

Evaluación de la Contaminación del Agua Subterránea por Metales Pesados en un Acuífero Somero

ROBLES, Claudia, CHÁVEZ, Dagoberto, GONZÁLEZ, Julian, JÚNEZ, Hugo

Recibido 4 de Enero, 2016; Aceptado 22 de Marzo, 2016

Resumen

Estimar las concentraciones de los contaminantes metálicos (Fe, Hg, Pb y Zn) en aguas subterráneas poco profundas de la zona de riego de la localidad de Zóquite Guadalupe en Zacatecas. Se tomaron 58 muestras de agua subterránea provenientes de norias de uso agrícola, los metales pesados fueron analizados mediante AAS y el Hg se examinó con CVAAS; además del potencial de hidrogeno (pH). Los resultados mostraron las concentraciones de Fe (0.0008 mg^l⁻¹ como mínima y 0.0046 mg^l⁻¹ como máxima), y de Zn (0.0053 y 1.5519 mg^l⁻¹ mínima y máxima respectivamente) mientras que para el Hg y el Pb no fueron detectados por los equipos utilizados. De acuerdo con los criterios de la Norma oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, la OMS 2011 y USEPA 2012, las concentraciones de los metales analizados no exceden los límites permisibles para uso y consumo humano. Es conveniente resaltar que aunque el área de estudio se trata de un acuífero somero susceptible a ser contaminado fácilmente por los pesticidas, fertilizantes, entre otros, además del regadío de auxilio con aguas residuales, no presenta niveles significativos de los metales contaminantes.

Contaminación, metales pesados, acuífero somero, sistemas de información geográfica (SIG).

Abstract

Estimate the concentrations of metal contaminants (Fe, Hg, Pb and Zn) in shallow groundwater in the irrigation area of the town of Guadalupe in Zacatecas Zoquite. 58 groundwater samples from wells for agricultural use were taken, heavy metals were analyzed by AAS and he Hg was examined CVAAS; and the potential of hydrogen (pH). The results showed concentrations of Fe (0.0008 mg^l⁻¹ as minimum and 0.0046 mg^l⁻¹ as the maximum), and Zn (0.0053 and 1.5519 mg^l⁻¹ minimum and maximum respectively) while for Hg and Pb were not detected by the equipment used. According to the criteria for Official Mexican Standard NOM-127-SSA1-1994, WHO 2011 and USEPA 2012, concentrations of metals analyzed did not exceed the permissible limits for human use and consumption. It is worth noting that although the study area is a shallow aquifer susceptible to be easily contaminated by pesticides, fertilizers, among others, and irrigation with sewage relief, no significant levels of contaminating metals

Pollution, heavy metals, shallow aquifer, geographic information systems (GIS).

Citación: ROBLES, Claudia, CHÁVEZ, Dagoberto, GONZÁLEZ, Julian, JÚNEZ, Hugo. Evaluación de la Contaminación del Agua Subterránea por Metales Pesados en un Acuífero Somero. Revista de Simulación y Laboratorio. 2016, 3-6: 15-22

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

Los metales pesados pueden acumularse inicialmente por encima de los niveles naturales de los suelos agrícolas además con el tiempo la aplicación continua de agroquímicos comerciales que contienen varios metales pesados potencialmente tóxicos, su posterior migración y la disponibilidad de ser lixiviados de los suelos agrícolas están influenciadas por varios factores, tales como el pH del agua, potencial redox, el tipo y la calidad del suelo (Wongsasuluk et al.2013).

El uso inadecuado de la tierra, causa problemas crónicos de calidad del agua subterránea (Lerner y Harris, 2009). En las últimas décadas, la conclusión global de la presencia de concentraciones elevadas de varios solutos tóxicos procedentes de fuentes naturales y antropogénicas ha limitado aún más el volumen disponible de agua potable (Mukherjee, 2011). Sin embargo, el papel del desarrollo sostenible de las aguas subterráneas requiere una comprensión de su procedencia y revocabilidad. Por lo tanto, una gestión sostenible requiere una comprensión profunda de los procesos que determinan la cantidad y calidad de los sistemas de aguas subterráneas, su interacción con el ambiente de la superficie, y los impactos potenciales del uso de estos sistemas como un recurso (Garfias et al. 2009). Un suministro continuo de agua con buenas cualidades es un factor clave para alcanzar una buena calidad de vida y es importante para la sostenibilidad del medio ambiente y el crecimiento económico en los centros urbanos (Dávila et al. 2011). El desarrollo agrícola y urbanización intensiva han dado una alta demanda de los recursos de agua subterránea en las regiones áridas y semiáridas, las aguas subterráneas son la principal fuente de agua para usos domésticos, agrícolas e industriales en muchos países.

