Bajo
21	Tuxtepec presa	0.00505	Bajo
22	Presa Tuxtepec	0.01090	Bajo
23	El juguete presa	0.00178	Bajo
24	El juguete nacimiento	0.00079	Bajo
25	Puente la marimba	0.00371	Bajo
26	Presa Solís	0.00138	Bajo
27	Presa Solís nacimiento	0.00131	Bajo
28	Solís cortina	0.00172	Bajo
29	Entrada a los ángeles	0.00192	Bajo
30	Entrada a los ángeles pozo	0.00215	Bajo
31	Entrada a los ángeles, pozo 2	0.00287	Bajo
32	Entrada a los ángeles dren	0.00174	Bajo
33	Inchamacuaro	0.00300	Bajo
34	Salvatierra	0.00300	Bajo
35	El capulín	0.00215	Bajo
36	Santiago Capitiro	0.00405	Bajo
37	Jaral del progreso	0.00292	Bajo
38	Pitayo	0.00343	Bajo
39	Rancho pitayo	0.00876	Bajo
40	Salamanca junto a refinería	0.01170	Bajo

Cuadro 24, Continuación

Muestra		Nitrato	Clasificación
41	Salamanca junto a refinería, dren	0.01069	Bajo
42	Salamanca río Lerma salida	0.00620	Bajo
43	Pueblo nuevo	0.00598	Bajo
44	El mármol	0.00740	Bajo
45	La piedad	0.00698	Bajo
46	Puente delgado	0.00638	Bajo
47	Yerecuaro	0.00522	Bajo
48	Concepción	0.00734	Bajo
49	Briseñas	0.00820	Bajo
50	Laguna de Chápala	0.00798	Bajo
51	Ocotlán río Zula	0.00934	Bajo
52	Poncitlan	0.00808	Bajo
53	Chápala Poncitlan	0.00684	Bajo
54	La zapotera, laguna de Chápala	0.00688	Bajo
55	Agua caliente, laguna de Chápala	0.00731	Bajo
56	Mezcala, laguna de Chápala	0.00724	Bajo
57	Mizmaloya, laguna de Chápala	0.00689	Bajo
58	Ibarra, Río Duero	0.00674	Bajo

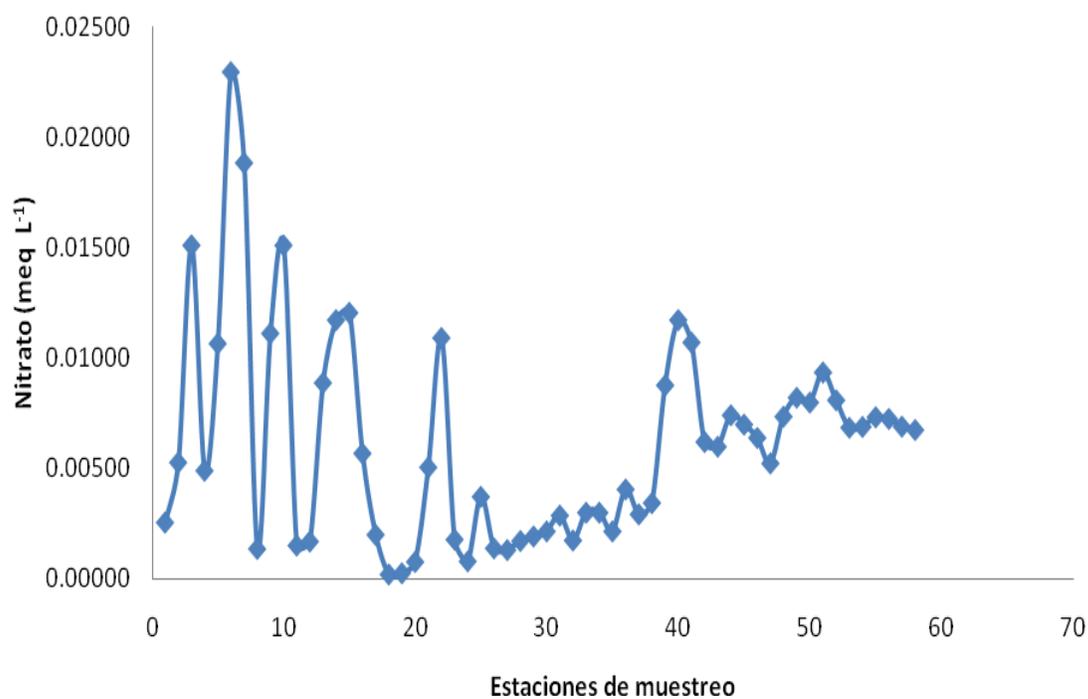


Figura 18, Distribución del contenido de Nitrato en las aguas de la cuenca Lerma - Chápala

6.10 DISTRIBUCIÓN DE BORO

El boro es esencial para todos los cultivos sin embargo las cantidades excesivas de boro en suelos y agua no son buenos, en el cuadro 25, podemos observar los contenidos permisibles del boro, (Cadahía, 1997), en el cuadro 26, observamos los contenidos de boro en las aguas de la cuenca Lerma – Chápala.

