



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

“ANÁLISIS DE METALES PESADOS (Pb, Hg Y Cd) PRESENTES EN MUESTRAS DE SUELO DE BACALAR CONTAMINADO CON LIXIVIADOS GENERADOS CON RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU)”.

TESIS
PARA OBTENER GRADO DE
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA
ATZAHEL ADJANY ARMENTA ARCEO

DIRECTOR
ING. JOSÉ LUIS GUEVARA FRANCO

ASESORES
BIOL. LAURA PATRICIA FLORES CASTILLO
Q.F.B. JOSÉ LUIS GONZÁLES BUCIO
DR. JOSÉ ALFONZO CANCHE UUH
M.C. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVICION DEL COMITÉ DEL PROGRAMA
DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO REQUISITO PARA OBTENER GRADO
DE :

INGENIERO AMBIENTAL.

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR: *José Luis Franco*

ING. JOSÉ LUIS GUEVARA FRANCO

ASESORA: *L. Patricia Flores Castillo*
BIOL. LAURA PATRICIA FLORES CASTILLO

ASESOR: *José Luis Gonzales Bucio*
Q. F. B. JOSÉ LUIS GONZALES BUCIO

ASESOR SUPLENTE: *José Alfonso Canche Uuh*
DR. JOSÉ ALFONZO CANCHE UUH

ASESOR SUPLENTE: *M.C. Juan Carlos Ávila Reveles*
M.C. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES



UNIVERSIDAD DE
QUINTANA ROO
ÁREA DE TITULACIÓN

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, DICIEMBRE DE 2016

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi madre la Sra. Gely Ikeya Arceo Sánchez de quien siempre he recibido apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por haber depositado toda su confianza en mí, por ser una luchadora incansable, por ser un gran ejemplo e inspiración y principalmente por todo lo que como madre me enseñaste, en este proyecto demuestro el gran trabajo que como madre has desempeñado, ya que siempre te preocupaste por darme lo mejor hoy recibo un grado de ingeniero pero Mamá usted reafirmas que su título de excelente madre lo tienes bien ganado, TE AMO MAMÁ.

A mi abuela la Sra. María del Carmen Sánchez Vivas a quien amo profundamente y quien siempre me alentó para continuar mi camino, este es un logro en equipo y mucho del esfuerzo alcanzado a lo largo de la carrera fue gracias a ella gracias Mamitane

A mi suegra la Sra. Rosa Flores Hernández por su gran apoyo, a quien quiero y respeto.

A mi padre que aun cuando ya no está en este mundo fue quien desde muy pequeño me enseñó la importancia de los estudios y quien fue mi inspiración para estudiar la carrera.

A mi esposa Gabriela de los Ángeles a quien amo muy apasionadamente y que gracias a su apoyo incondicional termine este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

- ◆ A la Universidad de Quintana Roo por haberme permitido ingresar y estudiar una carrera profesional en sus instalaciones.
- ◆ Al M.C. José Martín Rivero Rodríguez quien fue mi tutor académico y que siempre me dio una opinión acertada acerca de mi programación, por ser un excelente profesionalista y darnos como maestro lo mejor que pudo principalmente en las asignaturas que impartió.
- ◆ Al Ing. José Luis Guevara Franco por aceptar ser mi director de tesis y motivarme a concluir el proyecto, a su vez por su excelente sistema de enseñanza en el cual siempre nos motivó a la investigación.
- ◆ Al Q.F.B. José Luis Gonzales Bucio por su apoyo como profesor y principalmente por ayudarme a desarrollar la investigación de mi proyecto de titulación.
- ◆ A los Doctores Manuel Carreón Jiménez, Víctor Hugo Delgado Blas y José Alfonso Canche Uh, quienes hasta el día de hoy me han motivado a entender que no existen límites cuando se desea aprender.
- ◆ A todos los profesores que me brindaron su enseñanza a lo largo y ancho de mi estancia como estudiante, tanto de la DCI como en las otras divisiones.
- ◆ Al M.C. Walter Magaña Landeros Por ser un excelente profesor y amigo muy querido.
- ◆ Al M.C. Geordi Chamlati Guillen quien es un gran amigo y siempre me apoyo como profesor y amigo.
- ◆ A los compañeros de la carrera de Ing. Ambiental 2008 quienes fueron gran apoyo a los cuales les guardo mucho cariño y respeto.
- ◆ A mis compañeros Geovanny y Arafat por siempre trabajar conmigo en los equipos de trabajo a quienes admiro y estimo como amigos y colegas.
- ◆ A Chin Yu-Lin mi compañero taiwanés quien fue una inspiración por su dificultad por hablar español y que a pesar de todo nunca se rindió.

RESUMEN

En el presente trabajo se simuló el proceso de lixiviación de un vertedero a cielo abierto, para esto se tomaron muestras de suelo en tubos de PVC del rancho el Manantial ubicado en el municipio de Bacalar, Quintana Roo.

A cada tubo se le colocó una muestra de RSU para posteriormente captar aguas meteóricas, en el proceso se produjeron lixiviados y muestras de suelo los cuales fueron analizados para determinar la presencia de metales pesados como lo son el Pb, Hg y Cd. La determinación de metales presentes en el suelo fue mediante el método de digestión de suelos, para la eliminación de componentes orgánicos que puedan interferir principalmente en la variación del análisis en los metales pesados. De acuerdo a la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

El análisis para determinar las concentraciones de metales pesados en los lixiviados se realizó mediante la NMX-AA-051-SCFI-2001 que consiste en la medición de los elementos traza.

Las muestras de suelo reflejaron una presencia del 100% para Pb y Cd y 88.8% en Hg y la presencia de Pb, Hg y Cd en las muestras de lixiviados fue del 100%.

Para la simulación de vertedero se realizaron pruebas en la determinación de la permeabilidad para este procedimiento se aplicó el método del permeámetro con carga constante con la finalidad de conocer el tipo de suelo que tiene la zona y saber con qué rapidez se infiltran los lixiviados por debajo del suelo.

INDICE

SECUENCIA	TEMA	PAGINA
	INTRODUCCION	9
	ANTECEDENTES	11
	JUSTIFICACION	13
	MARCO LEGAL	14
	OBJETIVOS	18
1.	GENERALIDADES	19
1.1.	CLIMA	19
1.2.	HIDROGRAFÍA	21
1.3.	HIDROLOGÍA	21
1.4.	GEOLOGÍA SUPERFICIAL	23
1.5.	TIPO DE SUELO	25
2.	METODOLOGÍA	28
2.1.1.	TIPOS DE MUESTREO DE SUELO	28
2.1.1.1.	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MUESTREO	31
2.1.1.2.	MÉTODO MONOLITOS	32
2.1.1.3	PROCEDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO EN COLUMNAS	32
2.1.2.	DETERMINACIÓN LA DE PERMEABILIDAD	35
2.1.2.1.	PERMEABILIDAD	35
2.1.2.2.	MÉTODOS EXISTENTES PARA CALCULAR LA PERMEABILIDAD DEL SUELO	36
2.1.2.3.	SELECCIÓN DEL METODO DE ANALISIS PARA CAULCULAR LA PERMEABILIDAD	44
2.2.	PROCESOS DEL EXPERIMENTO	44
2.2.1.	MÉTODO DEL CUARTEO	45
2.2.1.1.	COLECTA DE RSU	45
2.2.1.2.	CUARTEO DE RSU	45

2.2.2.	MONTAJE DEL EXPERIMENTO	47
2.2.3.	CAPTACIÓN DE LIXIVIADOS	50
2.2.3.1.	REGISTROS DE PRECIPITACIÓN DE LA LLUVIA	51
2.2.3.	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO PARA EL ANÁLISIS DE METALES	54
2.2.4.	ANÁLISIS DE METALES EN AGUA POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	55
2.3.	LIXIVIADOS	57
2.3.1.	PRINCIPALES FUENTES DE GENERACION DE LIXIVIADOS	57
2.3.1.1.	GENERACION DE LIXIVIADOS CON RSU	58
2.3.1.2.	ARRASTRE DE METALES	59
2.3.2.	CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE MUESTREO	60
2.3.3.	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LIXIVIADOS	62
2.3.3.1.	HUMEDAD DE LA MUESTRA DE SUELO	62
2.3.4.	POROSIDAD	63
2.3.5.	ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE LIXIVIADOS PARA EL ANÁLISIS DE METALES	64
3.	METODOLOGIA PARA CUMPLIR CON CADA OBJETIVO	66
3.1.	DETERMINACIÓN CON PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE	66
3.1.1.	CALCULANDO LA PERMEABILIDAD	67
3.2.	DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN MUESTRAS DE SUELO	68
3.2.1.	TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS	68
3.2.2.	PREPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN	71
3.3.1.	DETERMINACION DE LA HUMEDAD	74
3.3.1.1.	CALCULANDO LA HUMEDAD DE LA MUESTRA	78

3.3.2.	DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD	79
3.3.3	DETERMINACIÓN DE METALES EN LIXIVIADOS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	81
3.3.3.1.	TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE LIXIVIADOS	81
4.	RESULTADOS	84
4.1.	RESULTADOS DE LA PERMEABILIDAD	84
4.2.	RESULTADOS DE LA ABSORBANCIA EN LAS MUESTRAS DE SUELO CON PB, HG Y CD	85
4.2.1.	LIMITES INTERNACIONALES PARA METALES PESADOS EN SUELOS	91
4.3.1.	RESULTADOS DE LA HUMEDAD	94
4.3.2.	RESULTADOS DE LA POROSIDAD	95
4.3.3.	RESULTADOS DE METALES EN LIXIVIADOS	96
4.3.4.	LIMITES INTERNACIONALES DE METALES PESADOS EN LIXIVIADOS	102
5.	CONCLUSIÓN	105
6.	RECOMENDACIONES	108
7.	ANEXOS	109
8	ANEXOS 2	118
9.	BIBLIOGRAFIA	124

INTRODUCCIÓN

Se define a los lixiviados como aquellos líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contienen en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de los cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos (NOM-083, SERMANAT, 2003). De manera que, los lixiviados son considerados como una potencial fuente de contaminación para el suelo y aguas subterráneas, debido a que diluyen compuestos y descienden hasta la parte más baja del lugar. Por lo que es necesario valorar la producción durante la vida del relleno para planear correctamente el control del sitio. Así mismo, los lixiviados se producen a lo largo de las etapas de la descomposición de los RSU, a causa de la percolación de agua de lluvia, en donde las características fisicoquímicas varían según la composición de los residuos.

Debido a la creciente generación de Residuos sólidos urbanos (RSU) se han contaminado vastas zonas de suelo, provocado por el descontrol en los tiraderos a cielo abierto, produciendo grandes cantidades de lixiviados provenientes de material orgánico e inorgánico y que por la precipitación anual se mantiene en constante escurrimiento afectando las columnas de suelo y cuerpos de agua subterránea.

La presencia o ausencia de la geo membrana en las diferentes etapas de un sitio de disposición final, lleva a suponer que podría haber una diferencia significativa en los valores de pH, debido a que en ausencia de dicha película plástica, el lixiviado entraría en contacto con el suelo natural donde se encuentra el sitio de disposición final (Robles, Morales, AB Piña, Espíndola, Tovar y Valencia. 2011).

De acuerdo a la norma (NOM-052, SEMARNAT, 2005), los lixiviados de los rellenos sanitarios se consideran residuos peligrosos. Por lo que es necesario realizar la caracterización para comprender el riesgo en cada relleno sanitario, puesto que contamina suelos, agua superficial y subterráneas. Así mismo, es necesario entender las propiedades de los lixiviados para su tratamiento y reducir

el impacto al medio. En cuanto a los suelos alcalinos en lugares donde la zona no cuenta con geo membrana se llegan a modificar las propiedades fisicoquímicas de los lixiviados, a causa de un aumento en la alcalinidad, los metales pesados se precipitan en forma de carbonatos e hidroxilos sedimentados.

En el presente trabajo de investigación se analizó la generación de lixiviados como producto de los residuos sólidos urbanos (RSU) y el aporte de los metales pesados como el cadmio, el mercurio y el plomo en los lixiviados mediante la degradación de la materia orgánica y con el suministro de las lluvias para la percolación de líquidos en las muestras de suelo.}

Para esta investigación se tomaron las muestras de suelo en Bacalar, municipio del Estado de Quintana Roo, en donde, se emplean Vertederos a cielo abierto como disposición final para los RSU. La falta de la regulación para sitios de disposición final de RSU en bacalar está afectado negativamente el suelo y se requiere de la aplicación de rellenos sanitarios que tengan una operación eficiente para evitar contaminar el entorno.

Los datos obtenidos en la presente investigación, ayudará a modelar el comportamiento de los lixiviados y aportará información acerca de los metales pesados arrastrados por agua de lluvia, como principal factor de producción en la generación de lixiviados en los rellenos sanitarios.

ANTECEDENTES

En México y en otros países la implementación del relleno sanitario es una eficaz forma de confinar los residuos sólidos, pero estos sistemas de control pueden presentar problemas ambientales de carácter peligroso, por el mal uso, construcción o de malas operaciones, en este tipo de sistemas pueden generarse escurrimientos o vertidos accidentales de lixiviados y estos ocasionan una variedad de problemáticas, para el suelo y/o mantos acuíferos.

Los Residuos sólidos municipales constan de 6 tipos de generadores que son: residenciales comerciales, institucionales, construcción y demolición, servicios municipales y plantas de tratamiento, los residuos hospitalarios también pueden entrar a esta categoría, sin embargo, cuando contienen material infeccioso se consideran residuos sólidos peligrosos (Francisco B., 1999).

La generación de la basura en municipios se realiza con la recolección de diferentes tipos de generadores, por lo que, su recolección se apega a un plan de recolección en donde cada categoría entra a la que corresponde de acuerdo con el tipo de residuos que desecha. Esto nos indica que, de los tipos de desechos que se generan más del 50 % son de origen orgánico que pueden ser biodegradados, tenemos por ejemplo: los residuos alimenticios, de jardinería, algodón, cartón, papel, hueso, fibras vegetales y otros. Más del 59 % de los residuos sólidos municipales es biodegradable (INEGI, 1994).

Los lixiviados son compuestos químicos generados a partir de la mezcla de los jugos escurridos principalmente por materia orgánica en descomposición, la cual se va percolando y almacenando en zonas de poca permeabilidad, en donde se van haciendo las mezclas a medida que se escurren los jugos arrastrando consigo materiales particulados y/o coloidales, con los que varía la composición según la variedad de los residuos, los lixiviados se pueden generar en grandes volúmenes en temporadas de lluvia, estos compuestos no se dan de manera natural con las características químicas que obtienen a en los rellenos sanitarios .

Las concentraciones en los lixiviados principalmente se dan por la cantidad de agua infiltrada en el área y por la composición de la basura acumulada en el relleno sanitario. Estos líquidos cuentan con altas DQO, DBO y cuenta con

microorganismos patógenos y no patógenos. Estas propiedades en los lixiviados tienen la capacidad de modificar las características químicas y bacteriológicas del agua superficial y subterránea con que tenga contacto.

Los lixiviados contienen materiales y minerales disueltos o en suspensión en sus concentraciones. El carbono orgánico presente los jugos aumenta las concentraciones de metales por su capacidad de absorción, así que sirven de transporte a los metales traza en el escurrimiento superficial del lixiviado.

Es importante mencionar que la capacidad de los metales pesados para acumularse en suelos en formas solubles, cambiando el equilibrio natural y contaminando los mantos acuíferos, en muchos casos la introducción de estos compuestos hace presencia en la red trófica. En este caso, se puede considerar como un material toxico.

En el manejo de un relleno sanitario es de máxima importancia contar con un sistema de control de los contaminantes en las zonas de vertido, principalmente en las etapas activas de la descomposición de los residuos. Es preciso saber que, los contenidos y las cargas de contaminantes descienden con la estabilidad de los residuos con el tiempo.

Sin embargo, también se sabe que los lixiviados son el potencial riesgo de contaminación del agua subterránea, durante muchos años; es por esto, que la durabilidad del impermeabilizado y del sistema de captación de lixiviados se consideran a largo plazo muy importante.

JUSTIFICACIÓN

Debido al crecimiento poblacional, y las necesidades que trae consigo se ha convertido en un problema de carácter Ambiental. Ya que, la generación de residuos sólidos ha ido aumentando conforme la población va creciendo. En consecuencia, la contaminación va en aumento, el ingreso de Residuos Sólidos en sitios de confinamiento de mala calidad o mal diseñados es un factor clave en la degradación del ambiente y los recursos.

Podemos percatarnos que diario cada familia, empresa, zonas de recreación, en las calles se tira desde una cascara de naranja, fierros, bolsas, papel, comida, pilas de todo tipo, plásticos, entre otros. Todo es depositado en un solo recipiente que poco a poco va generando grandes cantidades de desechos orgánicos e inorgánicos, los cuales se van acumulando día a día en grandes montañas de desechos. Podemos percatarnos que los desechos inorgánicos contienen grandes variedades de materiales tóxicos en los cuales se está presente la categoría de metales pesados que generan contaminación. De manera, que dicha acumulación es algo que no se puede evitar. Todo ello logra que al momento de llover, estos desechos se combinan generando lixiviados con gran variedades coloides y partículas suspendidas de materiales tóxicos volviendo a estos jugos un material peligroso con gran capacidad de contaminación.

Con referencia a lo anterior, los materiales ya desechados traen consigo considerables cantidades de artículos metálicos, muchos de ellos son tóxicos, otros al degradarse aportan materiales sedimentables, que por la generación y percolación de los jugos lixiviados arrastra a su paso las partículas y/o coloidales que por la materia orgánica, son atraídas con las cargas iónicas de los compuestos presentes.

El presente proyecto de investigación, aportará información acerca de la capacidad potencial de contaminación, respecto a los volúmenes generados de lixiviados, qué se han escurrido de manera incontrolada en el relleno sanitario de Bacalar, Quintana Roo, esto ha ocurrido de manera accidental causado por la falta de acciones como la falta de mantenimiento, mala operación, mal diseño y/o construcción del área de confinamiento.

MARCO LEGAL

Para realizar esta investigación es necesario tener conocimiento sobre el marco legal sobre las normatividad mexicana las cuales tiene como principal función asegurar los valores, regular, la forma del diseño de proyectos, servicios de bienes de consumo ya sea de personas físicas o morales. En este caso pondremos atención en las normas que nos hablen sobre la protección ambiental.

La siguiente norma es: *NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos (NOM-052, SEMARNAT, 2005).*

El principal objetivo de esta norma es constituir los métodos de identificación para conocer si un residuo es peligroso, el cual debe de contener una lista de los residuos peligrosos y sus características que hacen que se considere como peligroso.

Los residuos peligrosos, en cualquier estado físico, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, inflamables, tóxicas, y biológico-infecciosas, y por su forma de manejo pueden representar un riesgo para el equilibrio ecológico, el ambiente y la salud de la población en general, por lo que es necesario determinar los criterios, procedimientos, características y listados que los identifiquen.

Los avances científicos y tecnológicos y la experiencia internacional sobre la caracterización de los residuos peligrosos han permitido definir como constituyentes tóxicos ambientales, agudos y crónicos a aquellas sustancias químicas que son capaces de producir efectos adversos a la salud o al ambiente (NOM-052, SEMARNAT, 2005). Esta norma se encarga de vigilar a las personas, instituciones u organismos responsables de identificar la peligrosidad de un residuo.

La siguiente norma sobre la contaminación del suelo es la NOM-057-SEMARNAT-1993, que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos (NOM-057, SEMARNAT, 1993).

Esta NOM está elaborada para verificar el diseño, operación y construcción de las celdas para los confinamientos controlados que funcionan como ordenamiento final para los residuos peligrosos, los cuales deben reunir ciertas condiciones de seguridad, que garantice la protección de la población y sobre todo que mantenga un equilibrio ecológico.

La NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial (NOM-083, SEMARNAT, 2003).

El objetivo de esta norma es establecer de manera específica el diseño, construcción, operación, monitoreo, de obras que tienen destinadas algún lugar de disposición final para los residuos sólidos urbanos.

Debido al crecimiento demográfico, el aumento de la demanda de los servicios de recolección ha provocado que se exceda la capacidad del ambiente para absorber la gran cantidad de residuos sólidos provenientes de la ciudad.

Es por ello que, la NOM-083-SEMARNAT-2003 coadyuvará a tener un control de acuerdo a los lineamientos que garanticen la protección del ambiente y de forma específica al sitio afectado, pretendiendo buscar a través de esta norma el equilibrio ecológico, tratando de minimizar los efectos contaminantes que se producen debido a la falta de diseño y organización de los desechos. Esta norma es la encargada de vigilar que, tanto las instituciones privadas y como las públicas sigan el objetivo de preservar y mantener el equilibrio del ambiente en específico el suelo, debido a los tóxicos que se puedan generar.

La NOM 147- SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio (NOM 147-SEMARNAT/SSA1-2004).

El objetivo de esta norma se enfoca en establecer criterios para la caracterización y determinación de concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio, vanadio y sus compuestos inorgánicos; así como los criterios de remediación.

Es por ello que debido, al desarrollo de actividades económicas de forma no sustentable, ha contribuido a la emisión de compuestos potencialmente tóxicos que bajo ciertas condiciones y concentraciones, pueden tener efectos nocivos a la salud de la población y trayendo afectaciones al equilibrio ecológico y el ambiente. La forma de producción implementadas en un pasado y debido a la escasez de especificaciones o reglamentos ambientales en materia de suelos han provocado la aparición de lugares contaminados, lo que trae como consecuencia la incertidumbre de cómo darle solución o remediar el efecto que se ha ido produciendo en los suelos contaminados. De manera que, esta NOM 147-SEMARNAT/SSA1-2004 establece diferentes alternativas para darle solución como la determinación de concentraciones de fondo de suelo, el cálculo de concentraciones específicas conforme a las características propias del sitio y de concentración basadas en la biodisponibilidad de los contaminantes.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) fue promulgada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Esta ley fue elaborada para preservación y restauración del equilibrio ecológico. Así como también, regular la protección ambiental del territorio mexicano y las zonas en las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Esta Ley es de orden público y de interés social, la cual tiene como principal objetivo promover el desarrollo sustentable y establecer las bases para la protección del ambiente, como lo es: Garantizar el derecho de toda persona de vivir en un medio ambiente sano; Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos que requieren para su aplicación; Preservar, restaurar y mejorar el ambiente; El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas; La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo; El establecimiento de medidas de control y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y de las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones administrativas y penales que correspondan (LGEEPA, 1988. DOF. Cap.1. art. 1).

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), fue promulgada en el Diario Oficial de la Federación el 08 de Octubre de 2003. Esta Ley se decretó para la protección al ambiente en territorio nacional en materia de protección y gestión integral de residuos. El objetivo de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos es garantizar que cada persona tenga un medio ambiente sano, coadyuvar en el desarrollo sustentable mediante la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; así como también, prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación. Es por ello que esta Ley establece: La aplicación de los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos; Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana; Regular la generación y manejo integral de residuos peligrosos, así como establecer las disposiciones que serán consideradas por los gobiernos locales para la regulación de los residuos que conforme a dicha Ley sean de su competencia; Prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como definir los criterios a los que se sujetará su remediación; Regular la importación y exportación de residuos. También establece medidas de control, medidas correctivas y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones que corresponda (LGPGIR, 2003. DOF. Cap. 1. Art.1).

OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar la contaminación del suelo generada por metales pesados ocasionados por los RSU.

OBJETIVO PARTICULARES

O. P. 1: Determinar la permeabilidad de la muestra de suelo

O. P. 2: Determinar la concentración de metales pesados (Pb, Hg y Cd) en las muestras de suelo contaminado con RSU.

O.P. 3: Determinar la concentración de metales pesados (Pb, Hg y Cd) en los lixiviados generados por los RSU.

1. GENERALIDADES

1.1. CLIMA

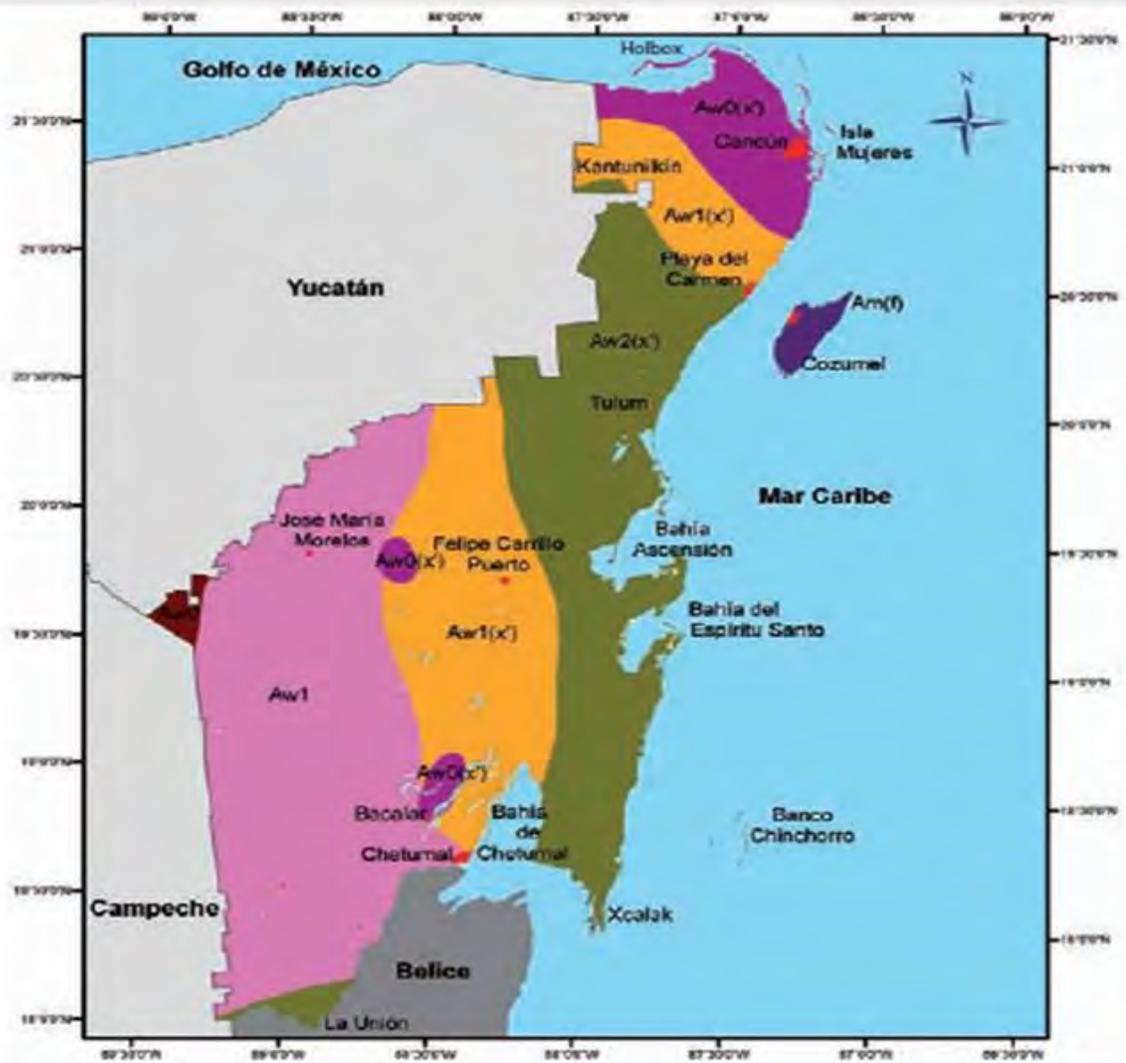
Primero que nada, hablaremos de lo general a lo particular empezado por el estado de Quintana Roo el cual posee un clima cálido húmedo con lluvias en verano. El clima predominante con un 99% en Quintana Roo es el clima cálido subhúmedo y el 1% corresponde a la Isla de Cozumel con un clima cálido húmedo.