El uso para el riego de las aguas subterráneas hace que este recurso sea fundamental para las actividades humanas. Entre las fuentes de contaminación, la agricultura tiene efectos directos e indirectos sobre la química de las aguas subterráneas (Jalali, 2009).

Una importante fracción de enfermedades relacionadas con el agua se atribuye a la manera como se desarrollan y manejan los recursos hídricos. En muchas partes del mundo, los impactos adversos a la salud originados por la contaminación del agua, la construcción de represas, las obras de irrigación y el control de inundaciones puede ser la causa de enfermedades significativas (WHO, 2004).

En las zonas rurales, la gestión del agua se ve influenciada en gran parte por la agricultura, la intensificación de esta actividad requiere de un mejor control de los recursos hídricos y sobre todo en las regiones áridas o semi-áridas. Abdesselam et al. 2012).

La contaminación de las aguas subterráneas que logra afectar su química puede tener lugar ya sea de fuentes tan diversas y amplias como percolación de los campos agrícolas con motivo de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, o de una fuente puntual como sitios de disposición de residuos, o de un número de factores en los que se incluyen la naturaleza de la recarga, gradiente hidrológico, tiempo de residencia del agua subterránea en el acuífero, la contaminación por las actividades antropogénicas y las interacciones roca-agua debajo de la superficie (Kouping, et al. 2007;Singhal y Gupta, 2010 ;Krishna et al. 2011).

Por otra parte las principales vías por las que los contaminantes derivados de las actividades mineras pueden entrar en las aguas subterráneas son las fugas o derrames de los estanques de almacenamiento, lixiviando así a estas (Ratnakar et al.2008). Aunado a esto el impacto potencial del cambio climático en los aspectos cuantitativos de la hidrología ha sido bien investigado, pero pocos estudios se han centrado en los efectos de este en la calidad del agua y la gestión humana del sistema tales como: la extracción de aguas subterráneas, las prácticas agrícolas y del riego complican aún más la evaluación de los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos (Visser et al. 2012). Por su parte Bineet et al. (2013), comentan que el alto contenido de nitrato, TDS, hierro y plomo están influenciados por los efluentes de la industria, el sector doméstico y la agricultura, siendo las aguas subterráneas menos profundas las más vulnerables a dicha contaminación, este hecho ha sido estudiado también por (Moshood 2009; G.-H. y S.-S. 2010; Nyenje et al 2013). Dado que las muestras de agua y sus características físicas, químicas y biológicas son entidades geográficas en la naturaleza, con la ayuda los sistemas de información geográfica (SIG) e instrumentos estadísticos /geoestadísticos son una combinación lógica que nos pueden ayudar a dilucidar los patrones de distribución de los contaminantes (Cüneyt et al. 2012).

El presente estudio tiene como objetivo fundamental estimar las concentraciones de los contaminantes metálicos (Fe, Hg, Pb y Zn) en aguas subterráneas poco profundas recolectada de la zona de riego de la localidad de Zóquite Guadalupe en el estado de Zacatecas.

Área de estudio

La localidad de Zóquite, cuenta con una población de 3,346 habitantes, se ubica en el municipio Guadalupe en el estado de Zacatecas en las coordenadas geográficas latitud 22° 48' 34" y longitud 102° 26' 57" a una altura de 2150 metros sobre el nivel del mar, (figura 1). (INEGI 2010).El clima es templado, registra una temperatura media de 16.7 °C con una precipitación mínima de 220 mm y una media anual de 449.9 milímetros. Los vientos dominantes en primavera son al sur, sureste, este noreste y sureste con una velocidad de 8 km/hr, del sureste de 14 km/hr y oeste de 3 km/hr; en invierno del sur, sureste, este, noreste y oeste de 8 km/hr por hora y del norte 3 km/hr. La principal actividad económica es la agrícola, actividad que es auxiliada con riegos utilizando agua residual no tratada, extraída de un canal que pasa por la zona oeste del área estudiada.