En la figura 19, observamos el comportamiento del boro a lo largo del río Lerma.

Cuadro 25, Contenido permisible de boro, en aguas para uso agrícola.

Clase respecto al boro	Cultivos sensibles ppm	Cultivos semitolerantes ppm	Cultivos tolerantes ppm
1	< 0,33	< 0,67	> 1,00
2	0,33 a 0,67	0,67 a 1,33	1,00 a 2,00
3	0,67 a 1,00	1,33 a 2,00	2,00 a 3,00
4	1,00 a 1,25	2,00 a 2,50	3,00 a 3,75
5	> 1,25	> 2,50	> 3,75

Cuadro 26, Contenido de boro, en aguas de la cuenca Lerma - Chápala.

Muestra		Boro	Clasificación
1	Valle el mirador	0.00052	Buena
2	Pozo Tlazala 39a	0.00068	Buena
3	Río Lerma Hacienda	0.00088	Buena
4	Lagunas de Almoloya	0.00079	Buena
5	Ocoyoacac	0.00091	Buena
6	Río Lerma	0.00093	Buena
7	Las torres Lerma	0.00143	Buena
8	Ixtlahuaca bordo	0.00102	Buena
9	Ixtlahuaca río	0.00095	Buena
10	Almoloya presa RELP/Álzate	0.00095	Buena
11	Carretera libre inicia presa Álzate	0.00051	Buena
12	Ixtlahuaca río Lerma	0.00033	Buena
13	Puente Atlacomulco	0.00102	Buena
14	Andaro	0.00068	Buena
15	Presa Juanacatlan	0.00103	Buena
16	Temazcalzingo dren el borbollón	0.03188	Buena
17	Pese-ndeje, el borbollón	0.03411	Buena
18	El tejocote pozo	0.00812	Buena
19	El tejocote manantial	0.00639	Buena
20	Temazcal manantial	0.00076	Buena
21	Tuxtepec presa	0.00153	Buena
22	Presa Tuxtepec	0.00171	Buena
23	El juguete presa	0.00108	Buena
24	El juguete nacimiento	0.00614	Buena
25	Puente la marimba	0.00159	Buena
26	Presa Solís	0.00138	Buena
27	Presa Solís nacimiento	0.00148	Buena
28	Solís cortina	0.00133	Buena
29	Entrada a los ángeles	0.00159	Buena
30	Entrada a los ángeles pozo	0.00125	Buena
31	Entrada a los ángeles, pozo 2	0.00141	Buena
32	Entrada a los ángeles dren	0.00171	Buena
33	Inchamacuaro	0.00171	Buena
34	Salvatierra	0.00154	Buena
35	El capulín	0.00175	Buena
36	Santiago Capitiro	0.00188	Buena
37	Jaral del progreso	0.00177	Buena
38	Pitayo	0.00185	Buena
39	Rancho pitayo	0.00168	Buena
40	Salamanca junto a refinería	0.00196	Buena

Cuadro 26, Continuación.

Muestra		Boro	Clasificación
41	Salamanca junto a refinería, dren	0.00397	Buena
42	Salamanca río Lerma salida	0.00363	Buena
43	Pueblo nuevo	0.00151	Buena
44	El mármol	0.00150	Buena
45	La piedad	0.00117	Buena
46	Puente delgado	0.00131	Buena
47	Yerecuaro	0.00142	Buena
48	Concepción	0.00258	Buena
49	Briseñas	0.00474	Buena
50	Laguna de Chápala	0.00199	Buena
51	Ocotlán río Zula	0.00204	Buena
52	Poncitlan	0.00189	Buena
53	Chápala Poncitlan	0.00193	Buena
54	La zapotera, laguna de Chápala	0.00208	Buena
55	Agua caliente, laguna de Chápala	0.00392	Buena
56	Mezcala, laguna de Chápala	0.00191	Buena
57	Mizmaloya, laguna de Chápala	0.00219	Buena
58	Ibarra, Río Duero	0.00120	Buena