La temperatura media anual del estado es de 26°C, la temperatura máxima promedio es de 33°C y se presenta en los meses de abril a agosto, la temperatura mínima promedio es de 17°C durante el mes de enero (INEGI, 2014).

La precipitación media estatal es de entre 700 y más de 1 500 mm anuales. Las lluvias se presentan durante todo el año, siendo más abundantes en los meses de junio a octubre. En la figura 1. Se puede apreciar los tipos de clima que hay en Quintana Roo.

Ahora bien, el clima en Chetumal es sub-húmedo y muy cálido, con época de lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 27°C, con temperatura máxima de 40°C y mínima de 14°C y precipitación promedio anual de 1249 mm. Esta región tiene ingreso de humedad proveniente del mar Caribe, siendo el mes de Julio el de mayor humedad relativa con 93% y Marzo con la menor de 80.9% (DIGAOHM, SEMAR, 2012).

Figura 1. Clima de Quintana Roo



Simbología

-  Am(f) Cálido húmedo. Más húmedo. Lluvia en verano
-  Aw0 Cálido subhúmedo. Menos húmedo. Lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm
-  Aw0(x') Cálido subhúmedo. Menos húmedo. Lluvia invernal > 10.2 mm
-  Aw1 Cálido subhúmedo. Humedad media. Lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm
-  Aw1(x') Cálido subhúmedo. Humedad media. Lluvia invernal > 10.2 mm
-  Aw2(x') Cálido subhúmedo. Más húmedo. Lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm
-  Zona urbana
-  Cuerpo de agua

Fuente: Pozo, C., Armijo Canto, N. y Calmé, S. 2011. Riqueza biológica de Quintana Roo un análisis para su conservación: Carta hidrológica de Quintana Roo.

1.2. HIDROGRAFÍA

En Quintana Roo debido a la alta permeabilidad y al escaso relieve de las rocas calcáreas, impiden que haya corrientes de agua superficiales. Mientras que el Río Hondo es el único río de la entidad, el cual forma la frontera natural con Belice. Existen cenotes ubicados en la línea costera, entre los que destaca el Cenote Azul, y otros alejados de la costa; así como 33 lagunas de las cuales la más importante es Bacalar (Gobierno de Estado de Quintana Roo. 27 de abril de 2013).

Por su parte en Chetumal, el patrón de corrientes es afectado principalmente por la acción de los vientos alisios del Este y Sureste por lo que la velocidad de las corrientes superficiales es en promedio de 0.5 a 1 nudo, con dirección Oeste y Noroeste. En la temporada invernal de Nortes, la dirección de las corrientes superficiales es Sur–Sureste con velocidad hasta de 1.5 nudos. El fenómeno de las mareas tiene poco efecto dinámico en la corriente, desplazando la masa de agua en dirección Norte – Sur (DIGAOHM, SEMAR, 2012).

1.3. HIDROLOGÍA

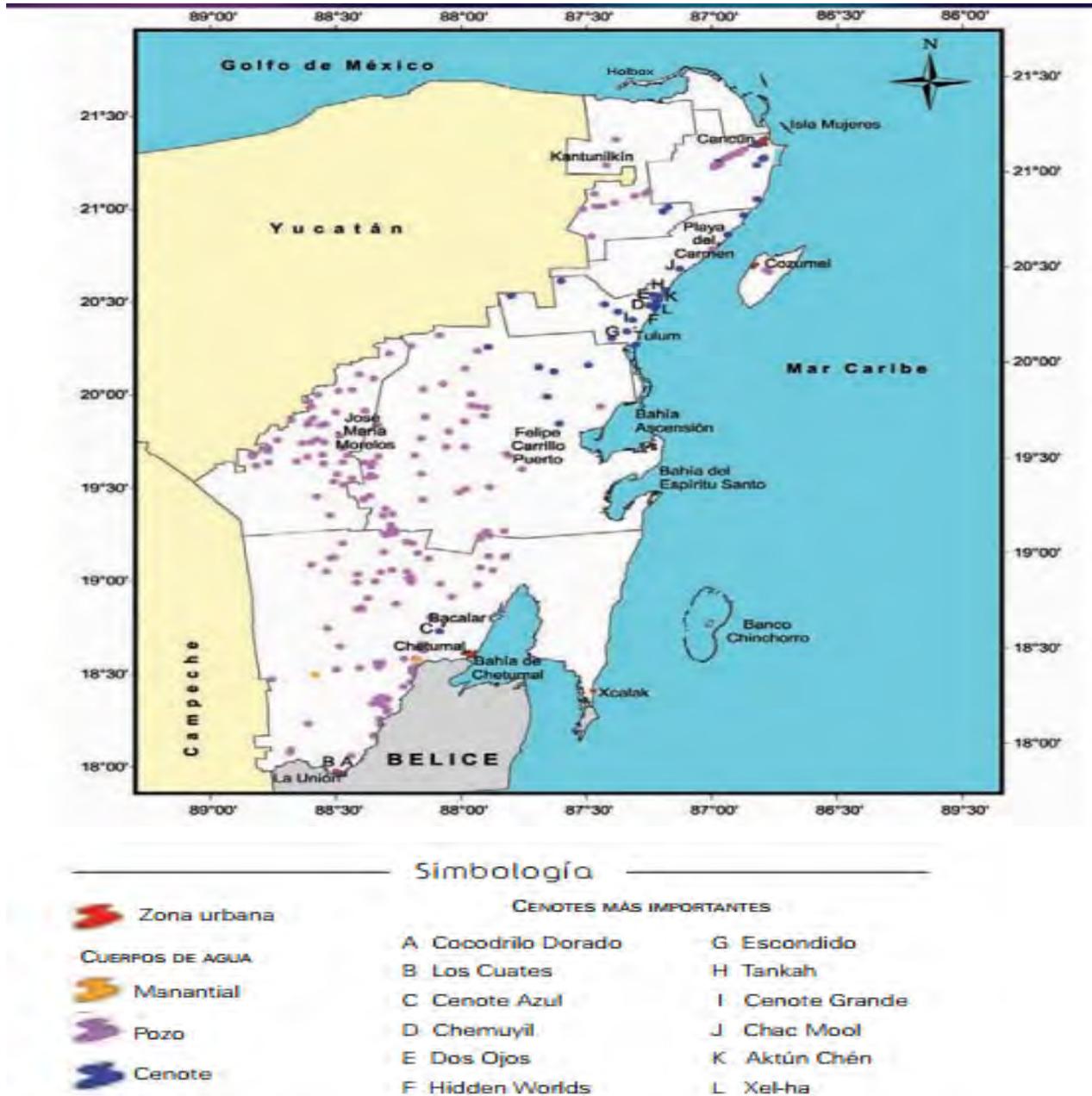
El agua es primordial para los ecosistemas así mismo es indispensable para la sustentabilidad ambiental. Por ello el uso de las aguas superficiales para abastecimiento público es 0.2% de forma anual representando un porcentaje muy bajo, mientras que un 99.8% es extraído de fuentes subterráneas.

De acuerdo con Pozo, C., Armijo Canto, N. y Calmé, S. (editoras) 2011. En Quintana Roo existen tres acuíferos para la administración del agua de acuerdo con la división nacional, pero para fines prácticos, se considera como uno solo, del cual se extrae 100 % de agua subterránea para todos los usos.

Dicho manto acuífero es de alta permeabilidad en la mayor parte de la entidad, excepto en su área suroeste, que es de permeabilidad media, así como en una pequeña franja al norte. Sus acuíferos son freáticos, con características hidráulicas heterogéneas. La mayor parte de la superficie estatal es de llanuras con notable desarrollo cárstico, que deja al descubierto los cenotes; en tanto que en el área de lomeríos la red de drenaje subterráneo está menos desarrollada y

no se observa desde la superficie (Pozo, C., Armijo Canto, N. y Calmé, S. 2011). Tal como se aprecia en la Figura. 1.2.

Figura 1.2. Hidrología subterránea de Quintana Roo



Fuente: Pozo, C., Armijo Canto, N. y Calmé, S. Carta hidrológica de Quintana Roo 2011.

1.4. GEOLOGÍA SUPERFICIAL

La geología en el estado está constituida por una gran variedad de formaciones geológicas esta clasificación va de acuerdo a su tipo de suelo, fauna, geografía composición y origen de la formación del área, a continuación un breve descripción ver Figura 1.3.

Eoceno (E)

Formación Chichen Itzá. Conformada casi exclusivamente de rocas calizas fosilíferas que presentan ligeras variaciones litológicas que han permitido dividirla en tres miembros:

Miembro Xcabal. Está constituido por calizas blancas o grises en capas de espesor pequeño a mediano, pudiendo pasar a margas amarillas o inclusive a lutitas verdosas. Estas rocas forman pliegues cerrados, con echados que alcanzan 20° o más.

Miembro Pisté. Consta de calizas blancas o amarillentas, a menudo masivas, Los echados son muy pequeños o nulos y de orientación variable.

Miembro Chumbec. Está representado por calizas masivas blancas, muy cristalinas, con aspecto de mármoles sacaroides. (Territorio, Economía y Sociedad, S. A de C. V. 2008).

Mioceno (M)

Formación Bacalar. Se halla conformada por calizas cretosas con nódulos, margas en los niveles inferiores y a veces finas capas de yeso. Localmente este tipo de rocas reciben el nombre de *Sashcab* (Territorio, Economía y Sociedad, S. A de C. V. 2008).

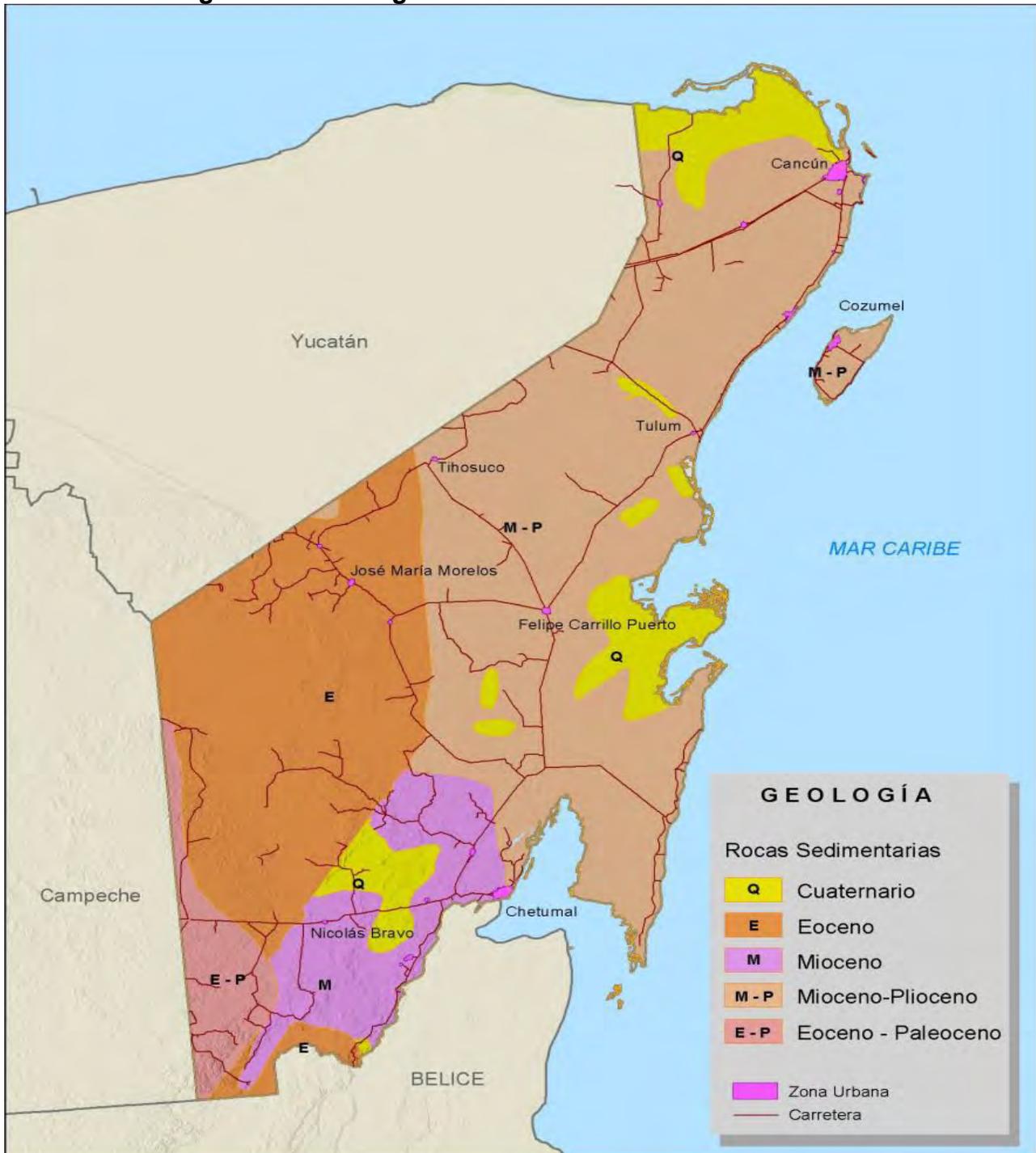
Mioceno-Plioceno (M-P)

Formación Carrillo Puerto. Está constituida por caliza recristalizada con micro fauna, caliza coquinóide y depósitos conglomeráticos.

Cuaternario (Q)

Está representado por depósitos de caliche, calizas alteradas, calcarenitas, calcilutitas y depósitos de playa. (Territorio, Economía y Sociedad, S. A de C. V. 2008).

Figura 1. 3. Geología del estado de Quintana Roo



Fuente: Territorio, Economía y Sociedad, S.A. de C.V. (2008). Pago de servicios ambientales de captura de agua y desempeño hidrológico en el Corredor Sian Ka'an Calakmul. Coordinación de Corredores y Recursos Biológicos. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). D.F. México. Pp. 22. Recuperado de: <http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/documentos/ordenamiento/Informefinalterritorioeconomiasociedad2007.pdf>

1.5. TIPO DE SUELO

Se define al suelo como cuerpo natural dinámico, compuesto por minerales, materia orgánica, agua y aire; por lo cual lo asociamos de inmediato al material que nutre y sostiene a las plantas. De manera que, el suelo es un cuerpo tridimensional con propiedades que reflejan el impacto del clima, la vegetación, la fauna, la topografía y, por supuesto, de la actividad humana, todo ello sobre una variable de tiempo transcurrido (Pozo, C; Armijo, N. & Calmé, S. 2011).

En Quintana Roo existen, doce de los treinta grupos de suelos principales, reconocidos por la Base Referencial Mundial para el Recurso del Suelo y cinco grupos abarcan un 85.58% de la superficie del estado (observar el cuadro 1). EL 14.42% está conformado por los otros siete grupos de suelos (Arenosol, Cambisol, Fluvisol, Histosol, Nitosol, Regosol, Solonchak), cada tipo de suelo ayuda a diferentes actividades que se realizan en el Estado, desde la agricultura hasta las construcciones (Pozo, C; Armijo, N. & Calmé, S. 2011).

En la zona de muestreo ubicado en el municipio de bacalar del estado de Quintana Roo uno de los grupos de suelo predominantes es el de tipo calcáreo, conocido comúnmente como Sascab según la nomenclatura maya para los suelos de la región (observar cuadro 1), este tipo de suelo puede ser superficial, en algunas áreas se encuentra con algún estrato de humus o una capa superficial de tierra rojiza con una profundidad hasta de un metro, en lugares de generación de tierras por la degradación de materiales orgánicos y hojarasca (Pozo, C; Armijo, N. & Calmé, S. 2011).

Cuadro 1.0 Tipo de suelo de Quintana Roo.

Nombre maya	Base referencial mundial para el suelo	Características	Foto del tipo de suelo
Sascab	Calcáreo	Piedra caliza de color rojizo a blanco con una consistencia de polvo con algunas piedras pequeñas redondas (Acuña,A.2008)	
Ak' alche	Vertisol gléyico o gleysol vértico	Tierras bajas que se inundan, durante largos periodos de tiempo. Provocando una coloración especial en el suelo, debido a la reducción de los óxidos férricos a sus formas ferrosas (Pozo, C; Armijo, N. & Calmé, S. 2011).	
Tzek'el	Leptosol, (lítico o rendzico).	Este tipo de suelo es pedregoso. En cual se puede encontrar roca dura continua a poca profundidad (Pozo, C; Armijo, N. & Calmé, S. 2011).	

<p>K'ankab</p>	<p>Luvisol crómico</p>	<p>Suelo que se desarrolla en lugares donde hay estaciones secas y húmedas, se produce una acumulación de arcilla y el suelo se torna rojo (Pozo, C; Armijo, N. & Calmé, S. 2011).</p>	
<p>Pus-lu'um</p>	<p>Phaeozem</p>	<p>Suelos que no se inundan, situados en lomerío suave, con un horizonte superficial. Oscuro y generalmente fértil (Pozo, C; Armijo, N. & Calmé, S. 2011).</p>	

Fuente: modificado de (Pozo, C., Armijo, N. y Calmé, S. (2011). Riqueza biológica de Quintana Roo un análisis para su conservación: Carta hidrológica de Quintana Roo. Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones. México, D. F.) & (Acuña, A. (2008). Sascab: en el área de Yucatán, México. Global Césped. Recuperado de: <http://globalcesped.org/noticias-mainmenu-2/los-suelos/128-sascab-en-el-a-de-yucat-mco>).

2. METODOLOGÍA

2.1.1. TIPOS DE MUESTREO DE SUELO

MUESTREO DE SUELO

Para obtener las muestras de suelo, es necesario identificar un área adecuada que contenga el tipo de suelo con el cual se desea trabajar, estas muestras pueden ser alteradas e inalteradas. El muestreo se debe realizar de acuerdo a la metodología establecida apoyándose en los métodos descritos a continuación.

◆ **Muestras representativas alteradas.**

Son aquellas cuya estructura es afectada por el muestreo; sirven para clasificar los suelos, hacer determinaciones de propiedades físicas y para preparar especímenes compactados, para pruebas de permeabilidad y mecánicas. (SIAPA, 2014).

◆ **Muestreo en pozos a cielo abierto.**

Con objeto de elaborar perfiles estratigráficos de los pozos excavados, se toman muestras alteradas en cada estrato y se determinan la propiedad índice de los suelos muestreados, para su posterior clasificación, según el Sistema Único de Calcificación de Suelos, (SUCS) (SIAPA, 2014).

Las muestras se pueden tomar a medida que progresa la excavación ó bien una vez terminada ésta. Para realizar el muestreo se abre una ranura vertical de sección uniforme, de 20 cm de ancho por 15 cm de profundidad y se extrae el material representativo de cada estrato (aproximadamente 15 Kg) El material se puede colocar en costales de tejido cerrado, en bolsas de Polietileno (SIAPA, 2014).

Cada muestra debe llevar sujetas dos etiquetas de identificación, una dentro y otra afuera, en las cuales se anota el nombre de la obra, la fecha, el kilometraje y la profundidad a que se tomó la muestra (SIAPA, 2014).

Paralelamente a la toma de muestras, se efectúa la clasificación del estrato según lo especifica el Sistema Único de Clasificación de Suelos (SUCS) .En función de esta clasificación, se determina el peso de la muestra a tomar, de tal manera que el material sea suficiente para efectuar las pruebas descritas en el concepto de trabajos de laboratorio (SIAPA, 2014).

◆ **Muestreo a partir de la prueba de penetración estándar.**

Durante la realización de esta prueba, el tubo partido permite recuperar muestras del material explorado, que se ha alterado por la forma de hincado del muestreador; este material generalmente se recupera en tramos de 60 cm, debe ser extraído del tubo partido y colocado en bolsas dobles de Polietileno herméticamente cerrados, previa inspección y descripción de campo. Cada muestra debe llevar sujetas dos etiquetas de identificación, una dentro y otra afuera, en las cuales se anota el nombre de la obra, la fecha, el sitio y la profundidad a que fue tomada (SIAPA, 2014).

◆ **Muestreo integral en pozos a cielo abierto (PCA) ó en frentes abiertos.**

Para efectuar este muestreo, una vez excavado el Pozo a cielo abierto (PCA) ó removido el material alterado en el frente abierto, se procede a realizar una ranura vertical en una de sus paredes, de 20 cm de ancho por 15 cm de profundidad, se recoge el material representativo de todos los estratos en un costal de tejido cerrado, para evitar pérdida de finos. La ranura se inicia por debajo del material que se considere de despalme y se mide el espesor.

Así mismo, se mide el espesor del material muestreado y se indica si este material continúa hacia abajo el material representativo de esta muestra (2 Kg. aproximadamente) se coloca en bolsas de polietileno, con objeto de evitar la pérdida del contenido natural de agua (SIAPA, 2014).

◆ **Muestras inalteradas.**

Son aquellas cuya estructura no es afectada significativamente por el muestreo; se utilizan para clasificar los suelos y hacer determinaciones de propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas. En las obras de infraestructura de almacenamiento se requiere realizar estos muestreos con la finalidad de ampliar la información de los parámetros obtenidos mediante estudios de campo, determinado las propiedades mediante pruebas especiales de laboratorio (SIAPA, 2014).

◆ **Muestreo en pozos a cielo abierto (PCA).**

El muestreo se hace preparando muestras de tipo cúbicas, cuidadosamente labradas, a la profundidad requerida y por medio de pruebas de laboratorio especiales servirán para determinar mecánicas e hidráulicas de los materiales.

Estas muestras cúbicas, de 20 cm de arista, se deben proteger de inmediato con manta de cielo, que se impregna con una mezcla caliente de brea y parafina, utilizando una brocha para evitar la pérdida del contenido natural de agua. La muestra se debe orientar marcando la parte superior con una "S" (SIAPA, 2014).

◆ **Muestreo con tubo de pared delgada.**

Para recuperar muestras inalteradas de las perforaciones en suelos blandos, es necesario utilizar muestreadores que causen la menor alteración posible. Esto se logra con muestreadores de pared delgada, constituidos por un tubo de acero ó latón, con el extremo inferior afilado y unido en la parte superior con la cabeza muestreadora, la que a su vez está montada en el extremo inferior de la columna de barras de perforación, con las cuales se hinca el muestreador desde la superficie. Los diámetros más comunes de este muestreador son 7.5 y 10 cm. El muestreador Shelby se debe hincar una longitud de 75 cm, con una velocidad constante entre 15 y 30 cm/s; se debe permitir que una longitud de 15 cm quede sin muestra, donde se alojaran los azolves. Después del hincado, se deja reposar la muestra durante tres minutos, para generar mayor adherencia entre tubo y suelo (SIAPA, 2014).

◆ **Muestreo con tubo dentado.**

En suelos duros y compactos se utiliza el tubo dentado, para obtener muestras con un mínimo de alteración.

El tubo muestreador es similar al tubo de pared delgada, excepto que la parte inferior tiene 8 dientes de corte, dispuestos simétricamente, que miden entre 0.8 y 1.0 cm de altura y 3 cm de base. En las características del equipo y su operación se destaca la velocidad de hincado, que debe ser constante (1.0 cm/s) (SIAPA, 2014).

◆ **Muestreo con barril Denison.**

Este muestreador opera a rotación y presión, permite recuperar muestras con poca alteración, en arcillas duras, limos compactos y limos cementados con pocas gravas, abajo del nivel freático; las muestras recuperadas son de 7.5 y 10 cm de diámetro.

El barril Denison es el mejor muestreador para las tobas duras, si se muestrea arriba del nivel freático, se debe utilizar aire como fluido de perforación.

En ambos extremos de cada muestra inalterada se deben realizar pruebas de resistencia con torcómetro y penetrómetro de bolsillo. Esta doble determinación de resistencia se efectúa inmediatamente antes de proceder a sellar muestras. El sellado tiene como por objeto proteger las muestras contra las vibraciones y la pérdida de contenido natural de agua, usando para ello papel de estaño y una mezcla de brea y parafina (SIAPA, 2014).

◆ **Muestreo en suelos muy duros y rocas.**

El muestreo en este tipo de materiales se realiza con barriles muestreadores, cuyos diámetros varían entre 22 y 54 mm, las brocas tienen insertos de carburo de tungsteno o diamante. Estos barriles pueden ser sencillos, rígidos o doble giratorio (SIAPA, 2014).

2.1.1.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MUESTREO

El método seleccionado para la obtención de las muestras de suelo fue el muestreo con tubo de pared delgada, conocido también como el método de los monolitos. Este método de muestreo se realiza para obtener muestras de suelo verticales, originalmente se usan tubos de acero o latón y para el desarrollo del muestreo se emplearon tubos de CpvC hidráulico con la finalidad de evitar contaminar las muestras con metales, ya que los experimentos realizados consistían en la determinación de la presencia de metales traza.

El método se empleó por la facilidad de obtener las muestras sin mecanizar su interior, debido a las características del suelo que son adecuadas para este método y principalmente por su aplicación en los experimentos realizados como lo fueron la determinación de la permeabilidad, mediante un permeámetro que se construyó a partir del tubo con la muestra de suelo y la captación de aguas meteóricas para la generación de lixiviados.

2.1.1.2. MÉTODO MONOLITOS.

Los monolitos consisten en pequeñas columnas verticales de suelo, tomadas del campo para exhibición o para su tratamiento en laboratorio, fueron preparados por primera vez en Rusia a fines del siglo diecinueve. Los rusos presentaron perfiles monolíticos de suelo en una exhibición internacional que tuvo lugar en Chicago en 1893-1894, introduciendo así el método en U.S.A.