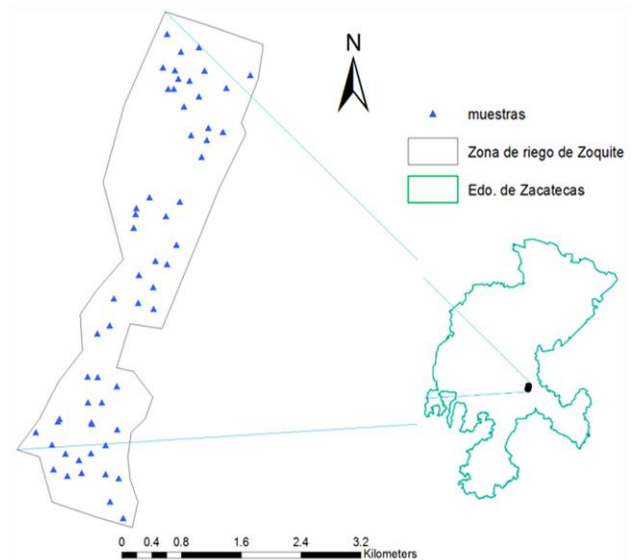


Figura 1. Localización de la zona de estudio

Metodología

Se recolectaron muestras de agua subterránea durante el periodo de abril a mayo de 2014 en norias de uso agrícola, se utilizó el método estadístico de muestreo simple aleatorio obteniendo un total de 58 muestras. Para evitar una posible contaminación los contenedores de las muestras fueron remojados previamente en una solución libre de sulfatos y luego enjuagados con agua desionizada. En campo, las muestras se pasaron a través de un filtro de 45 micras y se acidificaron con HNO_3 concentrado hasta obtener un $\text{pH} > 2$, en embases de polietileno de 250 ml de capacidad, las mediciones de pH, CE (conductividad eléctrica) y temperatura se hicieron insitu, utilizando un conductímetro marca Orion 4 Star™ Series Meter, en el laboratorio las concentraciones de Fe, Pb y Zn se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica empleando el Thermo Scientific ICE AA 3300 y el Hg se analizó mediante el VP100 continuos flow vapour genertor marca Thermo Scientific con un límite de detección de $0.06 \mu\text{g}$.

Todas las muestras fueron preservadas a 4°C desde su transporte hasta su análisis (APHA 1998). Las mediciones se hicieron con equipo y material del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del programa Académico de Ingeniería Civil y la Maestría en Ingeniería Aplicada con Orientación en Recursos Hidráulicos de la Unidad Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas".

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación se muestran a continuación:

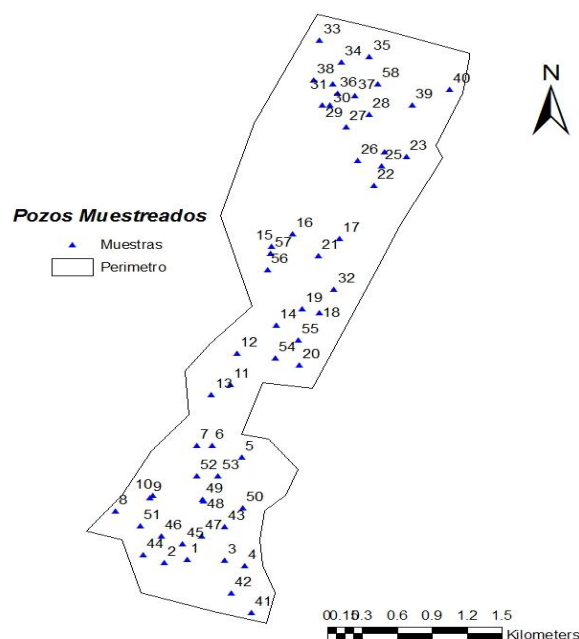


Figura 2. Distribución de los pozos muestreados

En la Figura 2, se observa la distribución espacial de los pozos muestreados en el área de estudio, es imperativo mencionar que en el lado oeste de esta zona se encuentra localizado un canal de aguas residuales y en el lado este circunda un pequeño basurero, a demás del drenaje local con antiguas instalaciones.

Del Cuadro 1, se puede observar que los valores de pH de las muestras de agua subterránea varían desde 6.80 a 7.70, con un promedio de 7.24; esto demuestra que el agua subterránea de la zona de estudio es generalmente neutra. El rango de valores de pH deseables prescritos de agua para beber según la OMS (2004), es de 6.05 a 9.02. No hay muestras de agua con valores de pH fuera de los límites convenientes. La presencia de metales en solución en las aguas subterráneas no sólo reflejará la magnitud de los insumos metálicos, pero será controlada por la solubilidad de los metales en solución, que a su vez está influida por los parámetros químicos como el pH y Eh (Bird et al.2009).