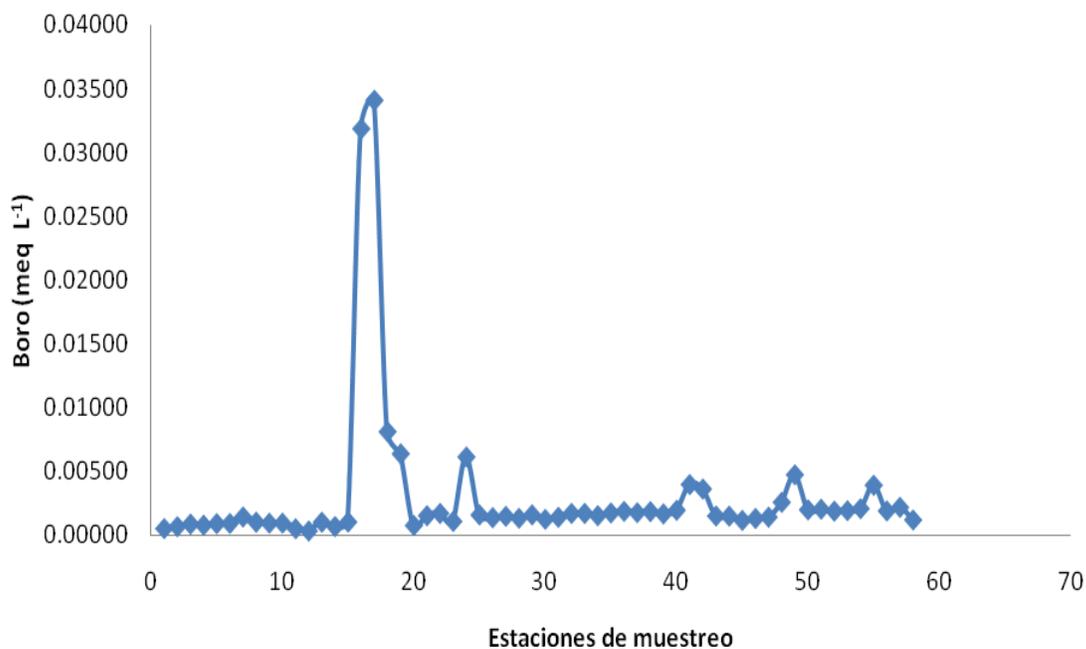


Figura 19, Distribución del contenido de Boro en las aguas de la cuenca Lerma - Chápala

VII CONCLUSIONES

1. Las aguas de la cuenca Lerma – Chápala son bicarbonatadas sódicas, excepto en la cortina de la presa Solís, la entrada al distrito de riego los ángeles, que son bicarbonatada magnésico-sódica. En parte de la laguna de Chápala en la localidad de la Zapotera presenta aguas cloruradas bicarbonatadas-magnésica, en la laguna de Chápala en la localidad de Mezcala el agua es bicarbonatada-magnésica, por otra parte la localidad de Mismaloya, también perteneciente a la laguna de Chápala el agua es de tipo Bicarbonatada sódica-magnésica.
2. En el muestreo realizado el coeficiente de la relación funcional $\text{mg L}^{-1}=\text{fa}$ (CE), es $a = 0.702$. Este coeficiente (a) corresponde a aguas que contienen cantidades considerables de bicarbonatos.
3. En base a la presión osmótica la clasificación de la salinidad que se presenta a lo largo del río Lerma va de baja a moderada, excepto en las estaciones (7) torres Lerma, (12) Ixtlahuaca río Lerma, (16 y 17) en el municipio de Temazcalzingo dren y borbollón, y en salamanca junto a la refinería cuya salinidad en base a su presión osmótica es alta.
4. La evaluación de la relación de adsorción de sodio en sus diferentes formulaciones (RAS, RASaj, RAS°), presentan aguas buenas de calidad y aptas para riego, con precauciones en la mayoría de las estaciones, excepto en el tramo correspondiente a Temazcalzingo en el estado de México y el tramo correspondiente a Salamanca, junto a la refinería, en el estado de Guanajuato.
5. Las aguas residuales de la cuenca hidrológica Lerma – Chápala tienen valores aceptables de Fosfatos, Nitratos, así como de Boro. Los cuales no se consideran perjudiciales.

VIII RECOMENDACIONES

Las aguas residuales de la cuenca hidrológica Lerma – Chápala.

1. Cuenta con una calidad del agua aceptable, en su mayor parte, pero no se recomienda utilizar el agua en los tramos correspondientes al municipio de Temascalcingo en el estado de México, y en el tramo correspondiente al municipio de Salamanca (junto a la refinería) en el estado de Guanajuato, por ser tramos de mala calidad.