El término monolito, con su sentido original de bloque pétreo, quizá es inadecuado para designar las muestras sueltas o bien estructuradas que se preparan algunas veces como monolitos, pero lo cierto es que el nombre es conveniente y se encuentra hoy día firmemente establecido (Hodgson, J. M. 1987).

Para el presente trabajo se adaptamos dicho método usando cilindros de CPVC hidráulico. De manera que, para este proyecto de investigación se realizó la toma de cinco muestras de suelo en el municipio de Bacalar con ubicación en la Laguna Mosquiteros. Dichas muestras fueron extraídas mediante un tubo de CPVC hidráulico que previamente fue cortado en fracciones de un metro.

2.1.1.3. PROCEDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO EN COLUMNAS:

MATERIALES Y HERRAMIENTAS:

- 5 piezas de un Metro de tubo PVC sanitario de 4pulg.
- 1 metro de mosquitero.
- Placa metálica circular.
- Pala jardinera.
- Marro.
- Pico.
- Pala.
- Machete.
- Desarmador plano.
- 3 abrazaderas de metal.
- Marcador negro.
- Flexómetro.

- 1) Cortar 5 piezas de tubo PVC un metro cada uno y graduarlos en intervalos de a 10 cm hasta abarcar el tubo por completo.
- 2) Tomar la maya de mosquitero y cortarla en paños de 20cm x 20cm.
- 3) Elegir un área adecuada para tomar las muestras de suelo.
- 4) Adecuar y limpiar el área del muestreo.
- 5) Colocar un tubo en forma vertical para introducirla al suelo.
- 6) Ubicar la placa de acero en el centro de tubo y martillar la placa (observar la imagen 2.1.).

Imagen 2.1. Golpeando la placa para introducir el tubo.



Fuente: elaboración propia (09/02/2013)

- 7) Introducir el tubo hasta alcanza una profundidad de 30 a 50 cm (observar la imagen 2.1.2.).
- 8) Tomar la pala jardinera y escavar alrededor del tubo hasta desenterrar la muestra (observar la imagen 2.1.1. y 5).

Imagen 2.1.1. Introducido a la profundidad deseada.



Fuente: elaboración propia (09/02/2013)

Imagen 2.1.2. Vista de la profundidad de la muestra a 45 cm.



Fuente: elaboración propia (09/02/2013)

- 9) Colocar la maya de mosquitero por debajo del tubo y retirar el tubo con la muestra de suelo para evitar que se desfonde y caiga.
- 10) Colocar abrazaderas a la maya de mosquitero por encima del tubo en la parte inferior.

- 11) Cubrir la parte superior con bolsas plásticas para su transporte y almacenado. Realizar el mismo procedimiento con todos los tubos a una distancia considerable en el área del muestreo.
- 12) Transportar las muestras de manera cuidadosa y evitar su intemperización, almacenarlas en un lugar seco de manera vertical.

2.1.2. DETERMINACIÓN LA DE PERMEABILIDAD

2.1.2.1. PERMEABILIDAD

La permeabilidad es aquella propiedad de un material poroso que permite pasar o infiltrar un fluido, ejemplo de ello el agua o aceite, a través de espacios vacíos (poros) que están interconectados. Este coeficiente de conductividad hidráulica K se obtiene de la ecuación de Darcy la cual se presentara a continuación.

$$Q = k * S \left(\frac{\Delta h}{\Delta L} \right)$$

Donde despejamos a K

$$K = \frac{Q \Delta L}{S \Delta h}$$

Q = caudal $\frac{m^3}{t}$

k = permeabilidad de la muestra $\frac{cm}{seg}$

S = sección del tubo de muestra cm^2

Δh = diferencia de potencial cm

ΔL = altura de la columna de suelo cm

Este coeficiente se determina experimentalmente para conocer la permeabilidad del suelo.

2.1.2.2.METODOS EXISTENTES PARA CALCULAR LA PERMEABILIDAD DEL SUELO

Para la determinación del coeficiente de permeabilidad existen diferentes métodos; los ensayos de laboratorio, los efectuados en el lugar y los métodos empíricos, donde el valor de k es obtenido indirectamente a través de relaciones empíricas con otras propiedades de los suelos (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

A continuación se resumen los distintos métodos:

- **LABORATORIO**
 - a) Permeámetro de carga constante
 - b) Permeámetro de carga variable
- **IN SITU**
 - a) Ensayos carga variable
 - b) Ensayos carga constante
 - c) Slug test (Prueba de barras)
 - d) Pozos de bombeo

ENSAYOS DE LABORATORIO

a) Permeámetro de carga constante

En estos aparatos la cantidad de agua que fluye a través de una muestra de suelo, de dimensiones conocidas, en un tiempo determinado, puede ser medida.

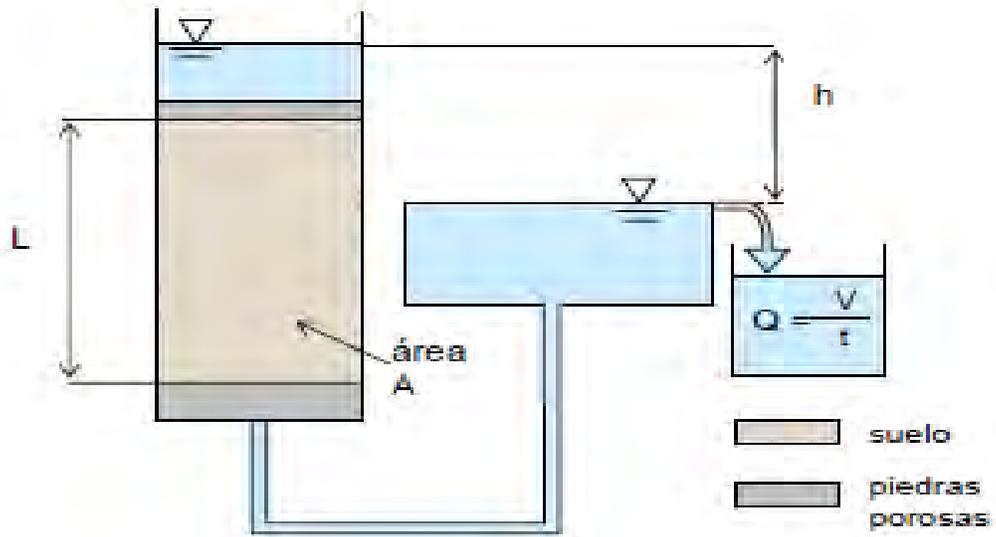
Los niveles de agua a la entrada y salida del permeámetro se pueden mantener constantes por medio de compuertas. La pérdida de carga h , depende únicamente de la diferencia entre los niveles de agua. El diámetro D y el largo L de la muestra pueden ser medidos.

El agua a la salida es recogida en una probeta graduada y la cantidad de descarga Q es medida.

Cabe destacar que este permeámetro es aplicable a suelos relativamente permeables, por ejemplo limos, arenas y gravas.

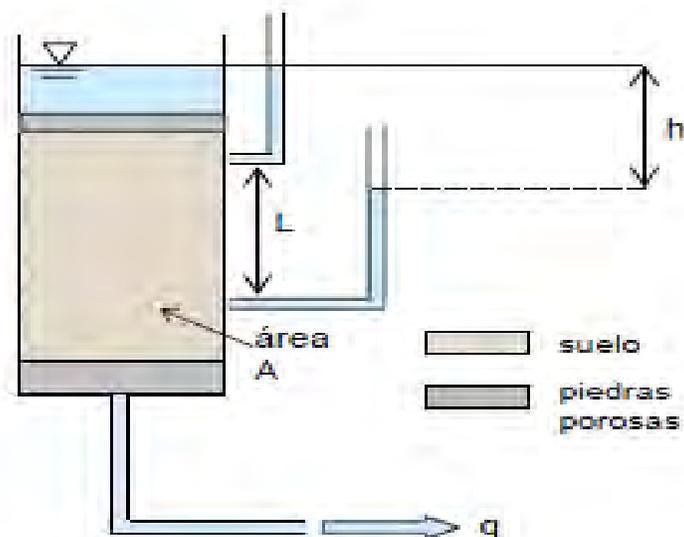
A continuación se muestran dos modelos de permeámetros y el cálculo del coeficiente de permeabilidad k ver Figura 2.1. Y 2.1.1. (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Figura 2.1. Permeámetro A carga constante



Fuente: Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. (2006) Geología y Geotecnia: Permeabilidad de suelos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

Figura 2.1.1. Permeámetro B carga constante



Fuente: Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. (2006) Geología y Geotecnia: Permeabilidad de suelos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

Para el cálculo de k se determina primero el caudal circulante una vez que el sistema se encuentra en régimen (la cantidad de agua que ingresa es igual a la que sale), midiendo el tiempo t en el cual se llena un recipiente de volumen V conocido (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

$$Q = \frac{v}{t} \left[\frac{m^3}{seg} \right]$$

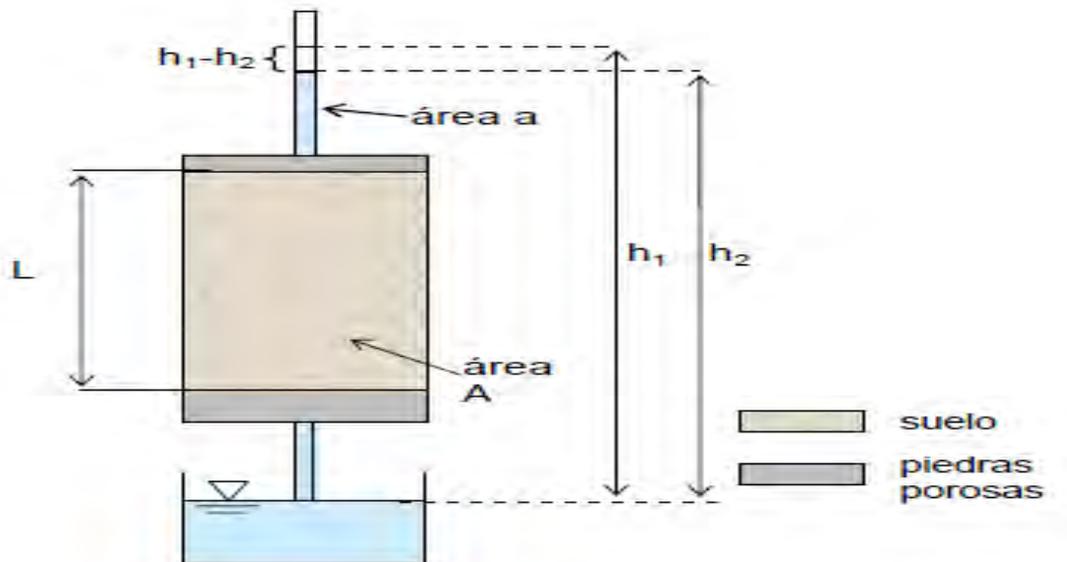
b) Permeámetro de carga variable

Este tipo de dispositivo, (Figura 3), brinda mayor exactitud para suelos menos permeables, como arcilla y limo.

En este caso la cantidad de agua escurrida es medida en forma indirecta por medio de la observación de la relación entre la caída del nivel de agua en un tubo recto colocado sobre la muestra y el tiempo transcurrido. El longitud L , el área A de la muestra y el área “ a ” del tubo recto son conocidos. En adición, las observaciones deben ser hechas en no menos de 2 niveles diferentes de agua en el tubo recto.

Para la deducción del valor de k obsérvese el permeámetro de la Figura 2.1.2; el que debe estar en régimen antes de efectuar cualquier medición (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Figura 2.1.2. Permeámetro de carga variable



Fuente: Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. (2006) Geología y Geotecnia: Permeabilidad de suelos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

◆ **Comentarios acerca de permeámetros**

Las probetas utilizadas para ambos casos deben provenir de muestras inalteradas.

En la medida de lo posible utilizar muestras pequeñas, dado que brinda la posibilidad de realizar un mayor número de pruebas en menos tiempo.

Las dimensiones de los permeámetros tienen límites muy amplios.

Las normas para la realización de estos ensayos se describen en AASHTO T 215 y ASTM D 2434 (para suelos granulares) y ASTM D 5084 (para todos los suelos).

Ambas experiencias determinan la permeabilidad de suelos bajo condiciones específicas. Es tarea del Ingeniero determinar las condiciones de prueba de manera que sean representativas del problema que se está considerando.

El proceso se ve afectado por la presencia de aire o gases en los poros, en el permeámetro o en el agua. Deben tomarse las precauciones necesarias para evitar que esto suceda (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

◆ **ENSAYOS IN SITU**

En la Tabla 2.1. Se resumen una serie de ensayos de campo para determinar el valor de k in situ, el tipo de suelo al cual son aplicables y la norma que describe el procedimiento a seguir (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

TABLA 2.1. Ensayos de campo para la determinación de k

MÉTODO	SUELO DE APLICACIÓN	NORMA A SEGUIR
Ensayo de carga variable	Perforaciones y pozos	-
Ensayo de carga constante	Perforaciones y pozos	-
Slug test (prueba de barras)	Suelos profundos	ASTM D4044
Pozos de bombeo	Todo tipo de suelos	ASTM D4050
Ensayos de campo varios	Acuíferos en suelo y roca	ASTM D4043
Disipación de cono	Suelos de baja a media permeabilidad	-

Fuente: Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. (2006) Geología y Geotecnia: Permeabilidad de suelos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

a) Ensayos de carga variable

Los ensayos realizados en perforaciones constituyen una forma para determinar la permeabilidad in situ.

Existen dos clases de ensayos de carga variable:

- **CARGA VARIABLE DECRECIENTE:** En este ensayo, la perforación se llena con agua, la que luego podrá filtrarse hacia el suelo. La tasa de cambio del nivel superficial de agua se observa midiendo la profundidad del nivel de agua debajo del extremo superior de la perforación a 1, 2 y 5 minutos luego de haber empezado el ensayo y luego a intervalos de 5 minutos hasta que la diferencia entre 2 lecturas (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).
- ◆ **CARGA VARIABLE CRECIENTE:** Este método consiste en dejar fluir el agua dentro del pozo, midiendo la tasa de cambio en el nivel del agua a medida que asciende, hasta que el ascenso del nivel del agua en el pozo se torne muy pequeño. Los intervalos de lectura varían de acuerdo a la permeabilidad del suelo y nunca son menores a 5 minutos (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

En general cualquiera de los métodos de carga variable deben ser usados solo cuando la permeabilidad del suelo sea lo suficientemente baja, para permitir una determinación del nivel de agua certero, por ejemplo limos o arcillas (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

.En el ensayo de carga decreciente el flujo se dirige desde la perforación hacia el suelo que lo rodea, en el de carga creciente el agua fluye desde los alrededores hacia el pozo (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

b) Ensayo de carga constante

En aquellos suelos donde los valores de permeabilidad son altos, se utiliza el método de carga constante (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Son de interés para el caso de materiales como las arenas o gravas, en donde la extracción de muestras inalteradas para realizar experiencias en laboratorio se torna imposible o muy dificultosa (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

A continuación se describe brevemente dicho método consecutivas sea despreciable o el número de lecturas permita determinar satisfactoriamente la permeabilidad (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

En este método el agua es añadida a la perforación en una proporción suficiente como para mantener un nivel de agua constante cercano o en el borde del agujero, por un período no menor a 10 minutos. El agua entrante debe medirse. Las anotaciones deben incluir el gasto de agua a los 5 minutos de haberse iniciado la experiencia y por intervalos de 5 minutos hasta que la cantidad de agua ingresada sea constante (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Las pruebas descritas en el ensayo de carga variable y en el ensayo de carga constante se realizan a medida que se avanza en la perforación, cada vez que se alcanza el nivel en donde quiere realizarse el estudio, utilizando en dichas perforaciones agua limpia a los fines de evitar la formación de filtros u obstrucción de poros por presencia de sedimentos y eliminando dentro de las mismas todo el material alterado, a través de la utilización de equipo adecuado (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Cualquiera sea el método empleado para medir la permeabilidad del suelo, debe tenerse presente tomar nota de los siguientes datos, obtenidos en el momento del ensayo:

- Profundidad desde la superficie del terreno hasta la capa freática antes y después del ensayo.
- Diámetro interno de la perforación.
- Profundidad de la perforación bajo la superficie.
- Longitud de la perforación en la sección estudiada.
- Diámetro de la perforación, por debajo del caño de recubrimiento (caño camisa).
- Profundidad desde el fondo del pozo hasta el extremo superior del caño de recubrimiento.
- Profundidad desde el nivel de agua hasta el borde del caño camisa.
- Descripción del material testado.

Finalmente el valor del coeficiente de permeabilidad puede ser calculado, en función de los datos recopilados (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

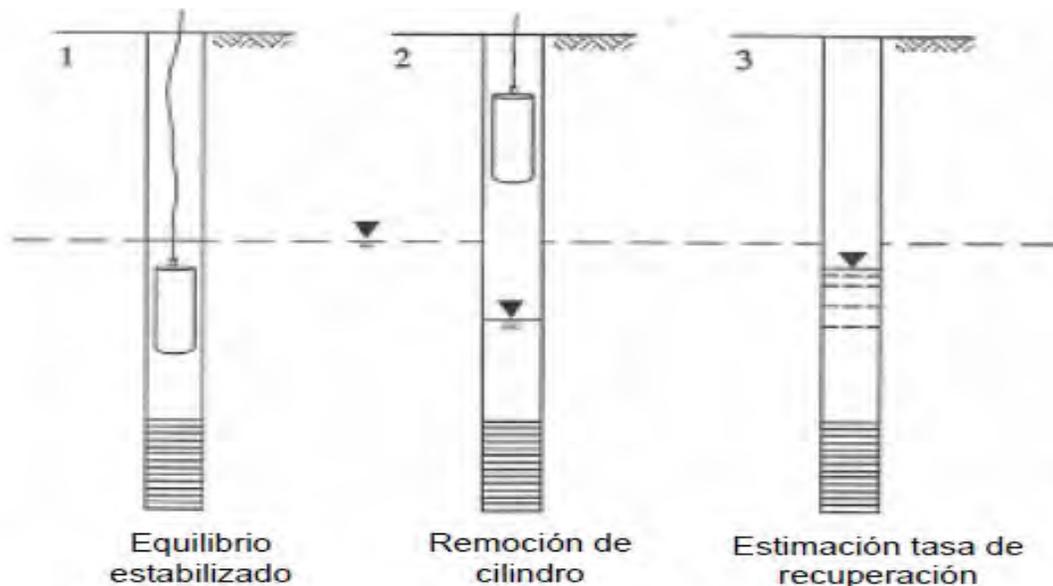
c) Slug test (Prueba de barras)

En este ensayo un objeto sólido, generalmente un cilindro plástico, es sumergido bajo el nivel freático hasta lograr el equilibrio Figura 2.1.3. (1), una vez logrado, el objeto es retirado generando un descenso instantáneo de la napa, Figura 2.1.3. (2), luego se toma el tiempo que tarda en recuperarse el nivel de agua en el pozo y se establece un valor denominado tasa de recuperación, Figura 2.1.3. (3). A partir de este valor se puede conocer el valor de k (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Un procedimiento similar puede hacerse introduciendo el objeto y creando un aumento del nivel freático, o producir el mismo efecto con un aumento de la presión (inyección de aire a presión en el pozo), o una disminución de la misma (efecto aspirador) (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Este tipo de experimento es de fácil materialización y bajo costo, sin embargo debe tenerse presente que los resultados no son del todo confiables y que pueden llevar a respuestas erróneas, malas interpretaciones acerca de las características del acuífero y finalmente a un diseño inadecuado (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

a) Figura 2.1.3. Slug test (Prueba de barras)

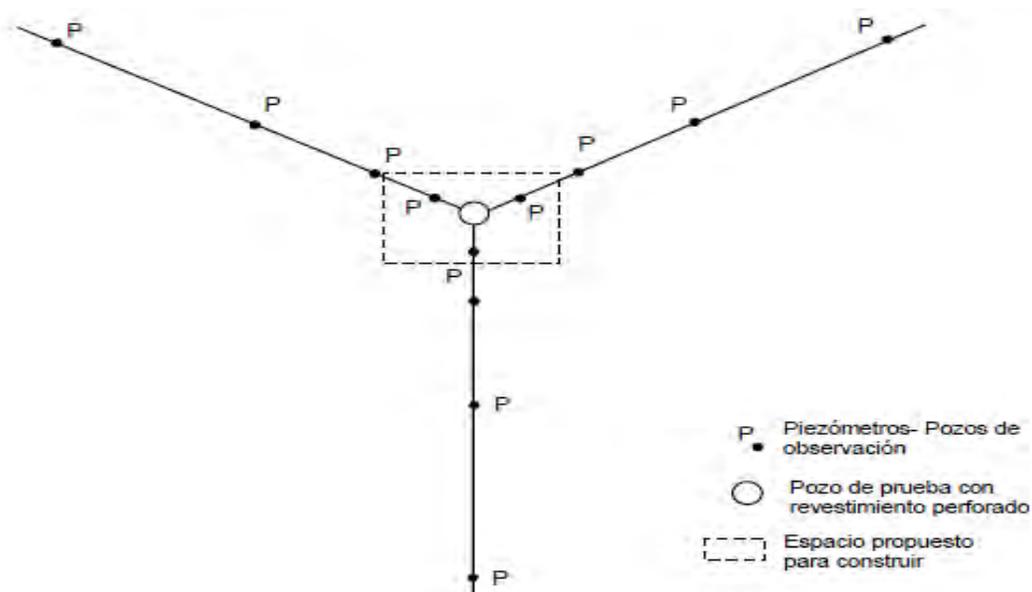


Fuente: Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. (2006) Geología y Geotecnia: Permeabilidad de suelos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

b) Pozos de bombeo

Los ensayos en pozos de bombeo son utilizados para determinar el nivel de la napa freática en pozos individuales y la permeabilidad de materiales subterráneos in situ. Para ello es necesario contar con un pozo de bombeo y uno o más pozos de observación y tener conocimientos acerca de cortes geológicos, características de perforaciones y detalle de instalaciones generales. Las bocas de los pozos deben estar niveladas de manera que los niveles piezométricos en las mismas puedan señalarse a un mismo plano de referencia. La distribución típica de pozos de bombeo se muestra en la Figura 2.1.4. (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Figura 2.1.4. Pozo de bombeo



Fuente: Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. (2006) Geología y Geotecnia: Permeabilidad de suelos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

Como puede verse, los pozos de observación se ubican radialmente alrededor del pozo de bombeo, en donde cada línea debe tener por lo menos cuatro pozos, donde la distancia entre cada uno se dispone de manera que se logre la mejor definición de la nueva curva de nivel de la capa freática en función de la forma estimada (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

La forma de proceder en un ensayo de bombeo se detalla a continuación:

Una vez completadas las perforaciones o pozos, los agujeros son limpiados, se miden las profundidades de los mismos y se instala la bomba (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Luego el pozo de bombeo es testado para 1/3, 2/3 y la totalidad de su capacidad, entendiéndose por totalidad a la máxima descarga accesible con el nivel de agua en los pozos de bombeo y observación estabilizados (en régimen) (Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

Durante el ensayo se debe tomar nota de cierta información, entre la que se encuentra:

- Localización, nivel de borde y profundidad del pozo.
- Características del instrumental utilizado
- Características de filtros utilizados (si se los hubiera utilizado)
- Nivel del agua en los pozos antes del ensayo

(Angelone, S; Garibay Ma. & Cauhapé M. 2006).

2.1.2.3. SELECCIÓN DEL METODO DE ANALISIS PARA CAULCULAR LA PERMEABILIDAD

Elegí el método del permeámetro de carga constante para calcular el coeficiente hidráulico de la muestra, porque se apega al método de los monolitos con el cual hice el muestreo de las columnas de suelo, por otra parte el desarrollo experimental se realiza en laboratorio donde resulto más fácil hacer acopio de todos los datos generados.

2.2. PROCESOS DEL EXPERIMENTO

Para desarrollar el experimento con las muestras de suelo y poder simular como es el comportamiento de los RSU en una columna de suelo, realizar la recolecta de RSU de diferentes domicilios, y realizar el método del cuarteo para posteriormente ingresar los RSU a los tubos con las muestras de suelo, fijar los tubos a la intemperie sobre alguna base en la cual se mantengan verticales de manera que no se cubra de los factores climáticos para exponer las muestras a la lluvia y el sol de esta manera generar lixiviados mediante los RSU presentes en las muestras de suelo, el objetivo para este experimento es simular un vertedero a cielo abierto en el cual no existe ninguna medida

preventiva en el cual se generan lixiviados con cometidos de materiales peligrosos como es el caso de los elementos traza o metales pesados.

2.2.1. MÉTODO DEL CUARTEO

2.2.1.1. COLECTA DE RSU

Para la colecta de los RSU a disponer en experimento elegir una colonia y realizar la colecta de al menos seis domicilios durante cinco días consecutivos, elegir los domicilios al azar y desarrollar el cuarteo recolectar al menos 50 kg de RSU.

2.2.1.2. CUARTEO DE RSU

De acuerdo a la NMX-AA-15-1985. Realizar el método del cuarteo y disponer de diez muestras en cada tubo de los dos mismos domicilios provenientes, reducir el volumen de los residuos descartar tres de las cuatro partes del total de los residuos incluidos para el cuarteo de cada tubo elegir la parte con mayor contenido de elementos metálicos.

Los contenidos presentes en los cuarteos a elegir y que se deberán colocar en los tubos con la muestra de suelo pueden presentar oxidación en sus partes más expuestas, por otra parte los residuos a disponer en los tubos pueden contener los siguientes desechos: latas, latería de atún, control de tv, pilas alcalinas, materia orgánica, pedazos de lámpara de barra, tapas metálicas, latas de pintura de aceite, colillas de cigarro, materiales de plástico, entre otras, etc. (Véase imagen 2.2. y 2.2.1.).

Imagen 2.2. Vaciando las bolsas para acumular los RSU.



Fuente: elaboración propia (26/02/2013)

Imagen 2.2.1. Realizando el cuarteo.



Fuente: elaboración propia (26/02/2013)

2.2.2. MONTAJE DEL EXPERIMENTO

MATERIALES

- Reducciones bushing sanitaria 4x2.
- Reducciones bushing PVC hidráulico 2x 1/2.
- Cople sanitario 4 pg.
- Adaptadores espiga TCA sanitario 2 pg.
- Contenedores de un galón
- 1 m de tubo hidráulico 13 mm 1/2.
- 1 m de tubo sanitario 50 mm 2 pg.
- Adaptadores hembra hidráulico 2pg.
- 1/2 m de lija plomero J-86 #120.