Pezzetta et al.2011). Los experimentos de solubilidad realizados por Chuan et al. (1995), demostraron que los metales pesados se pueden solubilizar en virtud tanto del oxígeno y del burbujeo de nitrógeno, sin embargo el pH es uno de los factores principales en la determinación de la solubilidad de un metal y que el potencial redox (Eh) no es tan eficaz como el potencial de hidrogeno.

Parámetro	Mínimo	Máximo	Media
pH	6.80	7.70	7.24

Tabla 1 Valores de pH obtenidos del muestreo en campo

Análisis geoestadístico

La distribución espacial de los parámetros químicos del agua subterránea se analizó mediante el software ArcGis 9.3, obteniendo así los valores presentados en el Cuadro 2; las medidas de tendencia central, coeficiente de curtosis y oblicuidad, estos valores estadísticos pueden ser utilizados para verificar de la distribución normal de las variables y su relación espacial, generando y cotejando visualmente el histograma para cada uno de los parámetros; solo se realizó una transformación logarítmica para en Zn.

Parámetro mg/L	ínimo	áximo	edia	esvi. Estándar	oef. de asimetría	urtosis	ediana
g	D	D	D				
e	.0008	.047	.16	.012	.48	.31	.0029
n	.0053	.551	.17	.280	.33	.74	.0955
b	D	D	D				

ND= No detectable con los equipos utilizados

Tabla 2 Valores estadísticos obtenidos para los metales pesados

Al realizar la determinación de las concentraciones de los metales pesados (Cuadro 2), se puede observar para el caso del plomo (Pb) y mercurio (Hg) no se tiene ningún valor detectado por el equipo, mientras que para el hierro (Fe) se obtuvo un valor mínimo de 0.0008 mg/l para dos aprovechamientos y un máximo de 0.0046 mg/l para un aprovechamiento, por otro lado la presencia de cinc (Zn) fue detectado en todos los aprovechamientos con un valor 0.0053 y 1.551 mg/l mínimo y máximo respectivamente, los resultados que se obtuvieron cumplen la normativa mexicana de salud ambiental, agua para uso y consumo humano (NOM-127-SAA1-1994).

La distribución espacial de la química de las aguas subterráneas se muestra en las Figuras 3 y 4.

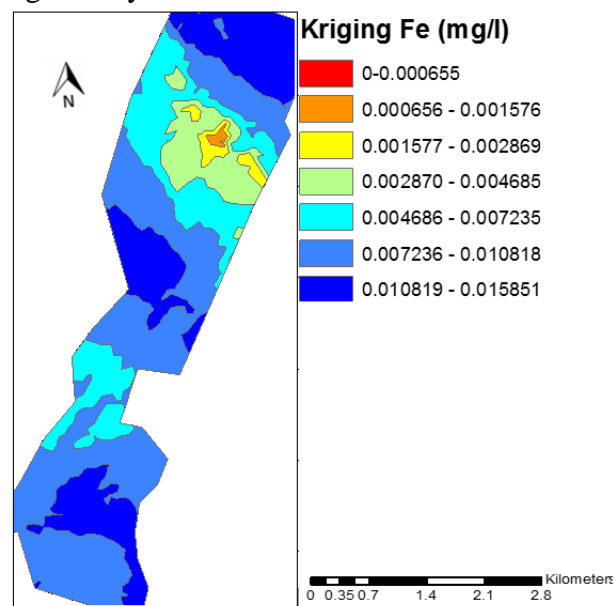


Figura 3 Distribución espacial del hierro (Fe)

El hierro (Fe) en el agua natural proviene de la disolución de las rocas y minerales donde se encuentra contenido. También puede incrementarse artificialmente, porque es muy utilizado en las industrias y existe la posibilidad de vertidos industriales ferrosos en el agua.

Las aguas subterráneas tienen mayores concentraciones de Fe alcanzado valores de hasta 10 mg/l ya que la materia orgánica del suelo absorbe el oxígeno disuelto del agua, normalmente las aguas con gran carga orgánica suelen tener más Fe produciéndose así asociaciones y complejos entre ellos (Valencia 2011). De acuerdo con la Figura 3, la distribución espacial del Fe es mayor en el tono azul y menor en las de color naranja.