IX BIBLIOGRAFÍA

- Lomeli, Tamayo. (n. d.). Recursos Hidrológicos de México. Obtenida en enero de 2009, de http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/8agua.html
- Lenntech Water treatment & purification Holding B.V. (n. d.). Due to our website update, the page you were looking for might be re-located or does no longer exist on the server. Obtenida en enero de 2009, de <http://www.lenntech.com/espanol/estándares-de-calidad-del-agua.htm>
- Lenntech Water treatment & purification Holding B.V. (n. d.). Due to our website update, the page you were looking for might be re-located or does no longer exist on the server. Obtenida en enero de 2009, de <http://www.lenntech.com/espanol/est%C3%A1ndares-de-calidad-del-agua.htm#ixzz0f5oTHDZU>
- Lenntech Water treatment & purification Holding B.V. (n. d.). Due to our website update, the page you were looking for might be re-located or does no longer exist on the server. Obtenida en enero de 2009, de <http://www.lenntech.com/espanol/estándares-de-calidad-del-agua.htm>
- Bogar, Escobar. 2006. La cuenca Lerma-Chápala. El agua de la discordia1. Obtenida en enero de 2009, de http://www.gestionypoliticapublica.cide.edu/num_anteriores/Vol.XV_No.II_2dos/em/Bogar_Escobar.pdf
- Miliarium Aureum, S.L. 2000 – 2004. Índices globales de calidad de las aguas. Obtenida en enero de 2009, de <http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm>
- Comisión Nacional del Agua. (n. d.). Indicadores de calidad del agua. Obtenida en febrero de 2009, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/DBO.pdf>
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1996 – 1997. Normas Oficiales Mexicanas. Obtenida en septiembre de 2008, de <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normasoficialesmexicanasvigentes/Pages/calidaddelaguaresidual.aspx>

- APHA. American Public Health Association. 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 17th. Edition Port Cyty Prees, Baltimore, Maryland.
- Ayers, R.,S., y Wescot. 1987. La calidad del agua y su uso en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29 Rev. 1 Trad. Al español por J. F Alfaro de: Water quality and use in agricultura. 174p.
- Boehm Schoendube, Brigitte Juan Manuel Durán Juárez, Martín Sánchez Rodríguez y Alicia Torres (coords.). 2005, Los estudios del agua en la cuenca Lerma-Chápala-Santiago I. Colegio de Michoacán, Universidad de Guadalajara-CUCSH.
- Boehm Schoendube, Brigitte Juan Manuel Durán Juárez, Martín Sánchez Rodríguez y Alicia Torres (coords.). 2005, Los estudios del agua en la cuenca Lerma-Chápala-Santiago II. Colegio de Michoacán, Universidad de Guadalajara-CUCSH.
- Can, C., 2005. Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del cauce del rio Tulancingo, Estado de México, México. Tesis de la maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. p. 198.
- Cloter, A., Mazari, H., De Anda, S., 2006. Atlas de la cuenca Lerma – Chápala construyendo una visión conjunta. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. p. 195.
- Custodio, E., Llamas, M. R. 2001, Hidrología Subterránea I. Editorial Omega.
- Custodio, E., Llamas, M. R. 2001, Hidrología Subterránea II. Editorial Omega.
- INEGI-DGG. 1999. Superficies Nacionales y Estatales.
- Quentin, E., Diaz, Uribe, M., Curso alto rio Lerma Atlas Hidrológico Digital, versión 1.0. CIRA – UAEM.
- Richards, L. A. 1973. Diagnostico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos: Manual No. 60. Editorial Limusa.
- Ríos, T., 2009. Composición química de las aguas del cauce tula Moctezuma-Claro, Estado de Hidalgo. México. Tesis de la maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. p. 111.

ANEXO I (formatos de campo)

Punto de Verificación No. 1 Fecha: 10 / 06 / 2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 11:25
 Localidad: Valle Miramar Municipio: La marquesa Estado Edo. de México
 Lat. N: 19° 18' 37.4" Long. W: 99° 22' 59.1" Altitud 2976 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje neo volcánico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas volcánicas del terciario Edafología Vertisol
 Hidrología Preas a la marquesa

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	no	
Color	claro	
Temperatura	17.8 °C	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 2 Fecha: 10/06/2009 Realizado por: Viviana Ma. Arteaga Hora 13:50
 Localidad: Tlazala Municipio: Santiago San Pedro Atlapulco Estado Edo. De México
 Lat. N: 19° 11' 30.4" Long. W: 99° 28' 52.3" Altitud 2483 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neo volcánico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas volcánicas, cuaternario (PQv) Edafología Vertisol
 Hidrología Pozo Tlazala 37a

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Otro:

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	22.8 °C	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres
 Buena

Marinas
 Moderada

Aéreas
 Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 3 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 14:02
 Localidad: Río Lerma (Hacienda) Municipio: Sta. Cruz Atizapán Estado Estado de México.
 Lat. N: 19° 11' 7.5" Long. W: 99° 30' 50.6" Altitud 2665 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Terciario Edafología Andosoles y Vertisoles
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	19.3°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 4 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 15:15
 Localidad: Lagunas de Almoloya Municipio: Almoloya del Río Estado México
 Lat. N: 19° 09' 19.9" Long. W: 99° 29' 42.1" Altitud 2569 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas clásticas y volcánicas (PQs) Edafología Vertisol
 Hidrología Lagunas de Almoloya