El experimento se montó el día 26 de Febrero del 2013. Fijando tres de las muestras de suelo a una base firme que consistía en un burro para planchar, de tal manera que los tubos permanecieran de manera vertical, a cada tubo se les colocó una maya de mosquitero para evitar que las muestra de desplome en la parte inferior del tubo, la maya colocada en los tubos se fijó mediante abrazaderas de 4 pulgadas (véase en la imagen 2.2.2. y 2.2.3).

Imagen 2.2.2. Montando los tubos a la intemperie.



Fuente: elaboración propia (26/02/2013)

Ya habiendo montado los tubos a la intemperie se le instaló un reductor hidráulico a cada tubo para poder captar todos los lixiviados generados durante el experimento reduciendo de 4 pulgadas a $\frac{1}{2}$ pulgada (véase la imagen 2.2.3.).

Imagen 2.2.3. Reductores hidráulicos de 4 pulgadas a $\frac{1}{2}$ pulgada.



Fuente: elaboración propia (26/02/2013).

Para la captación de los lixiviados se colocó un contenedor a cada tubo, los cuales se ajustaron a las reducciones de media pulgada cortando la tapa del galón y se les colocó cinta en la parte superior para tener más ajustado el acceso evitando el ingreso de materiales externos así como del agua que escurría a través del tubo mediante la lluvia (véase la imagen 2.2.3.).

Al fijar los contenedores se encintaron los reductores y se abrazó un retazo de tubo a cada contenedor para darle mayor fuerza y no se doblen por el peso de los tubos con las muestras de suelo de esta manera también se aisló de la contaminación por cualquier posible material que pudiera ingresar a los lixiviados (véase la imagen 2.2.4.).

Imagen 2.2.3. Garrafones para recolectar los lixiviados con la reducción.



Fuente: elaboración propia (26/02/2013)

Imagen 2.2.4. Fijando los garrafones.



Fuente: elaboración propia (26/02/2013)

Para finalizar el montaje del experimento se colocaron los RSU a los tubos esto después de haber realizado el cuarteo ver imagen 2.2.5; la muestra de RSU que se dispusieron a cada tubo fue de aproximadamente 15 cm cada tubo media 60 cm y 45 cm eran de la muestra de suelo.

Imagen 2.2.5. Colocando los RSU en los tubos



Fuente: elaboración propia (26/02/2013)

2.2.3. CAPTACIÓN DE LIXIVIADOS.

La generación de los lixiviados se dio mediante los líquidos que ingresaron al tubo de muestra, mediante la captación de las lluvias.

Los cuales se fueron depositando en contenedores que al estar conectados al tubo con reductores se evitó la entrada de otras sustancias o a la misma precipitación previendo la contaminación de los lixiviados.

La captación de lixiviados se realizó durante los meses MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO, JULIO Y AGOSTO, la recolección de cada contenedor de muestra fue bimestral obteniendo de esta manera tres periodos de recolección para lixiviados, donde los periodos fueron los siguientes: marzo-abril, mayo-junio y julio-agosto, después de cada recolección de lixiviados fueron dispuestos en el refrigerador del laboratorio de química para su posterior análisis.

2.2.3.1. REGISTRO DE PRECIPITACION DE LA LLUVIA

Durante el experimento se implementó la captación de aguas pluviales en un periodo de seis meses conformados por marzo, abril, mayo, junio, julio, y agosto. La recopilación de la información para el análisis del volumen de agua captado se dio acudiendo al departamento de climatología y control de la precipitación en Conagua con la finalidad de comparar la variación de los últimos años registrados.

Tabla 2.2. Precipitación máxima en 24 horas



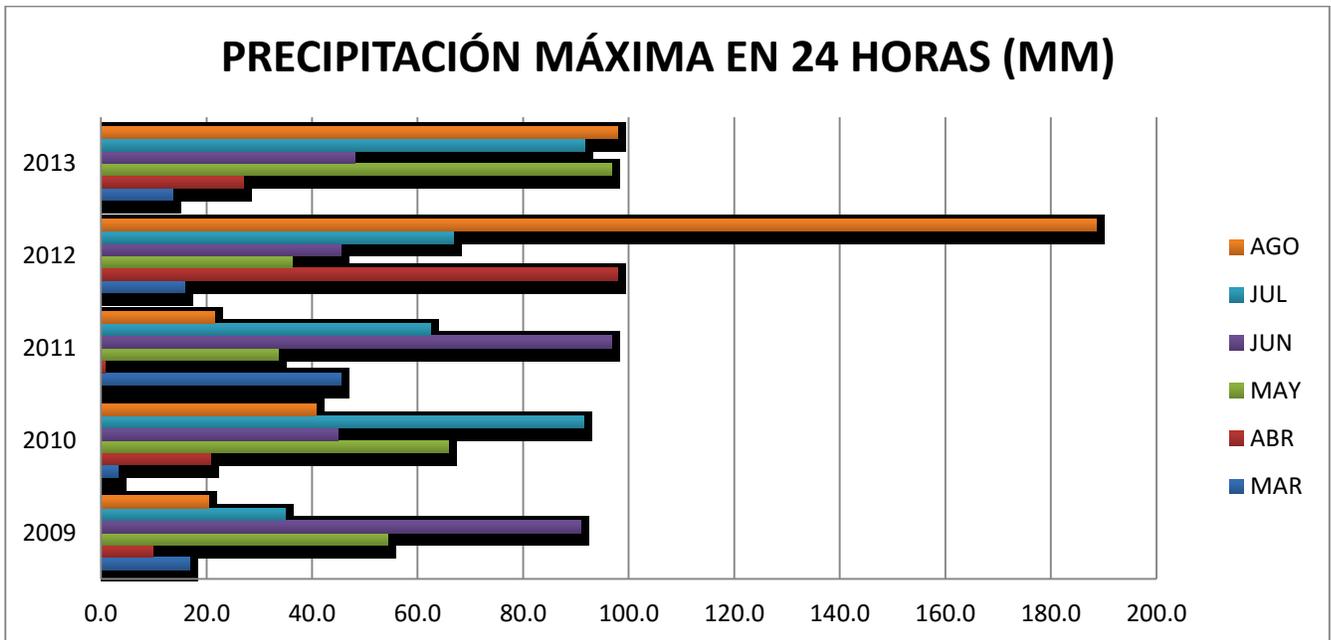
OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE CHETUMAL PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (MM)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2009	14.1	32.7	16.8	9.9	54.3	90.9	34.9	20.4	37.1	81.6	53.2	16.6	90.9
2010	46.9	3.8	3.3	20.8	65.8	44.9	91.5	40.8	176.2	10.2	34.0	2.5	176.2
2011	4.3	18.2	45.5	0.8	33.6	96.8	62.4	21.6	18.2	247.5	52.8	8.7	247.5
2012	14.6	12.9	15.8	98.0	36.2	45.4	66.8	188.6	21.8	57.7	14.3	15.5	188.6
2013	17.4	29.9	13.7	27.0	96.7	48.2	91.7	98.0	53.2	41.4	60.6	18.1	98.0

Fuente: elaborado por Conagua (2014).

La tabla 2.2. Se generó a partir de los datos que se capturaron en el observatorio meteorológico de Chetumal en las oficinas de la Conagua a partir de los registros que se hacen de los fenómenos meteorológicos y climáticos, en este caso la tabla expresa los datos de la precipitación máxima del día con mayor precipitación de cada mes del año 2009 hasta 2013.

GRAFICA 2.2. Precipitación máxima en 24 horas.



Fuente: elaboración propia (2015).

La grafica 2.2. Se generó con valores de la tabla 2.2. Con el objetivo de percibir de manera gráfica la comparativa entre los meses en que se realizó el experimento y la fluctuación que existe entre los meses con el paso de los años, esta información la definen los registros que me fueron proporcionados según el reporte del centro de control meteorológico en la Conagua.

Tabla 2.2.1. Precipitación total mensual



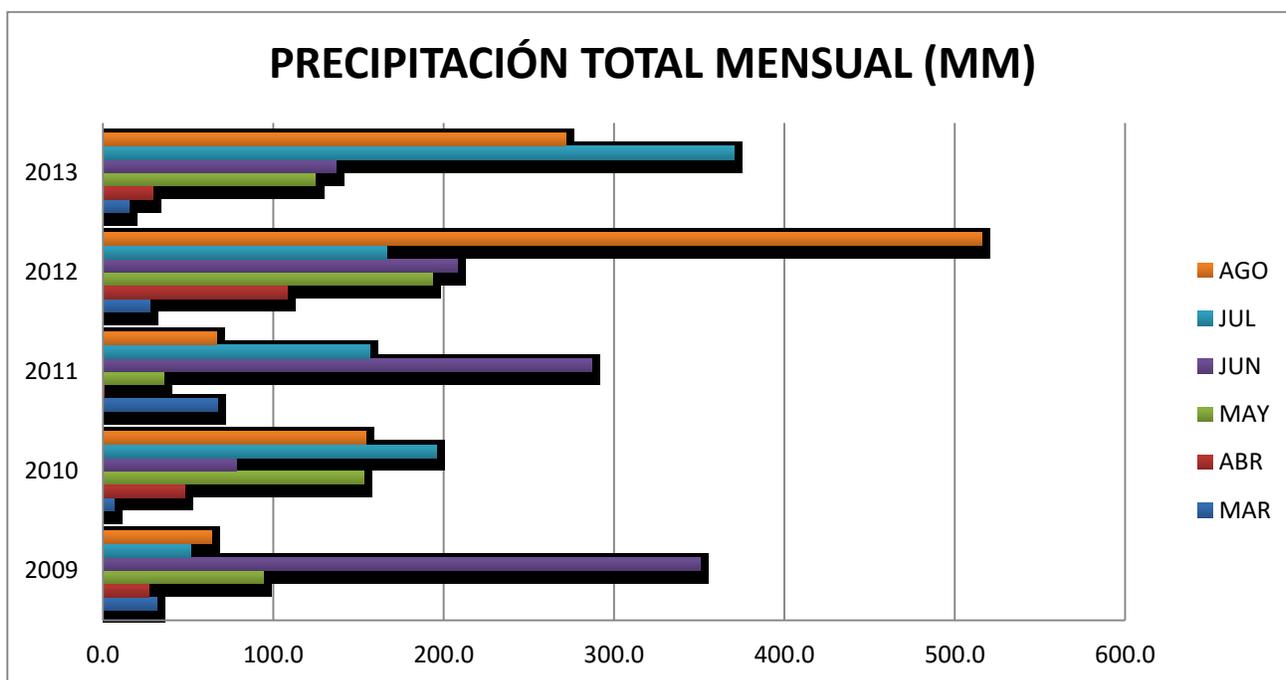
**OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE CHETUMAL
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (MM)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2009	46.1	40.9	32.0	26.8	94.3	350.8	51.5	64.1	106.3	120.8	161.3	75.8	1170.7
2010	55.2	7.0	6.3	48.1	153.3	78.4	196.0	154.4	370.2	37.0	110.6	3.9	1220.4
2011	8.2	36.7	67.5	0.8	35.6	286.7	156.4	66.7	85.5	346.6	129.6	45.3	1265.6
2012	34.9	27.5	27.5	108.0	193.4	207.9	166.3	515.9	64.9	154.0	41.6	19.0	1560.9
2013	74.5	56.6	15.2	29.6	124.8	136.6	370.4	272.0	354.9	184.1	196.3	95.2	1910.2

Fuente: elaborado por Conagua (2014).

La tabla 2.2.1. Se conforma por los datos de registro que se generaron en el observatorio meteorológico de Chetumal en la Conagua, la tabla contiene los datos de la precipitación total mensual de todos los meses del año de donde se conforma la información de marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto que son los meses de interés para el experimento realizado en el año 2013.

GRAFICA 2.2.1. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL.



Fuente: elaboración propia (2015).

La elaboración de la gráfica 2.2.1. Es la forma descriptiva de los datos de la tabla 2.2.1. Donde la información expresan el comportamiento de la precipitación total mensual en mm de agua, de los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto desde el año 2009 hasta el 2013, los datos recopilados fueron adquiridos través de los reportes anuales del observatorio meteorológico en la Conagua en Chetumal.

2.2.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO PARA EL ANÁLISIS DE METALES

Para este experimento se realizó lo siguiente:

1. Se tomaron los tres tubos uno por uno, y se cortaron mediante la fricción ejercida por una línea de cordel evitando así contaminarlos con algún residuo metálico externo.
2. A cada tubo se le cortaron tres anillos de muestra con un cm de grosor (parte superior, parte media o central y parte inferior) ver Figura 2.2.
3. Los anillos ya cortados fueron retirados del tubo mediante una placa muy delgada de plástico previamente lavado con agua destilada para evitar contaminar la muestra con algún material metálico.
4. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas nuevas y se colocaron en el refrigerador del laboratorio para mantener frescas las muestras.

Para identificar las muestras de suelo se aplicó un código a cada muestra.

M11 la M significa muestra de suelo.

El primer número corresponde al tubo de muestra del experimento.

En segundo número significa el estrato de la muestra (profundidad en la muestra de suelo).

Ejemplo:

M31: es la muestra de suelo del tubo 3 del estrato 1

M22: muestra de suelo del tubo del 2 estrato 2

Véase la figura 6.

Figura 2.2. Esquema de cortes para los tubos



Fuente: elaboración propia (2014).

2.2.5. ANÁLISIS DE METALES EN AGUA POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Antes de entrar a la determinación de metales en agua por espectroscopia de absorción atómica es necesario conocer que es al átomo, el cual está constituido por un núcleo rodeado por electrones. Cada elemento tiene un número específico de electrones que está directamente relacionado con el número atómico y que conjuntamente con él, da

una estructura orbital, que es única para cada elemento. Los electrones ocupan posiciones orbitales en una forma predecible y ordenada.

La configuración más estable y de más bajo contenido energético, es conocida como “estado fundamental” y es la configuración orbital normal para el átomo. Si a un átomo se le aplica energía de una magnitud apropiada, ésta será absorbida por él e inducirá que el electrón externo sea promovido a un orbital menos estable o “estado excitado”. Como el estado es inestable, el átomo inmediatamente o espontáneamente retornará a su orbital inicial estable y emitirá energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida en el proceso de excitación.

La longitud de onda de la energía radiante está directamente relacionada a la transición electrónica que se ha producido, puesto que un elemento dado tiene estructura electrónica única que lo caracteriza; la longitud de onda de la luz emitida es una propiedad específica y característica de cada elemento.

La propiedad de un átomo de absorber luz de longitud de onda específica, es utilizada en la espectrofotometría de absorción atómica, el término más adecuado para caracterizar la absorción de luz en espectrofotometría de absorción es la absorbancia, pues esta cantidad guarda una relación lineal con la concentración, y esta relación está definida por la ley de Beer:

$$A = \epsilon bC$$

DONDE:

A = Absorción;

b = longitud de paso óptico;

C = concentración en la especie absorbida;

ϵ = absortividad molar

En la espectroscopia de absorción atómica, las muestras se vaporizan a muy altas temperaturas, y las concentraciones de átomos seleccionados se determinan midiendo la absorción o la emisión en sus longitudes de onda características. Debido a su alta sensibilidad y a la facilidad con la cual muchas muestras pueden analizarse, la espectroscopia de absorción atómica ha llegado a ser una de las principales herramientas de la química analítica.

Es común determinar concentraciones de analito en niveles de partes por millón (ppm), y en algunos casos se determinan en niveles de partes por mil millones (ppb).

Para el análisis de los constituyentes mayores de una muestra problema, ésta suele diluirse a fin de reducir las concentraciones al nivel de partes por millón (Juárez, M; Franco, M. & Ascencio, V; 2009).

2.3. LIXIVIADOS

De acuerdo a la LGEEPA un lixiviado es líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos (LGEEPA, 1988. DOF. Cap.1. art. 3).

La NOM-083 establece como lixiviado al líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos (NOM-083, SEMARNAT, 2003).

El lixiviado es un producto derivado de la transformación anaeróbica de la materia orgánica presente en distintos tipos de residuos, como por ejemplo los urbanos. Es un líquido que contiene una cantidad bastante elevada de contaminantes que dependen en gran medida de diversos factores tales como la tipología de vertido y la cantidad de agua de lluvia que se filtra y se acaba mezclando con la humedad que contienen los propios residuos (C&G Depurazione Industriale Srl, 2008).

2.3.1. PRINCIPALES FUENTES DE GENERACION DE LIXIVIADOS

Algunas de las actividades que más influyen en la generación de lixiviados como contaminante antropogénico, son los rellenos sanitarios las granjas y lugares donde se realizan actividades agropecuarias y zonas industriales.

2.3.1.1. GENERACION DE LIXIVIADOS CON RSU

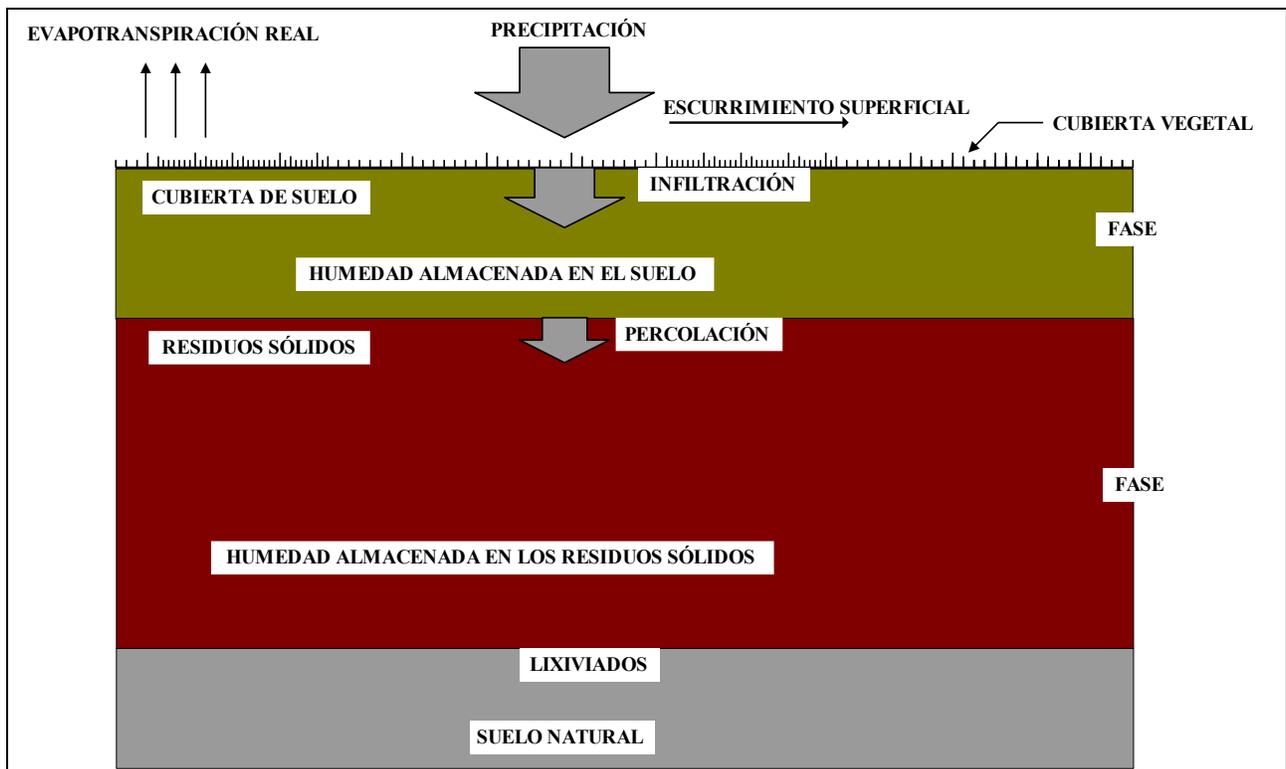
En la actualidad los vertederos de basura son un gran problema de contaminación ambiental por lo que el empleo de rellenos sanitarios regula la generación y el tratamiento de los desechos dispuestos y la generación de subproductos como lo son los lixiviados.

Los rellenos sanitarios cuentan con sistemas impermeables y de recolección de lixiviados generados que debido al arrastre por la percolación y sedimentación cuentan con una alta gama de contenidos coloidales en los cuales están presentes residuos de materia orgánica, bacterias, microorganismos, patógenos, virus, residuos infecciosos, y elementos muy tóxicos como venenos y materiales peligrosos como metales pesados.

El mal manejo de los RSU generan fuentes de gran contaminación como lo son los vertederos a cielo abierto, los cuales no cuentan con medidas preventivas ante el escurrimiento de estos contenidos altamente contaminantes.

La percolación de los lixiviados hasta capas interiores en un terreno puede generar como principal consecuencia la contaminación de acuíferos y mantos freáticos que se vean afectados por el contacto directo con estas sustancias (ver imagen 2.3.).

Figura 2.3. Generación de lixiviados



Fuente: gobierno Municipal de Matamoros (2006). Capítulo 8: Generación y Control de Lixiviados. Recuperado de:

http://virtual.cocef.org/Discos_documentos_consultores/Disco_358/1_Relleno_Sanitario/1_Proyecto_Ejecutivo/Capitulo_08_Generacion_Control_lixiviados.doc

2.3.1.2. ARRASTRE DE METALES

La gran generación de residuos metálicos que se generan a partir del uso doméstico se encuentra presentes en los RSU ya que su uso es cotidiano y con un valor significativo en los desechos vertidos.

Debido a la presencia de materiales metálicos como pilas alcalinas, electrodomésticos, laterías, lámparas, entre otros residuos desechables, los RSU son un potencial aporte de materiales traza en la generación de los lixiviados, que mediante la lluvia, la evaporación, la percolación y sedimentación se añaden a estos jugos contaminantes elevando la presencia de coloides y partículas con metales pesados.

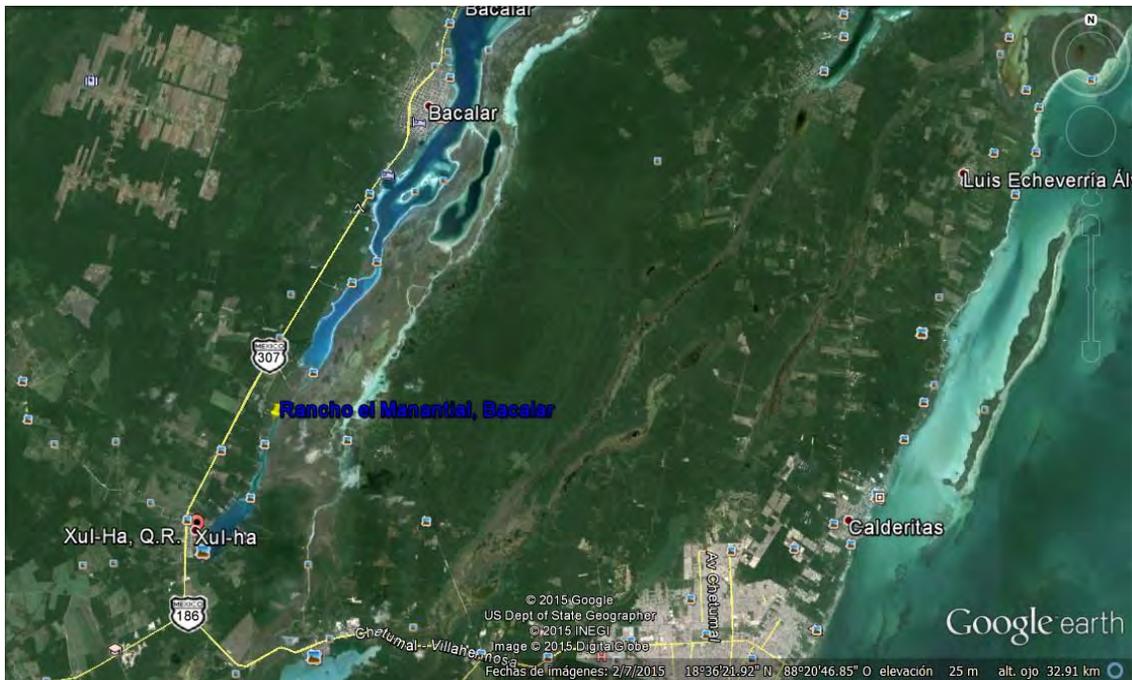
2.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE MUESTREO

El lugar de muestro se realizó en el rancho el “El Manantial” que se encuentra frente a la laguna bacalar, en el municipio de Bacalar del estado de Quintana Roo. Dicho rancho se ubica en las siguientes coordenadas, latitud 18°35’3.58’ norte y longitud 88°26’34.04’ (google earth, 2014). Así mismo, el rancho el “Manantial” se encuentra a 10km de Bacalar y a 5km de Xul-Ha. Se puede apreciar en la imagen 2.3.1 y 2.3.2.

El rancho el “Manantial” posee un suelo de tipo calcáreo, leptosol y phaeozem, ya que tiene una combinación de suelos, tipo pedregoso, en el cual se puede encontrar algunas rocas a baja profundidad de color rojiza a blanca, y también es un suelo que no se inunda y se encuentra situado en pequeñas elevaciones de suelo suave de tierra oscura, la cual suele ser fértil.

Se eligió el rancho el “Manantial” como área de muestreo, por la cercanía al relleno sanitario de la zona, esto para poder realizar una simulación de las afectaciones que puede tener el área si no se usara protección para el escurrimiento de los lixiviados generados a partir de los desechos. De manera que, las características del lugar de estudio para este proyecto de investigación lo hacen óptimas. Así mismo, se encontró el tipo de muestra deseada, la cual predomina en todo el Estado inclusive en la península de Yucatán. Dicho suelo posee el nombre de sascab en la nomenclatura maya, definido también por ser un tipo de suelo calcáreo. También se puede encontrar en cualquier área a una profundidad aproximadamente de 1m de profundidad. Aunque en algunas áreas este tipo de suelo puede ser superficial.

Imagen 2.3.1. Vista satelital del sitio de muestreo.



Fuente: Google Earth, 2014. Rancho el Manantial.

Imagen 2.3.2. Vista satelital del sitio de muestreo en el rancho “El Manantial”.



Fuente: Google Earth, 2014. Rancho el Manantial.

2.3.3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LIXIVIADOS

Para la determinación de infiltración de los lixiviados se realizaron la determinación de la humedad y de la porosidad, de esta manera establecer la capacidad de almacenar líquidos y a su vez para entender la forma en que el agua se infiltra a través de la columna de suelo en función de la porosidad del tipo de suelo de la muestra.