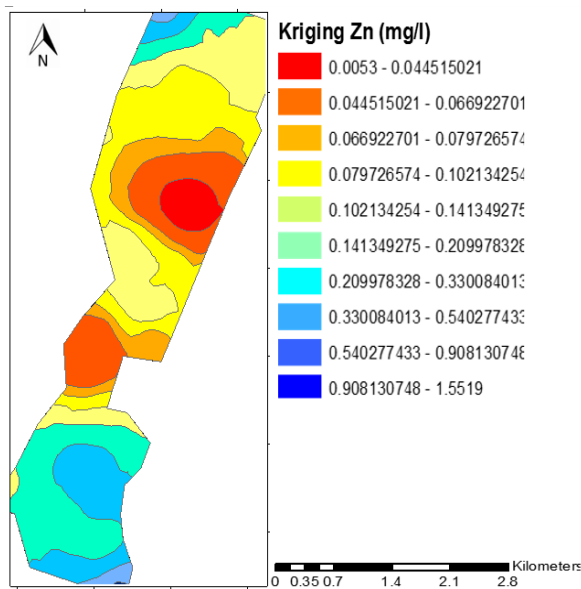


Figura 4. Distribución espacial del zinc (Zn)

La mayoría del zinc entra al medio ambiente como resultado de la minería, la purificación de zinc, plomo, cadmio y otros minerales, la producción de acero, carbón, y la incineración de residuos. Estas actividades pueden aumentar los niveles de zinc en la atmósfera. Los lodos y los fertilizantes también contribuyen al aumento de los niveles de zinc en el del suelo. En el aire, el zinc está presente en forma de granos de polvo fino. Este polvo eventualmente se deposita en la tierra y agua (ATSDR). Como se aprecia en la Figura 4, las partes en tonos azules son las que cuentan con mayor concentración y las de tono color naranja son las de menor concentración de este metal.

Agradecimiento

A la Universidad Autónoma de Zacatecas, Maestría en Ingeniería Aplicada con Orientación en Recursos Hidráulicos, por el apoyo para la realización de este trabajo.

Conclusiones

Las concentraciones de Fe y Zn en la mayoría de los 58 aprovechamientos muestreados de aguas subterráneas poco profundas fueron menores que todas las normas de agua potable y de acuerdo con estos criterios son aceptables, en cuanto al Pb y Hg sus concentraciones no fueron detectadas por el equipo utilizado.

En general el agua subterránea analizada no se encuentra contaminada por la lixiviación de estos metales provenientes de las agua residuales utilizadas para el regadío hasta ahora, esto debido a que los metales depositados por el uso de las aguas residuales no tratadas aún no han contaminado las aguas subterráneas por lixiviación inducida por la infiltración vertical coincidiendo esto con los resultados obtenidos por Wu y Cao (2010).

La detectabilidad de los metales puede ser influenciada por la química del agua incluyendo el pH y Eh, en general Bird et al.2009, reportaron en su trabajo, que los metales más ampliamente detectables son el Cu y Zn, mientras que el Pb fue en gran parte el menos detectable. Es conveniente resaltar que aunque el área de estudio se trata de un acuífero somero susceptible a ser contaminado fácilmente por los pesticidas, fertilizantes, entre otros, además del regadío de auxilio con aguas residuales, no presenta niveles significativos de acuerdo a las normas antes mencionadas de metales pesados como plomo (Pb) y mercurio (Hg).

Esta situación se deba quizá a la movilidad y la especiación de estos metales en el suelo y luego su posible lixiviación al agua subterránea.

Referencias

Abdesselam S., Halitim A., Ene A., Trolard F., y Bourrie G.(2012). Anthropogenic contamination of groundwater with nitrate in arid region: case study of southern Hodna (Algeria). *Environmental Earth Sciences*. Vol.70, No.5, pp. 2129 -2141.

APHA (American Public Helth Association). (1998). *Standar methods for the examination of water and wastewater*, 20th edn. Washington DC.

Bird G., Mackelin. M.G., Brewer P. A., Zaharia S., Balteanu D., Driga B., Serban M.(2009). Heavy metals in potable groundwater of mining-affected river catchments, northwestern Romania. Vol 31, pp.741-758.

Bineet S., Vikas J., Anuraag M.(2013). Monitoring of groundwater chemistry in terms of physical and chemical parameters of Gajraula, a semi-urbanized town of North India. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol.58-60, No. 60, pp.34-41.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua, Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero de chupaderos en el estado de Zacatecas. (2012).

ftp://ftp.conagua.gob.mx/SISI1610100117809/DR_3226-chupaderos.pdf. Consultado el 26 de noviembre de 2013.

Cüneyt G., Mehmet A.K., Musa A., Can A. (2012).

Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using Fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques, *Journal of Hydrology*, Vol. 414-415, pp. 435-451.