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Delta Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	29.4°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Observaciones adicionales-Laguna formada por 9 ojos de agua, aguas sulfurosas que emanan del volcán Chignahuapan, el cual estuvo activo hace millones de años

Punto de Verificación No. 5 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 16:00
 Localidad: Ocoyoacac Municipio: Ocoyoacac Estado México
 Lat. N: 19° 15' 23.5" Long. W: 99° 28' 18.8" Altitud 2585 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Clasicas y Volcánicas Edafología Andosoles y Vertisoles
 Hidrología Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

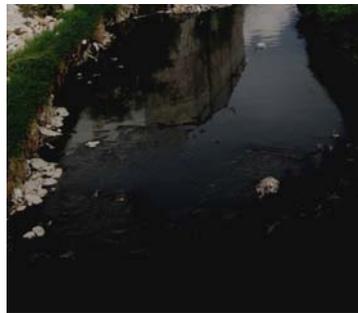
CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	25.8°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografía:



Punto de Verificación No. 6 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 16:25
 Localidad: Lerma Municipio: Lerma Estado México
 Lat. N: 19° 17' 02.0" Long. W: 99° 31' 20.6" Altitud 2597 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas Edafología Andosoles y Vertisoles
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	20.6°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 7 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 16:50
 Localidad: Las Torres Municipio: Lerma Estado México
 Lat. N: 19° 22' 39.9" Long. W: 99° 33' 18.1" Altitud 2583 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas Edafología Andosoles y Vertisoles
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura		
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 8 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 17:50
 Localidad: Ixtlahuaca Bordo Municipio: Ixtlahuaca Estado México
 Lat. N: 19° 27' 06.6" Long. W: 99° 44' 06.8" Altitud 2571 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas Edafología Andosoles y Vertisoles
 Hidrología Bordo Rumbo a la Presa Álzate

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro
 Bordo

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	24.7	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación
 Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 9 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 18:04
 Localidad: Ixtlahuaca Rio Municipio: Ixtlahuaca Estado México
 Lat. N: 19° 28' 16.4" Long. W: 99° 44' 05.4" Altitud 2554 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas Edafología Tobas, Sedimentos Continentales
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	20.6	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 10 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 18:20
 Localidad: Ixtlahuaca Presa Municipio: Almoloya Estado México
 Lat. N: 19° 27' 54.9" Long. W: 99° 42' 19.4" Altitud 2563 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Cuaternario Edafología Tobas, Sedimentos Continentales
 Hidrología Ixtlahuaca Presa

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Clara	
Temperatura	21.2	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 11 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 18:58
 Localidad: Inicia Presa Álzate Municipio: Atzacmulco Estado México
 Lat. N: 19° 29' 04.8" Long. W: 99° 44' 07.5" Altitud 2574 msnm Condiciones Meteorológicas Nublado
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Cuaternario Edafología Tobas y Sedimentos Continentales
 Hidrología Bordo Inicia Presa Álzate

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro
 Bordo

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	21.8	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena

Marinas Moderada

Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 12 Fecha: 10/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 19:25
 Localidad: Ixtlahuaca Rio Lerma Municipio: Ixtlahuaca Estado México
 Lat. N: 19° 37' 48.2" Long. W: 99° 43' 37.7" Altitud 2541 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Cuaternario Edafología Tobas, Sedimentos Continentales
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	20.0	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 13 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 19:35
 Localidad: Puente Atlacomulco Municipio: Atlacomulco Estado México
 Lat. N: 19° 47' 18.5" Long. W: 99° 53' 42.0' Altitud 2532 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas Edafología Tobas, Sedimentos Continentales
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	19.0°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 14 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 8:25
 Localidad: Andaro Municipio: Temascalcingo Estado México
 Lat. N: 19° 54' 10.1" Long. W: 90° 01' 21.5" Altitud 2377 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Cuaternario Edafología Vertisol
 Hidrología Derivadora Andaro

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	18.8°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 15 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 10:35
 Localidad: Presa Juanacatlan Municipio: Ex Hacienda Solís Estado México
 Lat. N: 19° 58' 42.9" Long. W: 100° 03' 09.5" Altitud 2368 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Cuaternario Edafología Vertisol
 Hidrología Río Lerma - Ex hacienda Solís

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	20.1	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 16 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 10:59
 Localidad: Dren el Borbollón Municipio: Temazcaltzingo Estado México
 Lat. N: 20° 01' 40.5" Long. W: 100° 06' 31.7" Altitud 2380 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Cuaternario Edafología Vertisoles
 Hidrología Dren El Borbollón

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro
Dren

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	20.5	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 17 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Hora 11:20
 Localidad: Pese-ndeje Municipio: Temazcaltzingo Estado México
 Lat. N: 20° 01' 32.8" Long. W: 100° 06' 08.2" Altitud 2363 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Terciario Edafología Vertisoles
 Hidrología El Borbollón
 Color superficial del suelo Amarilloso

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro
 Borbollón

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	Si	Azufre
Color	Si	Amarillo
Temperatura	37.8°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Observaciones: Costras de Azufre en piso, al lado del Rio Lerma, Borbollón, sin piso (con barro en el fondo), Colinda con el Edo de México y Querétaro.