2.3.3.1. HUMEDAD DE LA MUESTRA DE SUELO

Método gravimétrico para la determinación del contenido de humedad de los suelos, sean estos orgánicos o minerales. El método se basa en la medición o determinación de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de suelo. Esta masa de agua se referencia de la masa de suelo seco de la muestra. La determinación de la masa de agua se realiza por la diferencia en peso entre la masa de suelo húmedo y la masa de suelo seco. Se considera como suelo seco aquél secado a la estufa a 105°C hasta obtener un peso constante (NOM-021, SEMANART, 2000).

El experimento consistió en destinar un tubo de muestra de suelo en blanco para cortarlo y extraerle los anillos de un cm en tres diferentes partes de la columna de la muestra, una a nivel superior que representa al detritus o área superficial de la muestra, otra a un nivel medio de la muestra y otra que es la de la parte inferior que aproximadamente consistía en cincuenta cm de la superficie al nivel más bajo que se pudo extraer.

Los tres anillos fueron cortados principalmente por los bordes con una segueta, evitando mecanizar la parte interior de la muestra de los anillos, posteriormente con unos plásticos muy delgados se cortó la superficie de la muestra de suelo obteniendo de esta manera las tres muestras enteras y sin intemperizar.

Anterior al proceso de cortado de los anillos se preparó el material del laboratorio, se tenían capsulas de porcelana una a peso constante calentadas en la mufla a una temperatura de 115°C , se tomaron los pesos de las capsulas, a peso constante con las muestras recién cortadas, se procedió al proceso de secado de las muestras al ingresarlas en cuatro ocasiones a la mufla a una temperatura constante de 115°C hasta obtener un peso constante en las tres muestras, se mantuvieron intervalos de 60 minutos para el enfriamiento de las capsulas en el desecador cada medición del peso, la

manipulación de las capsulas se realizó con las tenazas de laboratorio para prevenir la contaminación de la muestra o de transmitir humedad a la capsula y hacer variar los datos de cada medición.

Cálculos

Con los datos obtenidos en el procedimiento, aplicar la siguiente ecuación:

$$\theta g = \frac{(PB + psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - PB} \times 100$$

Dónde:

- ◆ θg = contenido de humedad expresada en %.
- ◆ PB = masa de la capsula (gr.).
- ◆ psh = masa del suelo húmedo (gr.).
- ◆ Pss = Masa del suelo seco (gr.).

(NOM-021, SEMANART, 2000).

2.3.4. POROSIDAD

La porosidad se define como los espacios no ocupados por material sólido pueden llenarse con agua y aire o únicamente con agua si el suelo está saturado. Estos espacios se conocen como intersticios o poros y a través de ellos fluye el agua subterránea-(Iturbe, R. & Silva. A. 1992, p. 02).

De manera que, la porosidad de un suelo, n , es la medida de los intersticios que este contiene y se expresa como la relación del volumen de los poros vacíos, V_v , entre el volumen total, V_t . A continuación se puede apreciar la fórmula:

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

Todd. 1959, señala que la porosidad depende del arreglo y forma de las partículas del suelo, así como de su distribución por tamaño y grado de compactación. De acuerdo con dichas características, los intervalos de porosidades varían entre 0 y 60 por ciento para los depósitos sedimentarios, según la tabla 8.2 ubicada en anexos.

La Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH. 1978) indico que, para calcular la porosidad, se tiene que determinar la densidad real y la densidad aparente. La densidad real se expresa como la relación de la masa total de las partículas sólidas con respecto a su volumen total excluyendo los espacios porosos. La masa se define después de secar la muestra a 105 °C hasta que su peso sea constante; el volumen se calcula a partir de la masa y la densidad del agua desplazada por la muestra (SARH, 1978, citado en Iturbe R. & Silva A. 1992).

La densidad aparente es la relación que existe entre la masa y el volumen de las partículas de suelo incluyendo los espacios porosos. La masa se determina por peso y el volumen corresponde al que tiene la muestra en condiciones de campo. Los métodos más comunes para calcular la densidad aparente son el del cilindro, el del pozo, el del terrón o parafina y el de radiación in situ (SARH, 1978, citado en Iturbe R. & Silva A. 1992).

De manera que, en estos términos, la definición de porosidad es:

$$\%n = \left(\frac{\rho r - \rho a}{\rho r} \right) \times 100$$

Dónde:

ρr Densidad real del suelo

ρa Densidad aparente del suelo

2.3.5. ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE LIXIVIADOS PARA EL ANÁLISIS DE METALES

- 1) Colocar las muestras de lixiviado en un contenedor bien aislado y sellado.
- 2) Mantener libre de contacto con factores externos para prevenir contaminar la muestra.
- 3) Marcar cada contenedor con una ficha técnica para identifica la procedencia y el tiempo de cada muestra.
- 4) Añadir a cada muestra 100 ml de HNO₃ al 10% para estabilizar el contenido de metales presentes en los lixiviados.

- 5) Almacenar hasta realizar los análisis pertinentes, mantener las muestras en un área estable.

Para la identificación de cada muestra de lixiviado se implementó el etiquetado de las muestras de acuerdo al periodo en que se generaron.

Los periodos de generación son los siguientes tres, marzo-abril (M-A), Mayo-Junio (M-J), y Julio-Agosto (J-A).

La identificación de las muestras fue de la siguiente manera:

L1-(M-A) La L significa muestra de lixiviado el primer número indica a cual tubo pertenece y el paréntesis indica el periodo de generación de cada muestra.

Ejemplo:

L2-(M-J): Muestra de lixiviados del tubo 2 generada en el periodo de mayo y junio.

L3-(J-A): Muestra de lixiviados del tubo 3 generada en el periodo de julio y agosto.

Ver imagen 2.3.3.

Imagen 2.3.3. Muestras de lixiviado



Fuente: elaboración propia (2014).

3. METODOLOGIA PARA CUMPLIR CON CADA OBJETIVO

3.1. DETERMINACION DE PERMEABILIDAD POR MEDIO DE PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE

MATERIAL

- ◆ Filtro buchner
- ◆ Jarra con desbaste
- ◆ Soporte universal
- ◆ Abrazaderas metálicas de 4 pulgadas
- ◆ Matraz de 1L

Para desarrollar el permeámetro tomar un tubo con la muestra de suelo en blanco y fijar a una base usar un soporte universal, ajustar con abrazaderas de 4 pulgadas para inmovilizar la muestra, colocar un mechero para sujetar el filtro buchner en la parte inferior para recolectar el agua que percola a través de toda la muestra, con una jarra se recolectar el líquido y medir el volumen de agua captado en función del tiempo, sobre la parte superior colocar una jarra con desbaste para verter agua a la muestra mantener el nivel del agua en un mismo punto.

Mientras la jarra con desbaste introducía agua a la muestra, con manguera introducida en la jarra se llenaba con una llave de agua para mantener un nivel de presión constante en la salida de la jarra y así conocer los valores para la ecuación de Darcy.

La determinación de la permeabilidad se realizó el método de carga constante, de esta manera obtener el valor de la conductividad de la muestra de suelo, en donde la altura del líquido que se vertió era constante, la finalidad de esta metodología fue conocer el tiempo que tardaba el agua recorrer la columna de suelo para determinar su velocidad y posteriormente su caudal.

- ◆ Volumen vertido de manera constante
- ◆ Primera gota filtrada: 0:0:49.27 seg.
- ◆ Tiempo en dejar de verter líquido a la muestra: 00:03:33.15
- ◆ Tiempo en saturarse: 00:03:33.15
- ◆ Tiempo en filtrar 1L a través de toda la muestra: 0:08:17.92
- ◆ Tiempo en dejar de escurrir liquido: 01:19:45.22
- ◆ Volumen total extraído de la muestra: 1.9L

3.1.1. CALCULANDO LA PERMEABILIDAD

Dónde:

$$Q = k * S \left(\frac{\Delta h}{\Delta L} \right)$$

$$Q = \text{caudal } \frac{m^3}{t}$$

k = permeabilidad de la muestra

S = sección del permeámetro

.Δh = diferencia de potencial

.ΔL = altura de la columna de suelo

$$Q = k * S \left(\frac{\Delta h}{\Delta L} \right)$$

Despejando K

$$K = \frac{Q \Delta L}{S \Delta h}$$

$$Q = 0.007 \frac{cm^3}{seg}$$

$$\Delta h = 14.5 \text{ cm}$$

$$S = 81.07 \text{ cm}^2$$

$$\Delta L = 60 \text{ cm}$$

$$K = 3.57 \times 10^{-4} \frac{cm}{seg}$$

$$K = 3.57 \times 10^{-4} \frac{m}{seg}$$

$$K = 30.8448 \frac{cm}{dia}$$

3.2. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN MUESTRAS DE SUELO

3.2.1. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

MATERIALES

- ◆ Vasos de precipitados de 250 ml.
- ◆ Caja petri o vidrio de reloj
- ◆ Capsulas de porcelana
- ◆ Palita con cuchara
- ◆ Guantes de calor
- ◆ Matraz de fondo redondo
- ◆ Cubre bocas
- ◆ Mangueras de goma
- ◆ Matraces aforados de 50 y 200 ml.
- ◆ Pipetas volumétricas de 1, 5 y 10 ml.
- ◆ Filtros de papel
- ◆ Embudo con filtro
- ◆ Tubo refrigerante

EQUIPOS

- ◆ Balanza analítica
- ◆ Espectrofotómetro de absorción atómica.
- ◆ Lámparas de cátodo hueco del metal a analizar.
- ◆ Placa de calentamiento.
- ◆ Campana de extracción.

REACTIVOS

- ◆ Agua destilada.
- ◆ Reactivo que contenga el metal a analizar grado Q.P.
- ◆ Ácido nítrico concentrado.
- ◆ Ácido clorhídrico concentrado.

1. Para la digestión de las muestras de suelo tomar tres gramos de la parte central de cada muestra y colocar en un vaso de precipitado de 100 ml con fondo redondo (ver grafica 3.2). añadir a cada matraz la cantidad de 21 ml de HCl, esperar dos minutos hasta que el ácido se estabilice y añadir 7 ml HNO₃.
2. Colocar las muestras en una placa de calentamiento hasta completar la digestión, adaptar a cada vaso precipitado el sistema de tubos de

refrigeración para mantener estable la reacción con los ácidos durante la digestión (véase imagen3.2.).

Grafica 3.2. Peso de muestras de suelo para determinación de metales.



Fuente: elaboración propia (2015).

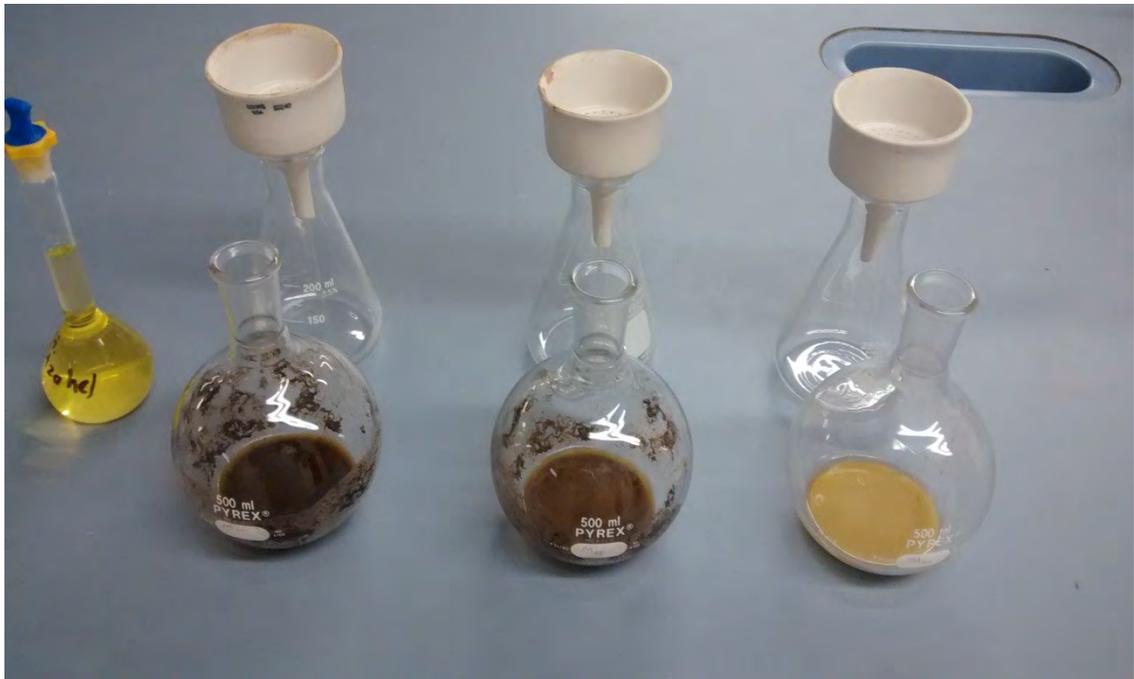
Imagen 3.2. Digestión de materiales orgánicos.



Fuente: elaboración propia (2014).

3. Terminar digestión y dejar enfriar por 24 horas.
4. Enjuagar las paredes de cada vaso de precipitado con agua destilada.
5. humedecer el papel filtró antes de filtrar para evitar los silicatos y otros materiales disueltos insolubles que pudieran dañar u obstruir el atomizador (véase imagen 3.2.1)
6. filtrar la muestra. Transferir la solución a un matraz aforado de 100 ml, y aforar con agua destilada (véase imagen 3.2.2.).
7. Analizar las muestras por espectroscopia de absorción atómica y leer su absorbancia.

Imagen 3.2.1. Filtrado de las muestras



Fuente: elaboración propia (2014).

Imagen 3.2.2. Muestras digeridas ya filtradas



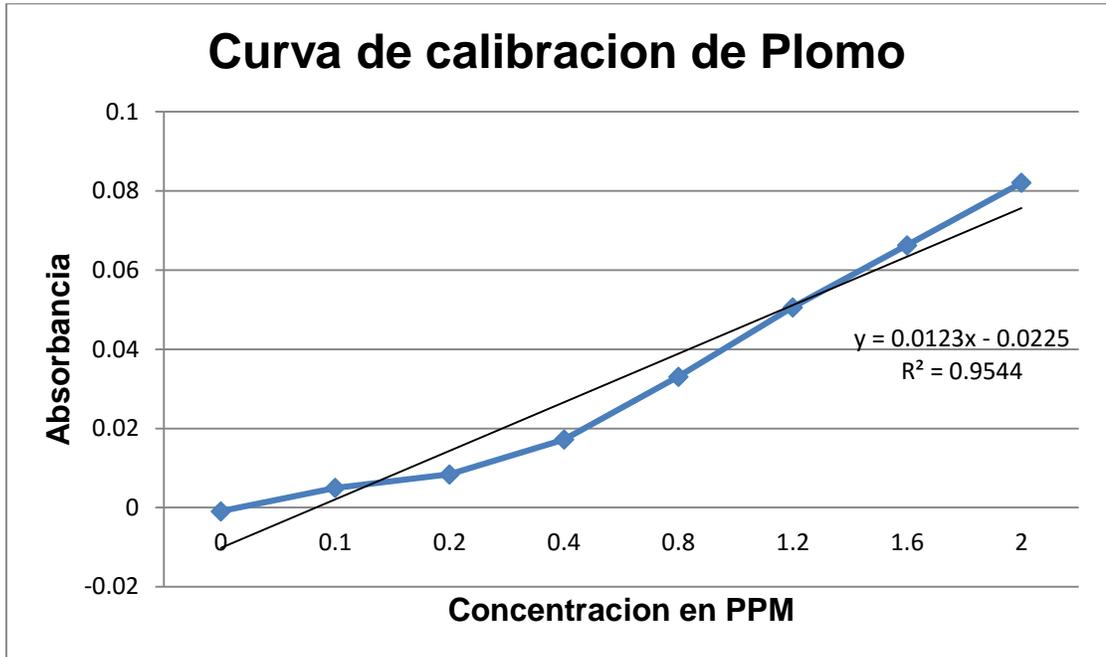
Fuente: elaboración propia (2014).

8. Realizar una interpolación en la curva de calibración para obtener la concentración del metal analizado.
9. Realizar el mismo procedimiento para cada uno de los metales (Pb, Hg y Cd.) (Juárez, M; Franco, M. & Ascencio, V; 2009).

3.2.2. PREPARACION DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

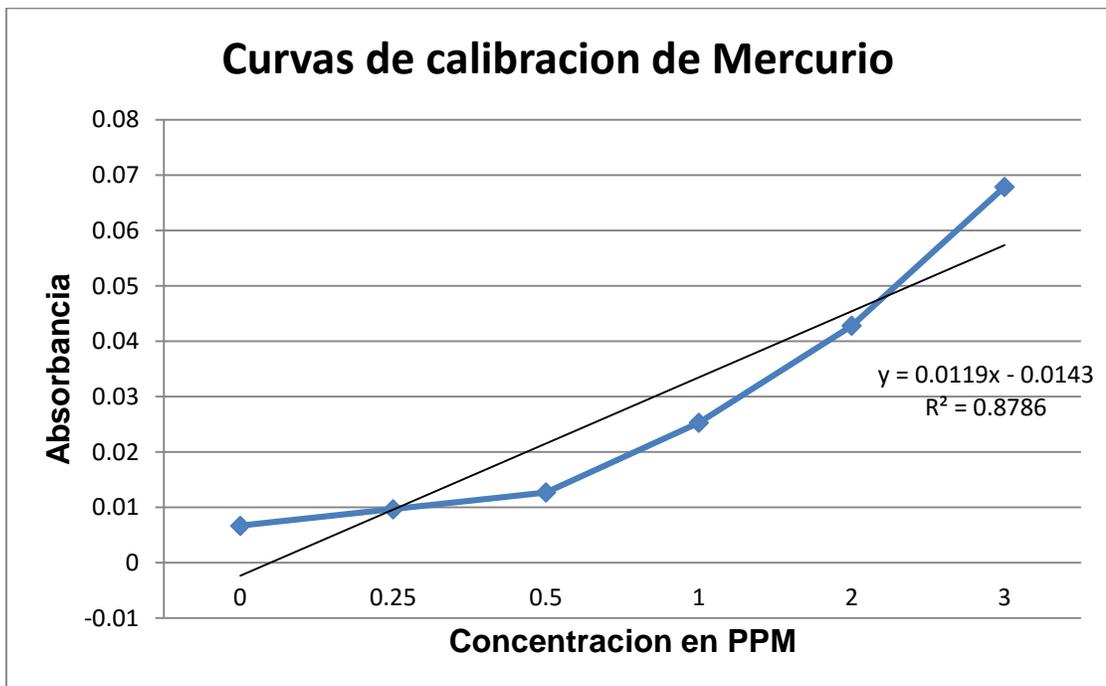
1. Se prepararon 100 ml de una solución patrón con un contenido 1000 ppm para cada metal a analizar (Pb, Hg, Cd.).
2. A partir de la solución que prepare se realizaron diluciones de 25 ml de la solución patrón a diferentes concentraciones de acuerdo al intervalo lineal de cada elemento.
3. Analice los estándares ya preparados anteriormente por espectroscopia de absorción atómica.
4. Obtuve los valores de absorbancia de cada uno de los estándares, para construir la gráfica de absorbancia contra la concentración (se generó una curva de calibración para cada metal que se analizó).

Grafica 3.2.1 Curva de calibración de plomo



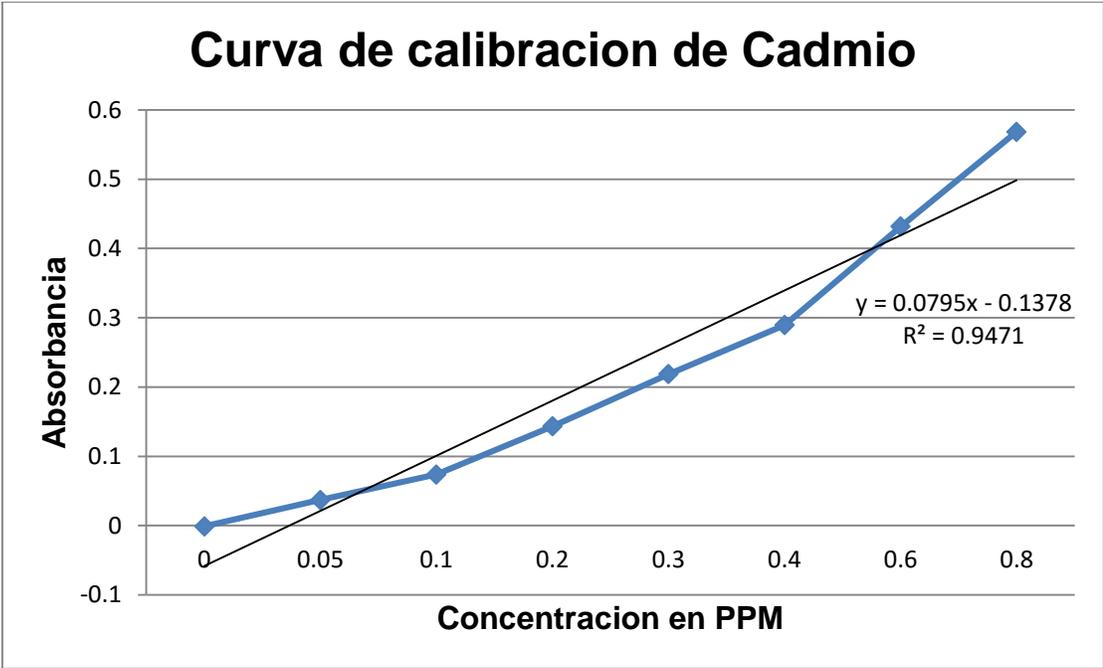
Fuente: elaboración propia (2015).

Grafica 3.2.2. Curva de calibración de mercurio



Fuente: elaboración propia (2015).

Grafica 3.2.3. Curva de calibración de cadmio.



Fuente: elaboración propia (2015).

3.3.1. DETERMINACION DE LA HUMEDAD

MATERIALES

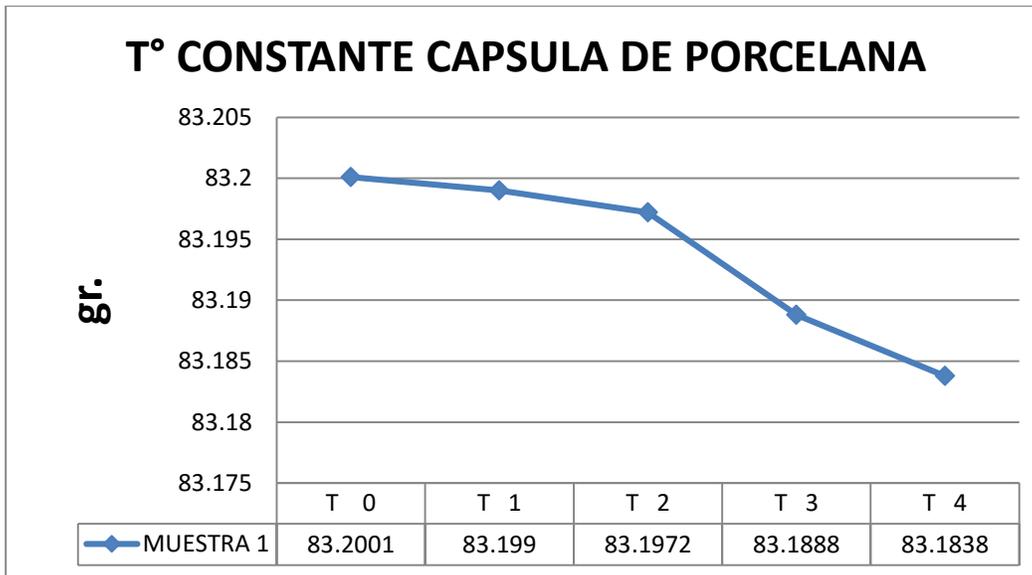
- Capsula de porcelana
- Pinzas de agarre
- Guantes de calor
- Cuchara plastica

EQUIPOS

- Mufila
- Balanza analítica
- Desecador

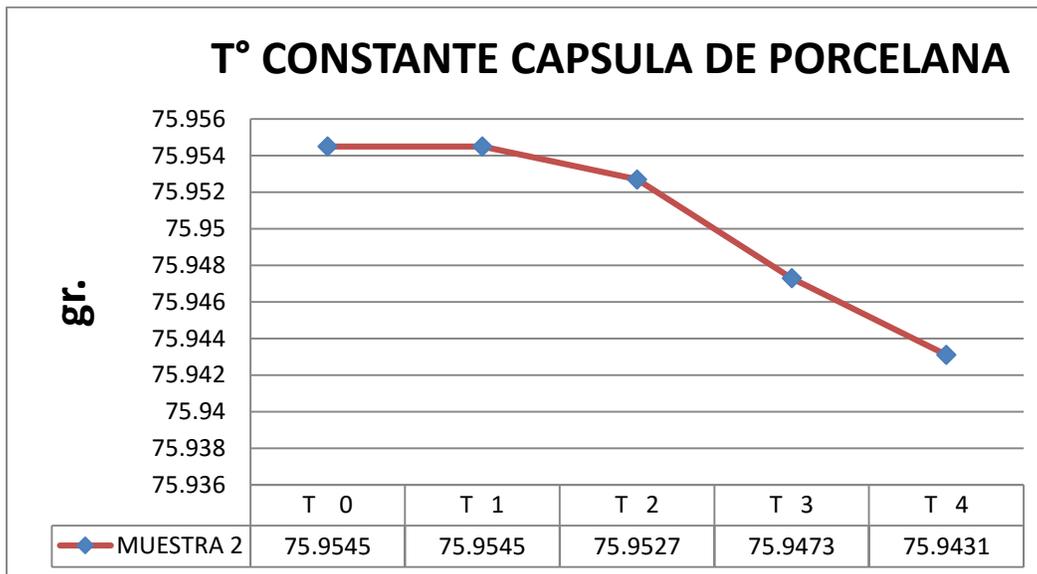
- 1) Lavé, limpié e identifique (marcar) las capsulas de porcelana a utilizar.
- 2) Introduje las capsulas de porcelana a la estufa en cuatro ocasiones durante 2 horas a una temperatura de 105°C.
- 3) Registré el peso de cada capsula, previo al enfriamiento de las capsulas que se colocaron en un desecador y volví a introducirlas a la estufa hasta que se logró un peso constante en las muestras ver graficas 3.3; 3.3.1. Y 3.3.2.
- 4) Utilizando las pinzas, saqué las capsulas del desecador de vacío cuando se enfriaron las capsulas y las pese, éste es el peso de la capsula (PB).
- 5) Se colocó la muestra de suelo en la capsula de porcelana, de 80 gramos, aproximadamente.
- 6) Pesé la capsula con el suelo húmedo, este peso deberá ser el peso de la capsula más el suelo húmedo (Psh).
- 7) Tomé la capsula con el suelo húmedo y lo introduje a la estufa a una temperatura de 105°C.
- 8) Saqué la capsula de la estufa y lo coloqué en el desecador de vacío hasta que se enfrió, posteriormente pesé la capsula con la muestra seca, este peso es el peso del suelo seco (Pss) ver graficas 3.3.3; 3.3.4. Y 3.3.5.
- 9) Volví a introducir la capsula a la estufa y una hora después la saqué, enfrié en un desecador y pesé; repetí este procedimiento hasta obtener el peso constante (NOM-021, SEMANART, 2000).