Dávila P. R., De León G.H., Schüth C. (2011).Urban impacts analysis on hydrochemical and hydrogeological evolution of groundwater in shallow aquifer Linares, Mexico. *Environmental Earth Sciences*. Vol. 66, pp. 1871-1880.

USEPA (US Environmental Protection Agency). (2012).Ground water and drinking water. <http://www.water.epa.gov/drink/index.cfm>.

G.-H. Wu y S.-S. Cao.(2010). Mercury and Cadmium Contamination of Irrigation Water, Sediment, Soil and Shallow Groundwater in a Wastewater- Irrigated Field in Tianjin, China. *Bull Environ Contam Toxicol*, doi: 10.1007/s00128-010-9939-6

Garfias J., Arroyo N. y Aravena R., 2010 Hydrochemistry and origins of mineralized waters in the Puebla aquifer system, Mexico, *Environ Earth Sciences*, doi: 10.1007/s12665-009-0161-y.

Jalali M. (2009). Geochemistry characterization of groundwater in an agricultural area of Razan, Hamadan, Iran. *Environmental Geology International Journal of Geosciences*, Vol. 56, No. 6, pp. 1183-1195.

Kouping C., Jiu J. J., Jianmin H., Runqiu H., (2007).Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in a coastal area in Shenzhen, China”, *Environmental Pollution*, Vol.147, pp. 771-780.

KrishnaS.K., Chandrasekhar N., Seralathan P., Prince S. G. y Magesh N. S.(2011). Hydrogeochemical study of shallow carbonate aquifers, Rameswaram Island, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol.184, No. 7, pp.4127-4138.

Lerner D. N., y Harris B. (2009).The relationship between land use and groundwater resources and quality. *Land Use Policy*, Vol. 26S, pp 265-273.

Moshood N.T. (2009). Contamination of shallow groundwater system and soil–plant transfer of trace metals under amended irrigated fields .*Agricultural Water Management*, Vol.96, pp. 437-444.

Mukherje Abhijit. (2011). Arsenic and other toxic elements in surface and groundwater systems. *Applied Geochemistry*, Vol. 26, pp 415-420.

Nyenje P.M., Foppen J.W., Kulabako R., Muwanga A. , Uhlenbrook S. (2013). Nutrient pollution in shallow aquifers underlying pit latrines and domestic solid waste dumps in urban slums. *Journal of Environmental Management*, Vol.122, pp.15-24.

Pezzeta E., Lutmant A., Martinuzzi I, Viola C., Bernardis G., Fuccaro V. (2011). Iron concentrations in selected groundwater samples from the lower Friulian Plain, northeast Italy: importance of salinity. *Environ Earth Sci*, Vol. 62 pp. 377-391.

Porras M.J. Nieto L.G.P., Álvarez F.C. Fernández U.A., Gimeno M. V. 1985 “Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España” Monografía realizada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) pp.20.

Ratnakar D., Singh V.S., Hodlur G.K. (2008).

Impact assessment of chromite mining on groundwater through simulation modeling study in Sukinda chromite mining area, Orissa, India, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 160, pp 535-547.

Singhal B.B.S. y Gupta R.P.(2010) *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks Second Edition*, pp. 221-236.

Shufeng C., Wenliang W., Kelin H., Wei L. (2010). The effects of land use change and irrigation water resource on nitrate contamination in shallow groundwater at county scale. *Ecological Complexity*, Vol. 7, pp. 131-138.

Visser A., Kroes J., van Vliet M. T.H., Blenkinsop S., Fowler H. J., Broers H. P. (2012). Climate change impacts on the leaching of a heavy metal contamination in a small lowland catchment, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol.127, pp. 47–64.

WHO (World Health Organization). (2004). *Guidelines for drinking – water quality (3rd ed)*. Geneva

WHO (World Health Organization). (2011). *Guidelines for drinking- water quality (4th ed.)*. http://www.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf.

Wongsasuluk P., Chotpantararat S.,Siriwong W., Robson M.(2013). Heavy metal contamination and human health risk assessment in drinking water from shallow groundwater wells in an agricultural area in Ubon Ratchathani province, Thailand. *Environ Geochem Health*, Vol. 36, pp. 169-182.

Wu G.H. y Cao S.S. (2010). Mercury and Cadmium Contamination of Irrigation Water, Sediment, Soil and Shallow Groundwater in a Wastewater-Irrigated Field in Tianjin, China, *Bull Environ Contam Toxicol*, Vol. 83 , pp. 336-341.