Punto de Verificación No. 18 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 11:55
 Localidad: El Tejocote Municipio: Temazcaltzingo Estado México
 Lat. N: 20° 02' 19.8" Long. W: 100° 08' 17.6" Altitud 2363 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Terciario Edafología Vertisoles
 Hidrología Pozo

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	22.4	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 19 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 12:00
 Localidad: El Tejocote Municipio: Temazcaltzingo Estado México
 Lat. N: 20° 02' 19.8" Long. W: 100° 08' 17.6" Altitud 2363 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Rocas Volcánicas del Terciario Edafología Vertisoles
 Hidrología Manantial El Tejocote

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	22.7	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Punto de Verificación No. 20 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 12.20
 Localidad: Temazcal Municipio: Temazcalzingo Estado México
 Lat. N: 20° 03' 20.8" Long. W: 100° 09' 47.6" Altitud 2372 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Andasol, Luviosol, Planosol, Vertisol
 Hidrología Manantial

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	19.1	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Punto de Verificación No. 21 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 12:55
 Localidad: Tuxtepec Municipio: Tuxtepec Estado Michoacán
 Lat. N: 20° 03' 25.0" Long. W: 100° 12' 22.1" Altitud 2354 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Andasol, Luvisol, Planosol
 Hidrología Presa

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	27.3°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación
 Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 22 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 13:10
 Localidad: Entrada de Presa Municipio: Tuxtepec Estado Michoacán
 Lat. N: 20° 04' 28.5" Long. W: 100° 12' 10.7" Altitud 2379 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Andasol, Luvisol, Litosol, Feozem
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	20.3°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Terrestres Moderada Terrestres Mala Marinas Aéreas Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 23 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 14:30
 Localidad: El Juguete Municipio: Jerecuaro Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 10' 30.5" Long. W: 100° 27' 55.1" Altitud 2031 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Mil Cumbres
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Andosol, Luvisol, Planosol, Vertisol
 Hidrología Presa

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	27.4°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 24 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 14:40
 Localidad: El Juguete Municipio: Jerecuaro Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 10' 28.5" Long. W: 100° 27' 54.8" Altitud 20.38 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Mil Cumbres
 Geología Ignea Extrusiva del Terciario Edafología Andosol, Luvisol, Planosol, Vertisol
 Hidrología Nacimiento

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro
 Nacimiento

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	25.4	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 25 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 15:20
 Localidad: Puente La Marimba Municipio: Tarandacuaro Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 00' 35.0" Long. W: 100° 28' 51.7" Altitud 2048 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión del Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERISTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	22.5°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 26 Fecha: 11/06/09 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 16:00
 Localidad: Presa Solís Municipio: Acambaro Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 02' 25.5" Long. W: 100° 39' 14.8" Altitud 1907 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Presa Solís

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	24.4°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena
 Marinas Moderada
 Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 27 Fecha: 11/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 16:20
 Localidad: Compuerta de la Presa Solís Municipio: Acambaro Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 02' 53.6" Long. W: 100° 40' 35.4" Altitud 1929 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Ígneas Extrusiva del Terciario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Nacimiento/Agua Termal

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	30.8	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 28 Fecha: 11/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 16:30
 Localidad: Cortina de la Presa Solís Municipio: Acambaro Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 03' 05.3" Long. W: 100° 40' 20.1" Altitud 1856 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y bajos Michoacanos
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Vertisol, Feozem, Andasol, Liviosol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	20.8	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 29 Fecha: 11/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 19:10
 Localidad: Carretera Acambaro-Salvatierra Municipio: Salvatierra Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 03' 40.3" Long. W: 100° 47' 09.5" Altitud 1847 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Distrito de Riego, Junto al Rio Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	21.5	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Terrestres Moderada Terrestres Mala
 Marinas Aéreas

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 30 Fecha: 11/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 19:15
 Localidad: Pozo 31 Municipio: Salvatierra Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 03' 40.3" Long. W: 100° 47' 09.5" Altitud 1847 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Pozo, Distrito de Riego

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	22.5	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Buena
 Terrestres Mala Marinas Buena Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 31 Fecha: 11/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 19:25
 Localidad: Carretera Acambaro-Salvatierra Municipio: Salvatierra Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 03' 27.5" Long. W: 100° 46' 32.1" Altitud 1876 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Pozo, Distrito de Riego

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	22.5°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación
 Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 32 Fecha: 11/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 19:35
 Localidad: Salvatierra Municipio: Salvatierra Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 03' 06.7" Long. W: 100° 46' 50.4" Altitud 1863 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Dren