Grafica 3.3. T° Constante capsula para muestra 1



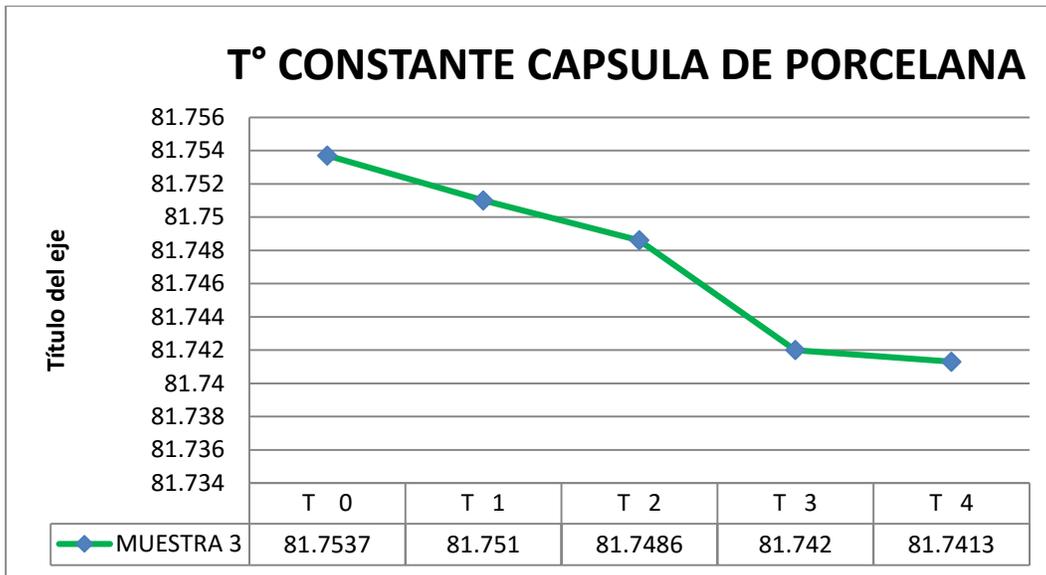
Fuente: elaboración propia (2015).

Grafica 3.3.1. T° Constante capsula para muestra 2



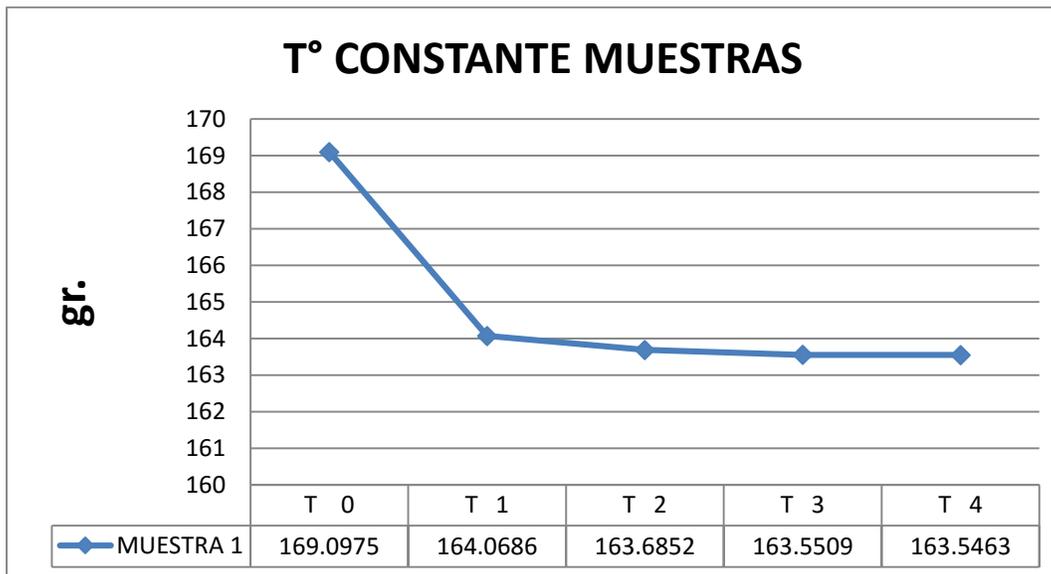
Fuente: elaboración propia (2015).

Grafica 3.3.2. T° Constante capsula para muestra 3



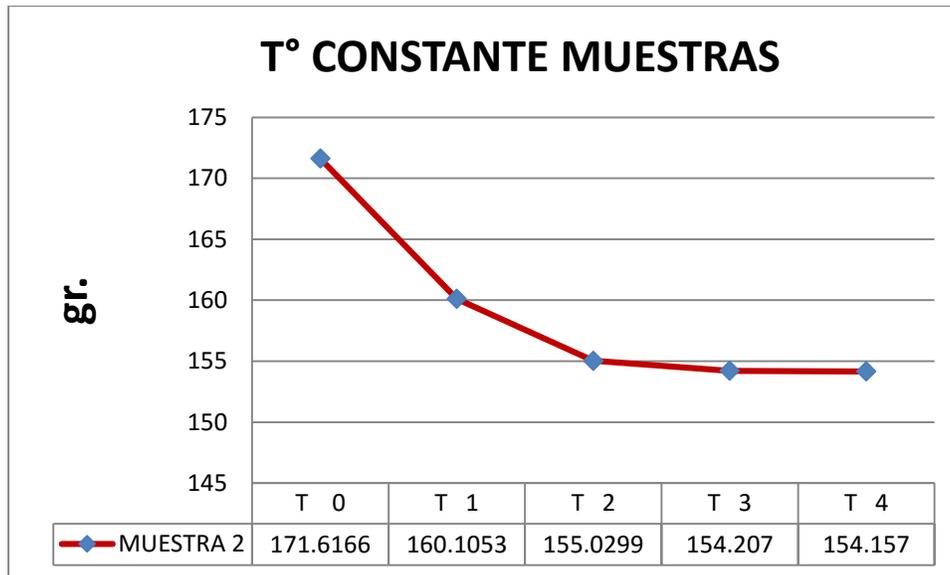
Fuente: elaboración propia (2015).

Grafica 3.3.3. T° Constante muestra 1



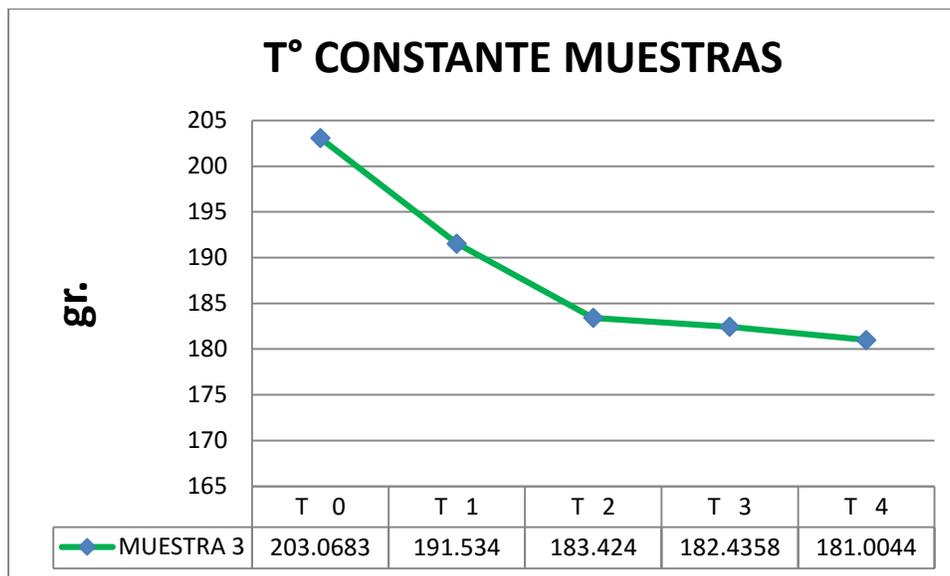
Fuente: elaboración propia (2015).

Grafica 3.3.4. T° Constante muestra 2



Fuente: elaboración propia (2015).

Grafica 3.3.5. T° Constante muestra 3



Fuente: elaboración propia (2015).

3.3.1.1. CALCULANDO LA HUMEDAD DE LA MUESTRA

$$\theta g = \frac{(PB + psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - PB} \times 100$$

θg = contenido de humedad expresada en %.

PB = masa de la capsula (gr).

psh = masa de suelo humedo (gr).

Pss = masa de suelo seco (gr).

Datos de la muestra:

Peso de la capsula de la muestra 1 = 83.1838 gr

Peso de la muestra 1 de suelo húmedo = 169.0975 gr

Peso de la muestra 1 de suelo seco = 163.5463 gr

$\theta g1 = 3.39\%$

Peso de la capsula de la muestra 2 = 75.9431 gr

Peso de la muestra 2 de suelo húmedo = 171.6166 gr

Peso de la muestra 2 de suelo seco = 154.157 gr

$\theta g2 = 11.325\%$

Peso de la capsula de la muestra 3 = 81.7413 gr

Peso de la muestra 3 de suelo húmedo = 203.0683 gr

Peso de la muestra 3 de suelo seco = 181.0044 gr

$\theta g3 = 12.189\%$

3.3.2. DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD

- 1) Se cortó un anillo de la muestra de suelo de la parte superior con anchura de 1 cm.
- 2) Se calculó el volumen de la muestra con de radio 5.08 cm aplicando la fórmula para volumen de un cilindro $V = \pi r^2 h$.

Datos de la muestra: r^2

Anchura de anillo de la muestra = $h = 1$ cm

Perímetro del tubo de la muestra = 10.16 cm

Radio del tubo de muestra = 5.08 cm

Fórmula para volumen de muestra:

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = 81.07 \text{ cm}^3$$

- 3) Se repitió el procedimiento de la determinación de la humedad para conocer el peso seco de la muestra del anillo y poder calcular la densidad real y la densidad aparente de la muestra.

Calculando la densidad de las muestras:

Peso de muestra húmeda o peso aparente = 180.0044 gr

Peso de muestra húmedo sin capsula o peso real = 121.3146gr

$$V = 81.07 \text{ cm}^3$$

- 4) Para calcular la densidad aparente y real se dividió el peso seco y húmedo de la muestra de suelo sobre el volumen de la muestra de suelo, teniendo que peso húmedo sin capsula sobre volumen nos da el resultado de la densidad real (ρ_r), y el peso húmedo sobre el volumen de la muestra nos dio el peso aparente (ρ_a).

$$\rho = \frac{g}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_a = 2.22 \frac{g}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_r = 1.4964 \frac{g}{\text{cm}^3}$$

5) El cálculo del volumen de los espacios vacíos (V_v) y volumen total (V_t) se realizó dividiendo la masa de la muestra de suelo dividiendo la masa sobre la densidad, el cálculo del volumen de espacios vacíos se calculó dividiendo masa de muestra suelo seco sobre la densidad aparente (ρ_a), el volumen total se calculó dividiendo la masa de muestra de suelo húmedo sobre la densidad real (ρ_r).

Masa seca: 98.2631 gr

Masa húmeda: 121.3146 gr

$$V_v = 44.26 \text{ cm}^3$$

$$V_t = 81.07 \text{ cm}^3$$

6) El cálculo de la porosidad se dio mediante la ecuación presentada a continuación en donde el resultado se multiplica por 100 para obtener un resultado en porcentaje de la porosidad del suelo la cual se clasifica según la tabla de los Intervalos de porosidades para materiales sedimentarios ubicada en anexos.

Calculando la porosidad:

Dónde:

$$V_v = 44.26 \text{ cm}^3$$

$$V_t = 81.07 \text{ cm}^3$$

$$n = \left(\frac{V_v}{V_t} \right) \times 100$$

$$n = 54.6\%$$

3.3.3. DETERMINACIÓN DE METALES EN LIXIVIADOS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

3.3.3.1. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE LIXIVIADOS

MATERIALES

- ◆ Vasos de precipitados de 250 ml
- ◆ Caja petri o vidrio de reloj
- ◆ Capsulas de porcelana
- ◆ Palita con cuchara
- ◆ Pipetas volumétricas de 1, 5 y 10 ml
- ◆ Filtros de papel
- ◆ Embudo con filtro
- ◆ Guantes de calor
- ◆ Matraz de fondo redondo
- ◆ Cubre bocas
- ◆ Matraces aforados de 50 y 200 ml
- ◆ Tubo refrigerante
- ◆ Mangueras de goma

EQUIPOS

- ◆ Balanza analítica
- ◆ Espectrofotómetro de absorción atómica
- ◆ Lámparas de cátodo hueco del metal a analizar
- ◆ Placa de calentamiento
- ◆ .Campana de extracción

REACTIVOS

- ◆ Agua destilada.
- ◆ Ácido nítrico concentrado.
- ◆ Reactivo que contenga el metal a analizar grado Q.P.
- ◆ Ácido clorhídrico concentrado

- 1) Se tomó una alícuota de 50 ml de cada muestra de lixiviados bien mezcladas y se transfirió y se agregó a un vaso de precipitado de 250 ml, a cada uno se agregó 10 ml de HNO₃ y 10 ml de HCl concentrados (véase imagen 3.3).

Imagen 3.3. Reactivos del analisis



Fuente: elaboración propia (2014).

- 2) Las muestras se colocaron en una placa de calentamiento hasta que la digestión se completó, a cada vaso precipitado se le adaptó el sistema de tubos de refrigeración para que se mantengan estables durante la digestión.
- 3) Al terminar la digestión se dejó enfriando.
- 4) Enjuague las paredes de cada vaso de precipitado con agua destilada.
- 5) Se filtró la muestra humedeciendo el papel filtró antes de filtrar para evitar los silicatos y otros materiales disueltos insolubles que pudieran dañar u obstruir el atomizador.
- 6) Transferí la solución filtrada a un matraz aforado de 100 ml, y afore con agua destilada (Véase imagen 3.3.1.).

Imagen 3.3.1. Muestras aforadas listas para analizar



Fuente: elaboración propia (2014).

- 7) Las muestras de la solución obtenida se analizaron por espectroscopia de absorción atómica, donde se procedió a leer su absorbancia.
- 8) se realizó el mismo procedimiento para cada uno de los metales (Pb, Hg y Cd.) (Juárez, M; Franco, M. & Ascencio, V; 2009).

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE LA PERMEABILIDAD

$$K = \frac{Q\Delta L}{S\Delta h}$$

$$Q = 1.118 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$$

$$S = 81.07 \text{ cm}^2$$

$$\Delta h = 43.5 \text{ cm}$$

$$\Delta L = 45.5 \text{ cm}$$

$$K = 3.57 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$K = 30.8448 \frac{\text{cm}}{\text{dia}}$$

De acuerdo con los valores representados en la tabla 8.0 la permeabilidad de este tipo de suelo es de una velocidad de infiltración moderadamente lenta por lo que su índice de permeabilidad $K = 30.8448 \frac{\text{cm}}{\text{dia}}$.

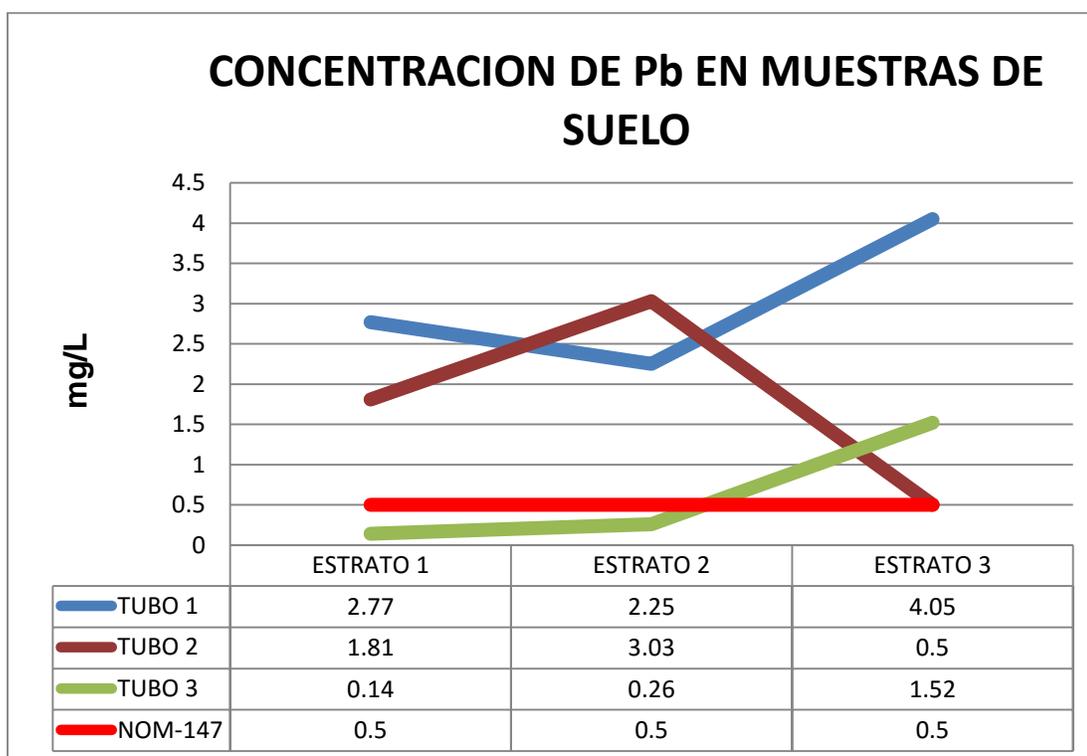
Por otra parte y tal como se representa en la tabla 8.1 el valor del coeficiente de permeabilidad es $K = 3.57 \times 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{seg}}$ de tal manera que se clasifican como suelo semipermeable.

La gráfica 8.0. Ubicada en anexos muestra la correlación entre la permeabilidad y la porosidad, en donde el tipo de suelo evaluado en esta investigación corresponde a la gráfica logarítmica siendo que los valores obtenidos en las respectivas metodologías encajan a la gráfica la cual brinda mayor confiabilidad a los resultados obtenidos.

4.2. RESULTADOS DE LA ABSORBANCIA EN LAS MUESTRAS DE SUELO CON Pb, Hg y Cd

La generación de las tablas 8.0; 8.1. Y 8.2. Ubicadas en Anexos 2, Son el resultado obtenido de la determinación de metales por medio de la absorbancia de las muestras en función de la metodología respectiva para cada metal, en este proceso analítico se determinó la presencia de metales en las muestras de suelo, las concentraciones presentadas en la tabla representan las tres muestras de suelo que se extrajeron de cada uno de los tres tubos dando como tal un total de 9 muestras de suelo.

Grafica 4.0 CONCENTRACION DE Pb EN MUESTRAS DE SUELO



Fuente: elaboración propia (2015).

La grafica 4.0 se generó a partir de los datos de la tabla 8.0. En la gráfica se expresa de manera gráfica el comportamiento que tiene cada muestra de suelo donde el valor de mayor concentración es para el estrato 3 del tubo 1 con una concentración de $4.05 \frac{mg}{l}$ de Pb.

Las tablas 4.0; 4.1. Y 4.2. Se generaron a partir de los datos resultantes del análisis de las muestras de suelo para determinar la presencia de metales pesados como lo son Pb, Hg y Cd, en las tablas se marcaron los tres valores más altos, con color rojo los resultados con la concentración más alta para cada tabla, naranja para los valores correspondientes a la segunda posición y amarillo para los valores en tercera posición. Con las tablas 4.0 a la 4.2 se compararon los valores de cada muestra en función de la **Nom-147-semarnat/ssa1 (2004)** tabla 8.7. Para analizar si las muestras rebasaban el límite establecido por la federación mexicana la cual regula y establece límites permisibles para cada metal pesado.

Tabla 4.0 Concentración de Pb en el suelo.

CONCENTRACION DE Pb EN EL SUELO (mg/l).			
	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3
TUBO 1	M11 2.77	M12 2.25	M13 4.05
TUBO 2	M21 1.81	M22 3.03	M23 0.5
TUBO 3	M31 0.14	M32 0.26	M33 1.52

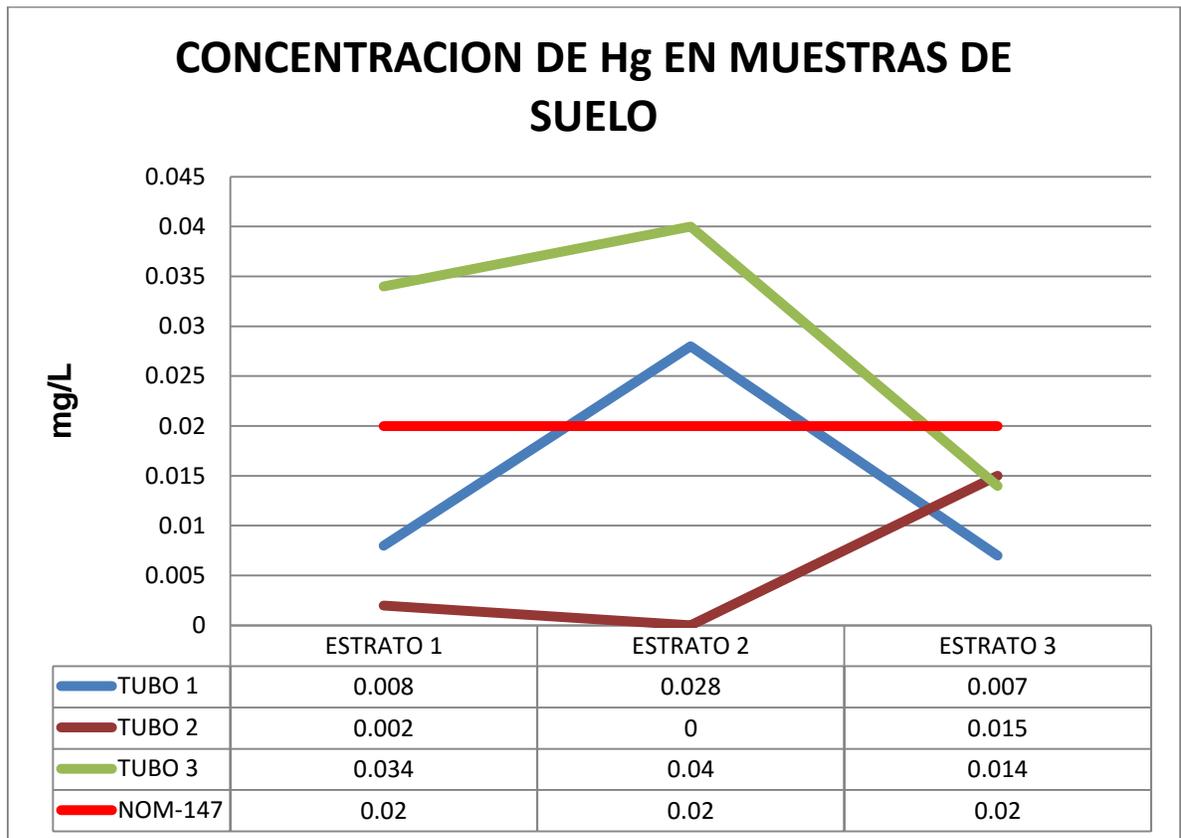
Fuente: elaboración propia (2015).

En la tabla 4.0 se muestran los datos resultantes para la muestra de suelo con respecto a la determinación de Pb, usando como referencia la **Nom-147-semarnat/ssa1 (2004)** tabla 8.7. Observamos que la concentración de referencia para el plomo es de $0.5 \frac{mg}{l}$, en comparación del estrato 3 del tubo 1 la concentración es de $4.05 \frac{mg}{l}$ superando por ocho veces la concentración para esta norma, en los datos de la tabla podemos ver que solo dos muestras (M31 y M32) no rebasan la concentración establecida en la norma siendo que las 7 muestras (M11, M12, M13, M21, M22, M23, M33) restantes marcadas con verde superan o igualan el valor de concentración establecido como límite de referencia.

Muestra de suelo determinación de Pb.

El 77.7% de las muestras de suelo rebasan la concentración de referencia aportada por esta norma véase en la tabla 8.7. La concentración encontrada con el valor más alto en esta determinación supera por ocho veces el valor de referencia ubicando a la muestra con la simbología M13 (tabla 4.0), en este caso el 100% de las muestras tuvieron presencia de Pb.

Grafica 4.1 Concentración de Hg en muestras de suelo



Fuente: elaboración propia (2015).

La construcción de la gráfica 4.1 se basó en los datos presentados en la tabla 8.1. El análisis de estas 9 muestras fue para determinar la presencia de mercurio en las muestras de suelo, el valor más elevado encontrado para este metal fue en estrato 2 del tubo 3 con una concentración de $0.04 \frac{mg}{l}$ de Hg.

Tabla 4.1 Concentración de Hg en el suelo.

CONCENTRACION DE Hg EN EL SUELO (mg/l).			
	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3
TUBO 1	M11 0.008	M12 0.028	M13 0.007
TUBO 2	M21 0.002	M22 0	M23 0.015
TUBO 3	M31 0.034	M32 0.04	M33 0.014

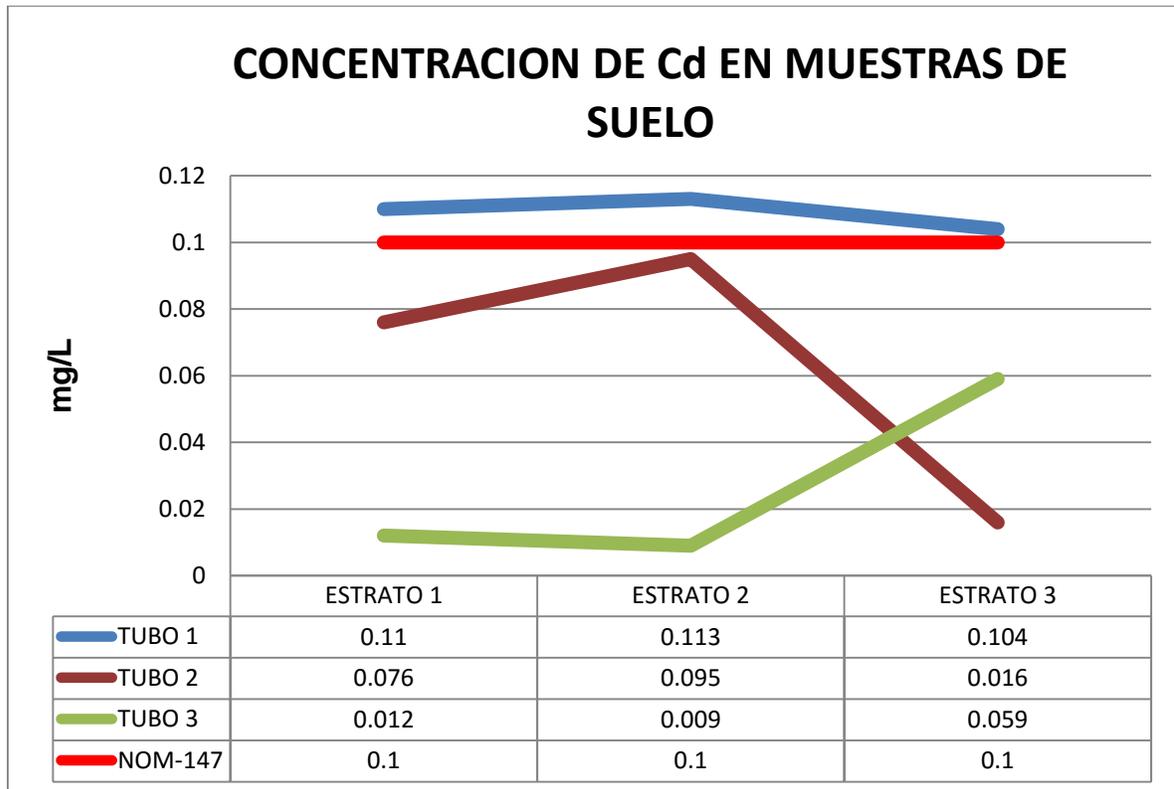
Fuente: elaboración propia (2015).

La tabla 4.1 es la representación de los datos obtenidos para la determinación de la presencia Hg en las muestras de suelo, de acuerdo con la **Nom-147-semarnat/ssa1 (2004)** tabla 8.7. Observamos que el valor de la concentración de referencia para Hg es de $0.02 \frac{mg}{l}$, en la tabla encontramos que el valor más alto corresponde al estrato 2 del tubo 3 con $0.04 \frac{mg}{l}$ duplicando el valor de referencia establecido por la norma, en la tabla se encontraron solo tres valores que superaron los valores de la norma corresponden a las muestras con simbología (M12, M31 y M32 con el valor más alto) cada una de las muestras que supero los valores establecidos se marcó en color verde.

Muestra de suelo determinación de Hg.

En las muestras de suelo el 33.3% de las muestras rebasa el nivel de concentración de referencia aportado por la norma respecto al Hg, la muestra con la concentración más alta es la ubicada como M32 (tabla 4.1.) duplica el valor de referencia para la normatividad aplicada y el 88.8% de las muestras contienen presencia de Hg.

Grafica 4.2 CONCENTRACION DE Cd EN MUESTRAS DE SUELO



Fuente: elaboración propia (2015).

La grafica 4.2 se realizó a partir de la tabla 8.2; los resultados expresados en la gráfica son los valores de la determinación de Cd en la muestras de suelo donde el valor registrado más alto fue en el tubo 1 estrato 2 con una concentración de 0.113 $\frac{mg}{l}$ de Cd.

Tabla 4.2 Concentración de Cd en el suelo

CONCENTRACION DE Cd EN EL SUELO (mg/l).			
	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3
TUBO 1	M11 0.11	M12 0.113	M13 0.104
TUBO 2	M21 0.076	M22 0.095	M23 0.016
TUBO 3	M31 0.012	M32 0.009	M33 0.059

Fuente: elaboración propia (2015).

La tabla 4.2 contiene los valores de la determinación de Cd en muestras de suelo, de acuerdo con la **Nom-147-semarnat/ssa1 (2004)** tabla 8.7. Observamos que el valor de la concentración de referencia para Cd es $0.1 \frac{mg}{l}$, comparando los datos de la tabla encontramos que las tres muestras del tubo 1 sobre pasan el limite siendo que la concentración más alta se ubica en la muestra 2 del tubo 1 con una concentración de $0.113 \frac{mg}{l}$, en el caso de esta tabla solo tres muestra se pasan del límite marcado en la norma las muestras se marcaron en la tabla en color verde su simbología es M11, M12 y M13.

Muestra de suelo determinación de Cd.

En las muestras de suelo se refleja que el 33.3% de las muestras rebasaron el nivel de concentración de referencia de acuerdo a esta norma, el valor más alto se encontró en la muestra M12 (tabla 4.2), en este caso las tres muestras del tubo 1 representaron los valores más altos registrados en el análisis, el 100% de las muestras tuvieron presencia de Cd.

4.2.1. LIMITES INTERNACIONALES PARA METALES PESADOS EN SUELOS

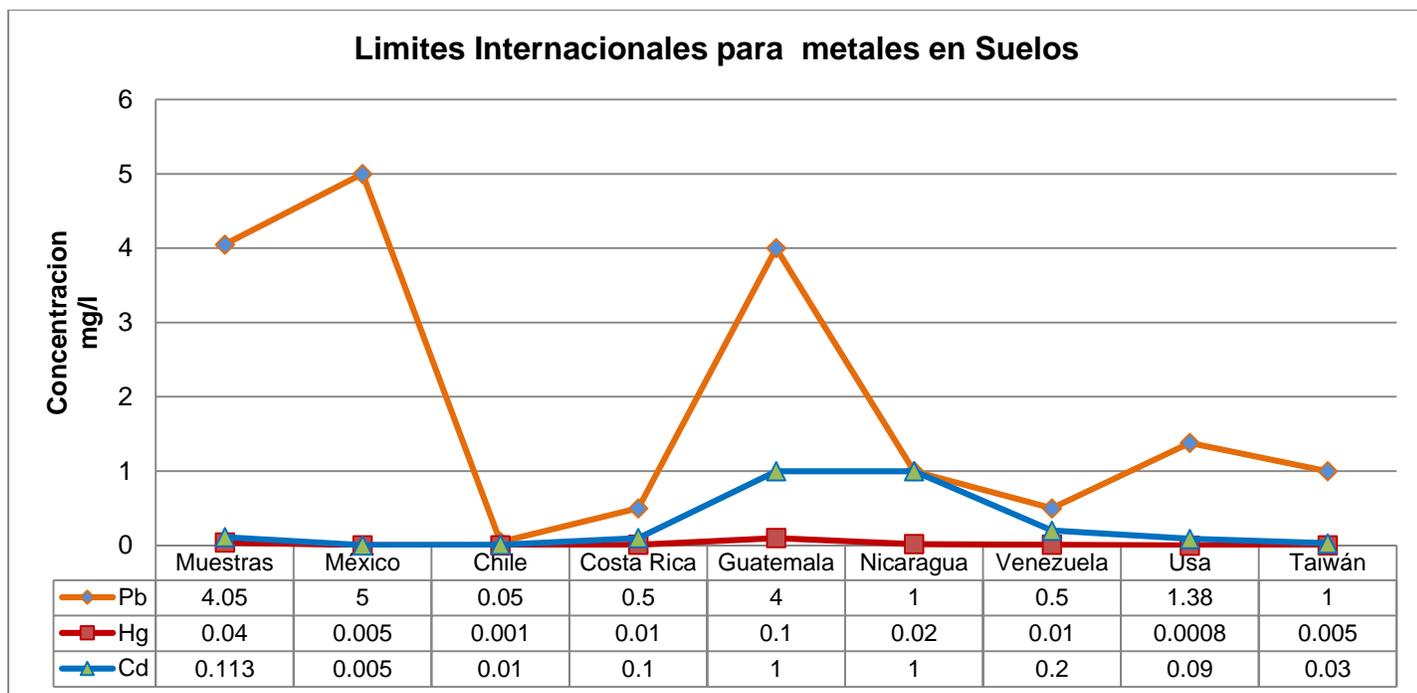
Tabla 4.2.1. Comparativa de la normativa internacional con resultados de suelo

Comparativa de la normativa internacional con resultados de las muestras de suelo										
Parámetro	Resultados	País	México suelo	Chile	Costa Rica	Guatemala	Nicaragua	Venezuela	Usa Chest. Count.	Taiwán
Plomo (mg/L)	4.05		5	0.05	0.5	4	1	0.5	1.38	1
Mercurio (mg/L)	0.04		0.005	0.001	0.01	0.1	0.02	0.01	0.0008	0.005
Cadmio (mg/L)	0.113		0.005	0.01	0.1	1	1	0.2	0.09	0.03

Fuente: modificado de: Diario oficial de la federación (1997,06 Enero) NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

La tabla 4.2.3 está conformada por los datos del cuadro 8.1 (ubicada en anexos) que son los límites permisibles internacionalmente para los países publicados en la NOM-001-ECOL-1996, esta tabla fue modificada para integrar los resultados obtenidos en la determinación de metales pesados (Pb, Hg y Cd) con la finalidad de comparar los resultados con los de diferentes países contemplados, de esta manera poder comprender la escala de la contaminación presente en las muestras de suelo que al estar expuestas a los RSU se contaminaron con metales pesados en el proceso de lixiviación.

Grafica 4.2.1. Limites Internacionales para metales en Suelos



Fuente: elaboración propia (2015).

La grafica 4.2.1 compara los resultados obtenidos en el caso de cada determinación de metales (Pb, Hg y Cd) respecto a los límites permisibles para cada país, los valores presentados como muestras representan los resultados obtenidos en laboratorio mediante la determinación de metales con espectroscopia de absorción atómica, en cada caso se tomó el valor más alto de cada metal para evaluarlo en este análisis.

- ◆ En el caso del Pb se asignó el color naranja en la gráfica para representar los valores encontrados donde: los resultados obtenidos en la determinación sobrepasan los límites establecidos para todos los países exceptuando a México, tomando en cuenta los resultados obtenidos en esta comparación se puede decir que la presencia de metales en los RSU generan un gran aporte de contaminación para el caso del plomo rebasando con gran facilidad la normatividad internacional para este metal.

- ◆ En el caso del Hg se asignó el color rojo en la gráfica para representar los valores encontrados donde: los resultados para este metal rebasan todos los límites excepto el de Guatemala que es 2.5 veces mayor al establecido en nuestro país en el caso de este metal se ve como rebasan los límites establecidos mediante la normativa internacional, el mercurio al ser de las sustancias más dañinas a bajas concentraciones refleja una gran preocupación por sus características de desplazamiento fijación y bioacumulacion en materiales orgánicos,
- ◆ En el caso del Cd se asignó el color azul en la gráfica para representar los valores encontrados donde: los resultados obtenidos rebasan los límites establecidos con excepción de Guatemala y Nicaragua que tienen un margen de tolerancia 20 veces mayor de nuestro país En el caso del Cd se asignó el color azul en la gráfica para representar los valores encontrados donde:, de igual manera los resultados para este metal rebasan los márgenes de tolerancia de muchos de los límites establecidos en la normatividad internacional para el Cadmio.

4.3.1. RESULTADOS DE LA HUMEDAD

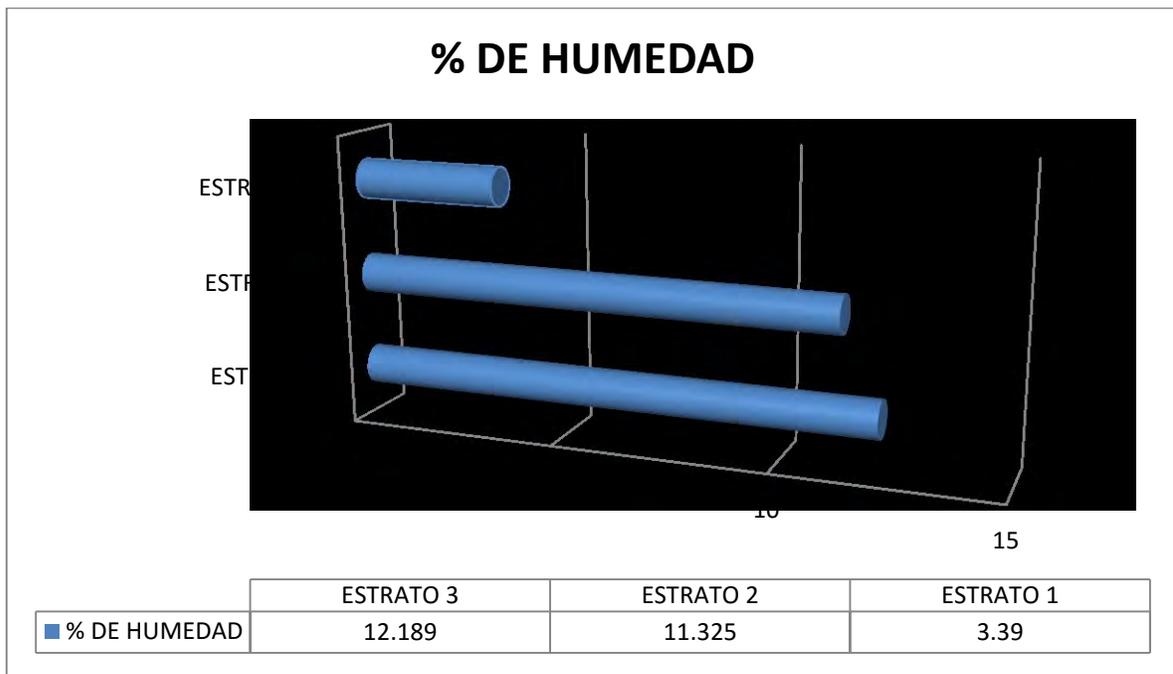
$$\theta g = \frac{(PB+psh)-(PB+Pss)}{(PB+Pss)-PB} \times 100$$

$$\theta g1 = 3.39\%$$

$$\theta g2 = 11.325\%$$

$$\theta g3 = 12.189\%$$

Grafica 4.0 % de humedad



Fuente: elaboración propia (2015).

En la gráfica 4.0 se puede observar claramente el comportamiento de la humedad en este tipo de suelo, de manera que la mayor presencia de humedad se encontró en las partes inferiores de la muestra de suelo considerando que la muestra fue extraída de manera vertical.

La ausencia de materiales orgánicos facilita el escurrimiento o la percolación vertical de los líquidos presentes en el suelo, en la ausencia de radiación solar y la evaporación del vapor de agua se conservan más humectada la parte inferior puesto que para este experimento se muestra que a mayor profundidad la humedad aumenta.

4.3.2. RESULTADOS DE LA POROSIDAD

V_v = Volumen de los poros vacíos

V_t = Volumen total

$$n = \left(\frac{V_v}{V_t} \right) \times 100$$

$$n = 54.6\%$$

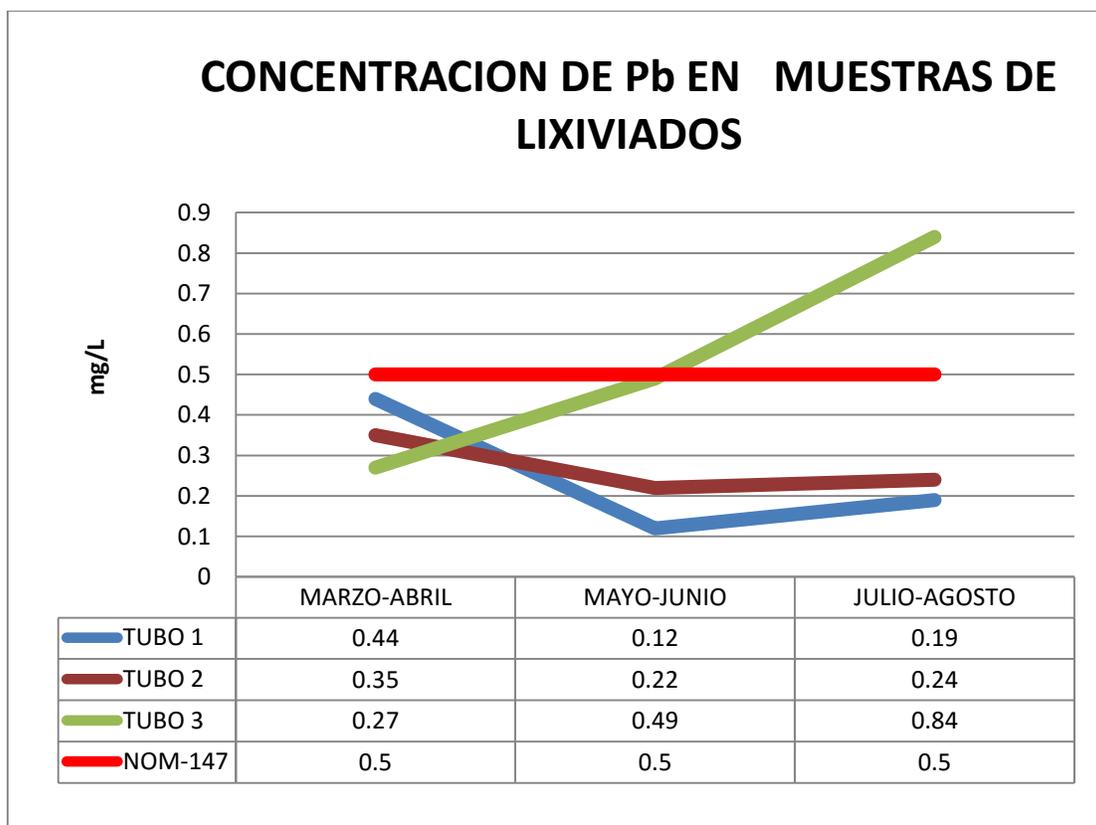
El porcentaje de porosidad para la muestra de suelo realizada fue de 54.6%, según la tabla 8.2 (ubicada en anexos), el tipo de suelo es de él orden de materiales compuestos por arcillas considerando que los valores de la porosidad oscilan entre 55 de porosidad.

Esta tipo de suelo pertenece al clasificado como Rendzina de acuerdo a sus características y a los parámetros realizados como lo son su porosidad y la permeabilidad.

4.3.3. RESULTADOS DE METALES EN LIXIVIADOS

La generación de las tablas 8.3, 8.4 y 8.5. Ubicadas en Anexos 2, Son el resultado obtenido de la determinación de metales por medio de la absorbancia de las muestras en función de la metodología respectiva para cada metal, en este proceso se analizaron los de lixiviados generados a partir del experimento montado con simbología AM, las concentraciones presentadas en la tabla representan las tres extracciones de lixiviados que se hicieron a cada uno de los tres tubos durante el experimento.

Grafica 4.3 CONCENTRACION DE Pb EN MUESTRAS DE LIXIVIADOS



Fuente: elaboración propia (2015).

La gráfica 4.3 se generación de la acuerdo a los datos de la tabla 4.3. En la gráfica se expresa el comportamiento que tiene cada muestra de lixiviados donde el valor de mayor concentración es para la muestra 3 de tubo 3 con una concentración de $0.84 \frac{mg}{l}$ de Pb.

Las tablas 4.3, 4.4 y 4.5 se generaron a partir de los datos resultantes del análisis de las muestras de lixiviados para determinar la presencia de metales pesados como lo son Pb, Hg y Cd, en las tablas se marcaron los tres valores más altos con color rojo los resultados con la concentración más alta para cada tabla, naranja para los valores correspondientes a la segunda posición y amarillo para los valores en tercera posición. Las tablas 4.3; 4.4. Y 5.5 se compararon los valores de cada muestra en función de la **Nom-147-semarnat/ssa1 (2004)** tabla 8.7. Para analizar si las muestras rebasaban el límite establecido por la federación mexicana la cual regula y establece límites permisibles para cada metal pesado.

Tabla 4.3 Concentración de Pb en lixiviados

CONCENTRACION DE Pb EN LIXIVIADOS (mg/l).			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TUBO 1	L1-(M-A) 0.44	L1-(M-J) 0.12	L1-(J-A) 0.19
TUBO 2	L2-(M-A) 0.35	L2-(M-J) 0.22	L2-(J-A) 0.24
TUBO 3	L3-(M-A) 0.27	L3-(M-J) 0.49	L3-(J-A) 0.84

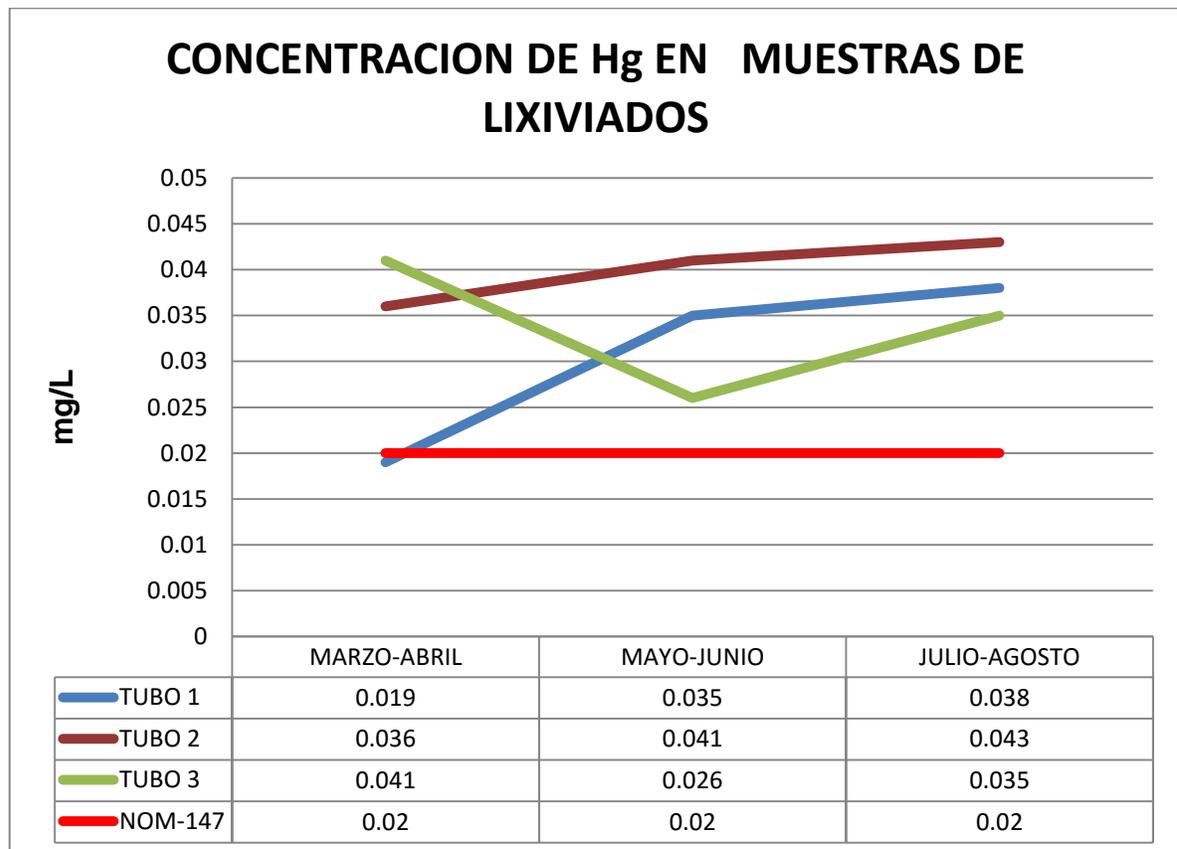
Fuente: elaboración propia (2015).

Tabla 4.3 en esta tabla encontramos los valores de la determinación de Pb en las muestras de lixiviado generados en el experimento llevado a cabo, comparando con la **Nom-147-semarnat/ssa1 (2004)** tabla 8.7. Observamos que la concentración de referencia para el plomo es de $0.5 \frac{mg}{l}$, en este caso solo una de las muestras obtuvo un valor superior al establecido en la norma donde la muestra 3 del tubo 3 presento una concentración de $0.83 \frac{mg}{l}$, el símbolo para la muestra es L3-(J-A) y está marcado con verde por ser un valor que supera el de la norma.

Muestra de suelo y lixiviados determinación de Pb.

En las muestras de lixiviados de la determinación de Pb el 11.1% de las muestras rebasaron el nivel de concentración de referencia establecido en la norma aplicada en este experimento el valor registrado como más alto corresponde a la muestra L3-(J-A) (tabla 4.3), para este caso el 100% de las muestras tuvieron presencia de Pb.

Grafica 4.4 CONCENTRACION DE Hg EN MUESTRAS DE LIXIVIADOS



Fuente: elaboración propia (2015).

La grafica 4.4 fue construida de acuerdo a la tabla 8.4, en este caso se analizaron los lixiviados generados con el objetivo de determinar la presencia de Hg en las muestras donde el valor más alto encontrado fue en el tubo 2 muestra 3 con concentración de $0.043 \frac{mg}{l}$ de Hg.

Tabla 4.4 Concentración de Hg en lixiviados

CONCENTRACION DE Hg EN LIXIVIADOS (µg/l).			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TUBO	L1-(M-A)	L1-(M-J)	L1-(J-A)
1	0.019	0.035	0.038
TUBO	L2-(M-A)	L2-(M-J)	L2-(J-A)
2	0.036	0.041	0.043
TUBO	L3-(M-A)	L3-(M-J)	L3-(J-A)
3	0.041	0.026	0.035

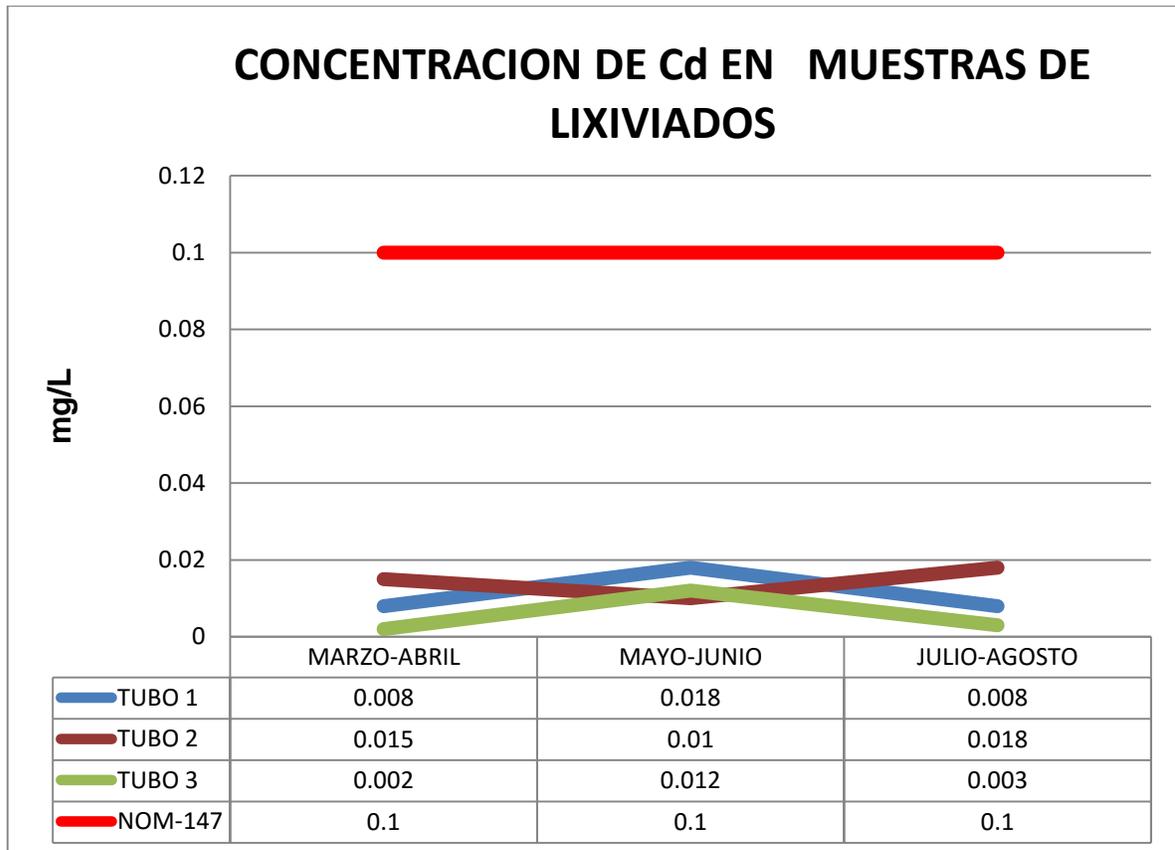
Fuente: elaboración propia (2015).