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro
 Dren

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	24.4	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 33 Fecha: 11/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 20:10
 Localidad: Chupicuaro, Inhamacuaro Municipio: Salvatierra Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 04' 52.9" Long. W: 100° 49' 40.6" Altitud 1857 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión, Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	21.4°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



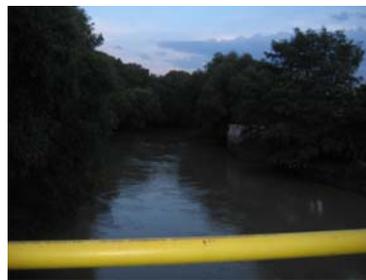
Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 34 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 7:10
 Localidad: Salvatierra Municipio: Salvatierra Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 12' 40.5" Long. W: 100° 53' 10.1" Altitud 1753 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierra y bajos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	19.7	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 35 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 7:40
 Localidad: El Capulín Municipio: San Nicolás de los Estado Guanajuato
Agustinos
 Lat. N: 20° 16' 12.9" Long. W: 100° 59' 01.0" Altitud 1762 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Canal al Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro
 Canal

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	21.2°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación
 Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

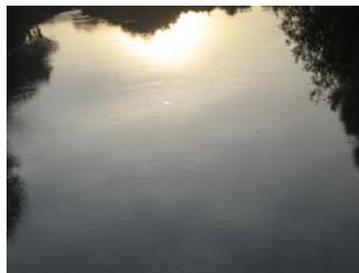
Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 36 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 7:55
 Localidad: Santiago Capitiro Municipio: Valle de Santiago Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 17' 02.3" Long. W: 101° 01' 20.1" Altitud 1747 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	20.9°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 37 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 8:10
 Localidad: Jaral del Progreso Municipio: Cortázar Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 20' 10.3" Long. W: 101° 02' 18.9" Altitud 1736 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Bajo Guanajuatense
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Clara	
Temperatura	21.7	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 38 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 9:35
 Localidad: Pitayo Municipio: Salamanca Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 27' 40.8" Long. W: 101° 09' 42.6" Altitud 1713 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Bajo Guanajuatense
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Dren El Pitayo

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	21.8°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación
 Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 39 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 9:45
 Localidad: Rancho Pitayo Municipio: Salamanca Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 29' 11.9" Long. W: 101° 08' 05.5" Altitud 1717 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Bajo Guanajuatense
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	23.6°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 40 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 10:52
 Localidad: Salamanca Municipio: Salamanca Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 33' 20.8" Long. W: 101° 10' 18.6" Altitud 1723 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Bajo Guanajuatense
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Junto a la Refinería, Rio Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	Poco	Sulfhídrico
Color	Si	Gris Claro
Temperatura	24.1°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 41 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 15:54
 Localidad: Salamanca Municipio: Salamanca Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 33' 20.8" Long. W: 101° 10' 18.6" Altitud 1723 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Bajo Guanajuatense
 Geología Aluvión Cuaternaria Edafología Luvisol/Acrisol, Feozen, Vertisol
 Hidrología Dren – Junto a Refinería

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	Poco	Sulfhídrico
Color	Si	Gris Claro
Temperatura	24	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 42 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 11:00
 Localidad: Salamanca Municipio: Salamanca Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 33' 53.2" Long. W: 101° 13' 26.1" Altitud 1707 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Bajo Guanajuatense
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma - Salida

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	Poco	Sulfhídrico
Color	Si	Gris Claro
Temperatura	25.4	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 43 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 11:55
 Localidad: Pueblo Nuevo Municipio: Abasolo Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 31' 09.2" Long. W: 101° 22' 45.5" Altitud 1708 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Bajo Guanajuatense
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	24.6	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 44 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 14:15
 Localidad: El Mármol Municipio: Abasolo Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 12' 48.8" Long. W: 101° 43' 56.3" Altitud 1675 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Bajo Guanajuatense
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luviso/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	29.2	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 45 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 15:30
 Localidad: La Piedad Municipio: La Piedad Estado Michoacán
 Lat. N: 20° 21' 15.6" Long. W: 102° 00' 15.9" Altitud 1690 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajío Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	29.0	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 46 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 15:59
 Localidad: Puente Degollado Municipio: La Piedad Cebadas Estado Guanajuato
 Lat. N: 20° 22' 41.0" Long. W: 102° 07' 09.5" Altitud 1627 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	28.3	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 47 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 16:40
 Localidad: Yerecuaro Municipio: La Piedad Cebadas Estado Michoacán
 Lat. N: 20° 20' 06.1" Long. W: 102° 15' 07.2" Altitud 1553 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	30.8	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 48 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 17:10
 Localidad: Concepción Municipio: La Piedad Cebadas Estado Michoacán
 Lat. N: 20° 20' 49.6" Long. W: 102° 19' 48.1" Altitud 1558 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	30.8	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 49 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 18:10
 Localidad: Briseñas Municipio: Briseñas de Matamoros Estado Michoacán
 Lat. N: 20° 16' 31.0" Long. W: 102° 33' 32.6" Altitud 1547 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Chápala
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	29.5	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 50 Fecha: 12/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 18:45
 Localidad: Lago de Chapala Municipio: Chápala Estado Jalisco
 Lat. N: 20° 17' 37.5" Long. W: 102° 45' 10.5" Altitud 1562 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Chápala
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Aluvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Lago de Chapala

Cuerpos de agua:

- Manantial
 Corriente
 Río
 Presa
 Estero
 Laguna
 Lago
 Pozo
 Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	28.6°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

- Terrestres Buena
 Marinas Moderada
 Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 51 Fecha: 13/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 7:03
 Localidad: Ocotlán Municipio: Chápala Estado Jalisco
 Lat. N: 20° 20' 46.3" Long. W: 102° 46' 19.7" Altitud 1535 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Chápala
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Zula

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

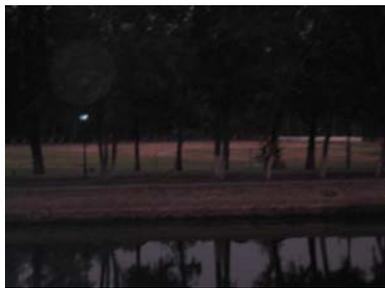
CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	25.2	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 52 Fecha: 13/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 7:20
 Localidad: Ponciltlan Municipio: Chápala Estado Jalisco
 Lat. N: 20° 20' 49.2" Long. W: 102° 46' 48.8" Altitud 1526 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Chápala
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	25.3	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 53 Fecha: 13/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 7:49
 Localidad: Chápala Municipio: Poncitlan Estado Jalisco
 Lat. N: 20° 19' 11.6" Long. W: 102° 47' 21.8" Altitud 1527 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Chápala
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luvisol/acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Santiago - Salida

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	25.3	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este

Punto de Verificación No. 54 Fecha: 13/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 8:32
 Localidad: La Zapotera Municipio: Chápala Estado Jalisco
 Lat. N: 20° 18' 15.1" Long. W: 102° 51' 30.7" Altitud 1529 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Chápala
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Lago de Chápala

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	24.3°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena
 Marinas Moderada
 Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 55 Fecha: 13/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 9:33
 Localidad: Agua Caliente Municipio: Chápala Estado Jalisco
 Lat. N: 20° 18' 44.4" Long. W: 102° 55' 52.6" Altitud 1535 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Chápala
 Geología Ignea Extrusiva del Terciario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Ojo de Agua

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro
 Ojo de Agua

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	63.2°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Marinas Moderada Aéreas Mala

Fotografías:



Punto de Verificación No. 56 Fecha: 13/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 10:47
 Localidad: Mezcala Municipio: Chápala Estado Jalisco
 Lat. N: 20° 20' 04.3" Long. W: 103° 01' 04.4" Altitud 1528 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Chápala
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Lago de Chápala

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	20.3°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena Terrestres Moderada Terrestres Mala
 Marinas Aéreas

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 57 Fecha: 13/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 13:35
 Localidad: Mizmaloya Municipio: Chápala Estado Jalisco
 Lat. N: 20° 09' 43.4" Long. W: 103° 06' 52" Altitud 1529 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Chápala
 Geología Ígnea Extrusiva del Terciario Edafología Luvisol/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Lago de Chápala

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	30.0	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Buena
 Marinas Moderada
 Aéreas Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Este



Suroeste

Punto de Verificación No. 58 Fecha: 13/06/2009 Realizado por: Viviana Arteaga Hora 15:03
 Localidad: Ibarra Municipio: Michoacán Estado Michoacán
 Lat. N: 20° 15' 15.2" Long. W: 102° 35' 18.3" Altitud 1530 msnm Condiciones Meteorológicas Buenas
 Provincia Fisiográfica Eje Neovolcanico Subprovincia Sierras y Bajíos Michoacanos
 Geología Aluvión Cuaternario Edafología Luviso/Acrisol, Feozem, Vertisol
 Hidrología Río Duero – Desemboca en el Río Lerma

Cuerpos de agua:

Manantial Corriente Río Presa Estero Laguna Lago Pozo Otro

Descripción de la muestra de agua:

CARACTERÍSTICA		OBSERVACIONES
Olor	No	
Color	Claro	
Temperatura	30.6°	
CE		
Otros (Indique cual)		

Vías de Comunicación

Calidad de las vías terrestres:

Terrestres Marinas Aéreas
 Buena Moderada Mala

Fotografías:



Oeste



Noroeste



Suroeste



Este