Tabla 4.4 el contenido en esta tabla representa los valores de concentración de acuerdo a los resultados obtenidos en la determinación de Hg para la muestras de lixiviados, en la tabla 8.7 de la **Nom-147-semarnat/ssa1 (2004)**, observamos que el valor de la concentración de referencia para Hg es de $0.02 \frac{mg}{l}$, en la tabla encontré que el valor más alto encontrado corresponde al tubo 2 muestra 3 con una concentración de $0.043 \frac{mg}{l}$ duplicando el valor establecido en la norma, de las nueve muestras evaluadas ocho de ellas sobrepasan el nivel permisible por lo que se marcaron con color verde siendo que la única muestra que no sobre pasa el límite es la muestra con símbolo AM11 del tubo 1 muestra 1.

Muestra de suelo y lixiviados determinación de Hg.

Las muestras de lixiviados demuestran que el 88.8% de las muestras rebasan el límite de la concentración de referencia en la norma, la muestra con el nivel más alto es la L2-(J-A) (tabla 4.4) la concentración duplica la de la norma y el 100% de las muestras tuvieron presencia de Hg.

Grafica 4.5 CONCENTRACION DE Cd EN MUESTRAS DE LIXIVIADOS



Fuente: elaboración propia (2015).

La elaboración de la gráfica 4.5 se construyó con la información presentada en la tabla 8.5 con los valores representativos para el análisis de los lixiviados. El análisis que se llevó a cabo en estas muestras fue para analizar el Cd presente en el lixiviado donde la concentración más alta fue del tubo 1 muestra 2 y tubo 2 muestra 3 con una concentración de $0.018 \frac{mg}{l}$ de Cd.

Tabla 4.5 Concentración de Cd en lixiviados.

CONCENTRACION DE Cd (mg/l) EN LIXIVIADOS			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TUBO 1	L1-(M-A) 0.008	L1-(M-J) 0.018	L1-(J-A) 0.008
TUBO 2	L2-(M-A) 0.015	L2-(M-J) 0.01	L2-(J-A) 0.018
TUBO 3	L3-(M-A) 0.002	L3-(M-J) 0.012	L3-(J-A) 0.003

Fuente: elaboración propia (2015).

La tabla 4.5 es el resultado de los datos generados por la determinación de Cd en las muestras de lixiviados, en la tabla 8.7 de la **Nom-147-semarnat/ssa1 (2004)** observamos que el valor de la concentración de referencia para Cd es $0.1 \frac{mg}{l}$, en la tabla vemos que en ninguna de las muestras se rebasa la concentración de la norma la concentración más alta encontrada corresponde a las muestras L1-(M-J) y L2-(J-A) con una concentración de $0.018 \frac{mg}{l}$.

Muestra de suelo y lixiviados determinación de Cd.

Las muestras de lixiviados en el caso de Cd (tabla 4.5) contienen la presencia en el 100% de las muestras pero ninguna de las muestras rebaza el nivel de concentración de referencia en esta norma.

4.3.4. LIMITES INTERNACIONALES DE METALES PESADOS EN LIXIVIADOS

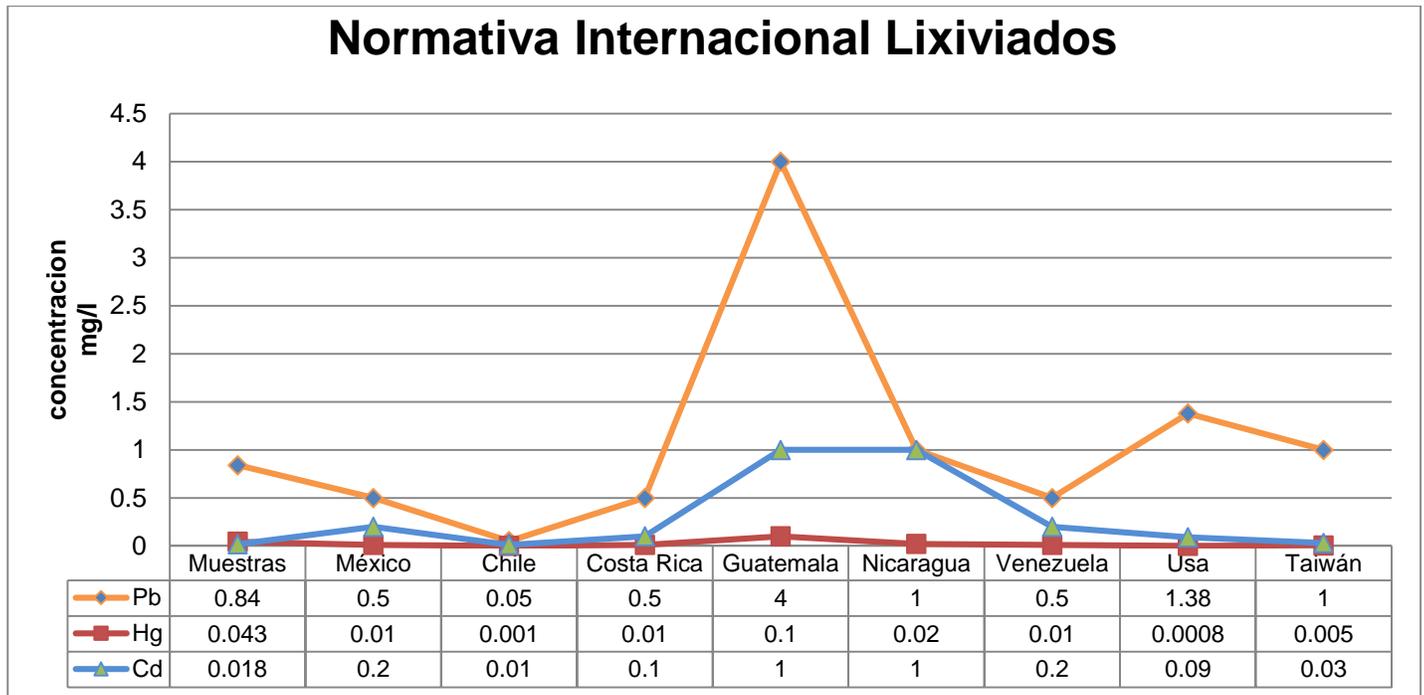
Tabla 4.6. Comparativa de la normativa internacional con resultados de las muestras de lixiviados

Comparativa de la normativa internacional con resultados de las muestras de lixiviados										
Parámetro	Resultados lixiviados.	País	México ríos	Chile	Costa Rica	Guatemala	Nicaragua	Venezuela	Usa Chest. Count.	Taiwán
Plomo (mg/L)	0.84		0.5	0.05	0.5	4	1	0.5	1.38	1
Mercurio (mg/L)	0.043		0.0 1	0.001	0.01	0.1	0.02	0.01	0.0008	0.005
Cadmio (mg/L)	0.018		0.2	0.01	0.1	1	1	0.2	0.09	0.03

Fuente: modificado de: Diario oficial de la federación (1997,06 Enero) NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

La tabla 4.6 está conformada por los datos del cuadro 8.1 (ubicada en anexos) que son los límites permisibles internacionalmente para los países publicados en la NOM-001-ECOL-1996, esta tabla fue modificada para integrar los resultados obtenidos en la determinación de metales pesados (Pb, Hg y Cd) con la finalidad de comparar los resultados con los de diferentes países contemplados, de esta manera poder comprender la escala de la contaminación presente en las muestras de lixiviado que se generaron mediante el escurrimiento de la precipitación sobre los RSU los cuales mediante el arrastre se contaminaron con metales pesados.

Grafica 4.6. Limites Internacionales para metales en Lixiviados



Fuente: elaboración propia (2015).

La grafica 4.6 compara los resultados obtenidos en el caso de cada determinación de metales (Pb, Hg y Cd) respecto a los límites permisibles para cada país, los valores presentados como muestras representan los resultados obtenidos en laboratorio mediante la determinación de metales con espectroscopia de absorción atómica, en cada caso se tomó el valor más alto de cada metal para evaluarlo en este análisis.

- ◆ En el caso del Pb se asignó el color naranja en la gráfica para representar los valores encontrados donde: los resultados obtenidos para este metal rebasan los límites establecidos por México, Chile, Costa Rica, y Venezuela, el país con mayor accesibilidad en sus límites es Guatemala con una diferencia de 8 veces en la tolerancia de este metal con respecto a México, en los casos en los que el metal sobre pasa la el limite casi duplica el nivel por otra parte los niveles de concentración resultan elevados y se considera que el plomo es un metal muy toxico por lo que es alarmante el resultado expresado en la gráfica.

- ◆ En el caso del Hg se asignó el color rojo en la gráfica para representar los valores encontrados donde: los resultados obtenidos en la comparación de este metal reflejan que el mercurio rebaza todos los límites establecidos con excepción de Guatemala que demuestra ser un país con una gran accesibilidad en su normatividad ambiental lo cual puede ser un problema a largo plazo puesto que este metal es toxico en bajas concentración por su facilidad de acumulación en el organismo.
- ◆ En el caso del Cd se asignó el color azul en la gráfica para representar los valores encontrados donde: los resultados obtenidos para este metal solo rebasan los límites establecidos en el país de Chile, por lo que se considera que los valores fueron relativamente bajos.

5. CONCLUSIÓN

- ◆ Para la permeabilidad, el índice de infiltración en este tipo de suelo se clasifica como moderadamente lento, este suelo se caracteriza por ser permeable. De acuerdo con la relación de la porosidad obtenida, el suelo está constituido o conformado por materiales muy porosos constituidos por arcillas según la clasificación de Iturbe R. & Silva A. (1992) tal como se ve en la tabla 8.2. De acuerdo a las características de la muestra y por las especificaciones de los tipos de suelo el nombre de este tipo de suelo es Rendzina, este se clasifica como un suelo calcáreo y de acuerdo a su permeabilidad la infiltración de líquidos es moderadamente lenta ver tabla 8.4. Los resultados obtenidos en la determinación de la humedad concuerdan con la relación entre la porosidad y la permeabilidad en donde la humedad de este tipo de suelo muestra que a mayor profundidad mayor humedad por lo que se concluye que la humedad no es homogénea en las diferentes profundidades de la columna de suelo.

- ◆ Las muestras de suelo reflejan un 100% la presencia de plomo, duplicando hasta en ocho veces el límite establecido. La presencia del mercurio en las muestras de suelo fue del 88.8 % del total de muestras suelo, la ausencia de materiales orgánicos evita se pudiera dar la adsorción, este hecho moviliza principalmente a los compuestos metálicos mediante la percolación de los fluidos, que se cuenta con estos compuestos puede influir en el arrastre y sedimentación de este metal a lo largo de la columna de suelo.

Las muestras evaluadas para el caso del cadmio tuvieron un 100% de presencia, en la totalidad de las muestras en este caso solo uno de los tubos de muestra reflejo valores más altos a los que establece la norma, la característica alcalina de este tipo de suelo imposibilita en gran medida del desplazamiento de este metal el cual a mayor acidez presenta una mayor movilidad.

Los contenidos de metales traza analizados reportan una alta concentración en los RSU, por lo cual el contenido en las muestras resulta elevado, la mala disposición de materiales como pilas, aparatos eléctricos, pinturas,

materiales metálicos resultantes del uso cotidiano, puede influir en las afectaciones de vastas áreas así mismo al hogar.

- ◆ La presencia del plomo en los lixiviados generados fue de un 100% aunque solo el 11.1% de las muestras rebasa el límite establecido con la norma aplicada, en las tablas se puede ver que la mayor concentración de este metal se dio en las últimas muestras generadas de los meses de julio y agosto que son los meses en los que se dio la mayor cantidad de precipitación.

Los contenidos de mercurio en los lixiviados fueron del 100% de presencia en las muestras de lixiviados generados con los RSU y el 88.8% del total de las muestras rebasaron el límite establecido por la norma aplicada duplicando los valores en su concentración más alta, la presencia del mercurio se manifestó con sus más altas concentraciones en las muestras generadas en los meses de mayo y junio que es el periodo con mayores contenidos de concentración en donde la precipitación de esos meses fue alta para el mes de mayo y media para el mes de junio.

En el caso del cadmio la presencia del metal fue del 100% en las muestras y ninguna rebasó la concentración establecida por la norma aplicada aun cuando dos de las nueve muestras rayaran en el límite de dicha concentración.

Los altos contenidos de elementos traza evaluados durante esta investigación, revelan que la generación de RSU provocan un alto factor de riesgo en el mal manejo y la disposición final de los mismos, provocando generación de lixiviados con concentraciones que rebasan los límites de la **Nom-147-semarnat/ssa1 (2004)**, la falta de la educación ambiental provoca que de manera incontrolada la sociedad vierta toda clase de Residuos a los RSU, en los cuales se incluyen desechos con orden de residuos peligrosos por su potencial para contaminar, entre algunos materiales ubicados en los RSU de manera cotidiana podemos encontrar Pilas alcalinas, circuitos electrónicos, aparatos eléctricos, etc.

Las consecuencias de desechar este tipo de residuos peligrosos en áreas urbanas está provocando la generación de lixiviados, en la zona los suelos son muy permeables por lo que los escurrimientos con altos contenidos de metales pesados están contaminando gran superficie de suelos, en consecuencia se contaminan mantos freáticos y canales de agua subterránea en donde se van acumulando materiales tóxicos.

- ◆ La simulación llevada a cabo en este proyecto de investigación demuestra como la mala operación de un centro de disposición final como pudiera ser el caso de un tiradero a cielo abierto genera bastas concentraciones de metales pesados presentes en los lixiviados que mediante la percolación de los fluidos contamina extensas áreas de suelo tanto como aguas subterráneas, al ser afectadas estas áreas de ven involucradas de manera negativa algunas de la principales actividades cotidianas como la siembra, irrigación, pesca y desde luego la vivienda, de manera que el descontrol de la generación de lixiviados afecta dramáticamente los entornos al punto del deterioro ambiental.

6. RECOMENDACIONES

- ◆ La disposición de RSU debe realizarse en rellenos sanitaria.
- ◆ Almacenar y disponer apropiadamente materiales de alta contaminación como pilas, baterías y aparatos eléctricos.
- ◆ Llevar a los centros de acopio todo tipo de desechos electrónicos.
- ◆ Reciclar y reutilizar materiales que sean de vida útil muy corta pero que representen otro tipo de utilidad y que no sean biodegradables.
- ◆ Dar un manejo adecuado y disposición final a los lixiviados generados en los vertederos.
- ◆ Prevenir escurrimientos de compuestos tóxicos, y dar tratamiento a zonas afectadas para prevenir problemas sanitarios y ambientales.
- ◆ Realizar análisis en zonas cercanas a los tiraderos para evaluar la afectación en el área.

7. ANEXOS

Tabla 8.0. Clasificación de suelos de acuerdo a su permeabilidad.

CLASES DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS	ÍNDICE DE PERMEABILIDAD	
	cm/hora	cm/día
Muy lenta	menor de 0.13	menor de 3
Lenta	0.13 - 0.3	03-12
Moderadamente lenta	0.5 - 2.0	12-48
Moderada	2.0 - 6.3	48 - 151
Moderadamente rápida	6.3 - 12.7	151 - 305
Rápida	12.7 - 25	305 - 600
Muy rápida	mayor de 25	mayor de 600

Fuente: Sin autor (s/a). Permeabilidad del suelo. Recuperado de: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm#top

Tabla 8.1. Clasificación de la permeabilidad de los suelos.

Clases de permeabilidad de los suelos	Coeficiente de permeabilidad (K en m/s)	
	Límite inferior	Límite superior
Permeable	2×10^{-7}	2×10^{-1}
Semipermeable	1×10^{-11}	1×10^{-5}
Impermeable	1×10^{-11}	5×10^{-7}

Fuente: Sin autor (s/a). Permeabilidad del suelo. Recuperado de: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm#top

Tabla 8.2. Intervalos de porosidades para materiales sedimentarios.

INTERVALOS DE POROSIDADES PARA MATERIALES SEDIMENTARIOS.	
MATERIALES	POROSIDADES EN PORCENTAJE
Arcilla	45-55
Limo	40-50
Arena media	35-40
Arena uniforme	30-40
Arena fina a media	30-35
Grava	30-40
Grava y Arena	20-35
Arenisca	10-20
Pizarra	1-10
Caliza	1-10

Fuente: Iturbe R. & Silva A. (1992). Agua subterránea y contaminación. D.F.; México. Editorial: Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Tabla 8.3. Volumen drenable o infiltración del suelo, en función de la conductividad hidráulica

Volumen drenable o infiltración del suelo, en función de la conductividad hidráulica		
Permeabilidad / Porosidad Eficaz	Valores (cm/hora)	Volumen (%)
Muy lenta	< 0.15	< 20
Lenta	0.15 - 0.50	20 - 30
Lenta a moderada	0.50 - 2.00	31 - 40
Moderada	2.00 - 5.00	41 - 50
Moderada a rápida	5.00 - 10.00	50 - 60
Rápida	5.00 - 15.00	50 - 60
Muy rápida	15.00 - 25.00	60 - 70
Extremadamente rápida	> 25.00	> 70

Fuente: modificado de Territorio, Economía y Sociedad, S.A. de C.V. (2008). Pago de servicios ambientales de captura de agua y desempeño hidrológico en el Corredor Sian Ka'an Calakmul. Coordinación de Corredores y Recursos Biológicos. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). D.F. México. Pp. 20. Recuperado de: <http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/documentos/ordenamiento/Informefinalterritorioeconomiaysociedad2007.pdf>

Tabla 8.4. Valores de permeabilidad porosidad eficaz y volumen infiltrado en los suelos de Quintana Roo

Valores de permeabilidad porosidad eficaz y volumen infiltrado en los suelos de Quintana Roo		
Tipo de Suelo	Permeabilidad / Porosidad Eficaz	Volumen (%)
Cambisol	Lenta a moderada	<25
Fluviosol	Muy rápida a extremadamente rápida	55.00 a 65
Gleysol	Muy lenta	< 20
Litosol	Moderada	25 - 35
Luvisol	Lenta a moderada	20 - 35
Nitosol	Moderada	46- 50
Regosol	Moderada / Moderada a rápida	50 – 55
Rendzina	Lenta a moderada / Moderada	35 – 55
Solonchak	Lenta a moderada	25 – 35
Vertisol	Lenta / Lenta - moderada	20 - 30

Fuente: modificado de Territorio, Economía y Sociedad, S.A. de C.V. (2008). Pago de servicios ambientales de captura de agua y desempeño hidrológico en el Corredor Sian Ka'an Calakmul. Coordinación de Corredores y Recursos Biológicos. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). D.F. México. Pp. 20. Recuperado de: <http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/documentos/ordenamiento/InformeFinalterrito rioeconomiaysociedad2007.pdf>

Tabla 8.6. Concentración de remediación de suelos contaminados.

Contaminante	Uso agrícola, residencial, comercial	Uso industrial
	(mg/kg)	(mg/kg)
Arsénico	22	260
Bario	5 400	67 000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo Hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1 600	20 000
Plata	390	5 100
Plomo	400	800
Selenio	390	5 100
Talio	5,2	67
Vanadio	78	1000

Fuente: Norma oficial mexicana nom-147-semarnat/ssa1 (2004).

Tabla 8.7. Concentraciones de referencia de contaminantes solubles.

Contaminante	Concentración
	(mg/L)
Arsénico	0.5
Bario	10,000
Berilio	0.122
<i>Cadmio</i>	<i>0.1</i>
<i>Mercurio</i>	<i>0.02</i>
Níquel	1.1
Plata	0.5
<i>Plomo</i>	<i>0.5</i>
Selenio	0.1

Fuente: Norma oficial mexicana nom-147-semarnat/ssa1 (2004).

Cuadro 8.0. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																					
		RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELOS			
PARAMETROS																					
												Explotación									
(miligramos por litro)		Uso en riego		Uso publico		Protección		Uso en riego		Uso publico		pesquera,		Recreación		Estuarios		Uso en riego		Humedales	
		agrícola		urbano		de vida		agrícola		urbano		navegación y otros usos		(B)		(B)		agrícola		naturales	
		(A)		(B)		acuática		(B)		(C)		(A)						(A)		(B)	
						(C)						(A)									
		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.
ARSENICO		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
CIANUROS		1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
COBRE		4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
CROMO		1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
MERCURIO		0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	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
NIQUEL		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
P.D.= PROMEDIO DIARIO		P.M.=PROMEDIO MENSUAL						N.A.= NO APLICA													
(A), (B) Y (C): TIPO DE CUERPO RECEPTOR SEGÚN LEY DE DERECHOS																					

Fuente: Diario oficial de la federación (1997,06 Enero) NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Cuadro 8.1. Comparación de la normativa internacional

PAIS	MEXICO					CHILE		COSTA RICA	
	Ríos	Embalses art. y nat.	Aguas costeras	Suelo	Humedales naturales	Cuerpo de agua fluviales	Cpos. De agua fluviales consid. Cap. De dilución del receptor	Alcantarillado	cuerpos de agua
PARAMETRO									
CADMIO (mg/L)	A 0.2 -0.4 (PM-PD)	B 0.2 -0.4 (PM-PD)	A 0.1-0.2 (PM-PD)	A0.005- 0.1 (PM-PD)					
	B 0.1 - 0.2 (PM-PD)	C 0.1-0.2 (PM-PD)	B0.2-0.4 (PM-PD)		B-0.1-0.2 (PM-PD)	0.01	0.3	0.1	0.1
	C 0.1 - 0.2 (PM-PD)		B0.1-0.2 (PM-PD)						
MERCURIO (mg/L)	A0.0 1- 0.02 (PM-PD)	B 0.01 -0.02 (PM-PD)	A0.01-0.02 (PM-PD)	A.005- 0.01 (PM-PD)					
	B 0.005 - 0.01 (PM-PD)	C 0.005 -0.01 (PM-PD)	B0.01-0.02 (PM-PD)		B0.005-0.01 (PM-PD)	0.001	0.01	0.01	0.01
	C 0.0005 - 0.01 (PM-PD)								
PLOMO (mg/L)	A 0.5 – 1 (PM-PD)	B 0.5-1 (PM-PD)	A 0.2-0.4 (PM-PD)	A 5-10 (PM-PD)					
	B 0.2 - 0.4 (PM-D)	C 0.2-0.4 (PM-PD)	B 0.5-1 (PM-PD)		B 0.2-0.4 (PM-PD)	0.05	0.5	0.5	0.5
	C 0.2 - 0.4 (PM- PD)		B 0.2-0.4 (PM-PD)						

PAIS	GUATEMALA					NICARAGUA	VENEZUELA	USA		TAIWAN
	Inicial	Etapa uno	Etapa dos	Etapa tres	Etapa cuatro	Alcantarillado		Chesterfield country	Ebmud	
PARAMETRO										
CADMIO (mg/L)	1	0.4	0.1	0.1	0.1	1	0.2	0.09	1	0.03
MERCURIO (mg/L)	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.0008	0.05	NO DETECTABLE (ORGANICO) 0.005 (Total)
PLOMO (mg/L)	4	1	0.4	0.4	0.4	1	0.5	1.38	2	1
PM = PROMEDIO MENSUAL					PD = PROMEDIO DIARIO					
(A), (B) Y (C): TIPO DE CUERPO RECEPTOR SEGÚN LEY DE DERECHOS										

Fuente: Diario oficial de la federación (1997,06 Enero) NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

ANEXOS 2

Tabla 8.0 Resultados de la absorbancia de suelo con Pb en las muestras de suelo.

Resultados de la absorbancia de Plomo (Pb) en las muestras de suelo.					
Muestra	Conc. mg/L	% Deviation estandar relativa	Abs. media	Replica 1	Replica 2
M11	2.77	2.4	0.0337	0.0343	0.034
M12	2.25	2.3	0.0288	0.0285	0.0284
M13	4.05	0.3	0.0457	0.0458	0.0457
M21	1.81	2	0.0248	0.0243	0.0247
M22	3.03	2	0.0362	0.0368	0.0364
M23	0.5	2	0.0125	0.0128	0.0123
M31	0.14	10.8	0.0091	0.0103	0.0085
M32	0.26	1.4	0.0102	0.0104	0.0101
M33	1.52	3.9	0.022	0.0217	0.023

Fuente: elaboración propia (2015).

Tabla 8.1 Resultados de la absorbancia de Hg en las muestras de suelo.

Resultados de la absorbancia de Mercurio (Hg) en las muestras de suelo.					
Muestra	Conc. mg/L	% Deviation estandar relativa	Abs. media	Replica 1	Replica 2
M11	0.008	34.4	0.0028	0.0022	0.0039
M12	0.028	80.2	0.0009	0.0003	0.0017
M13	0.007	11.2	0.0053	0.006	0.0049
M21	0.002	14.4	0.0044	0.0045	0.0051
M22	0	5.8	0.0042	0.0044	0.0043
M23	0.015	30.4	0.0015	0.0017	0.0018
M31	0.034	18.4	0.002	0.0018	0.0017
M32	0.04	12.5	0.0031	0.0033	0.0032
M33	0.014	16.3	0.0017	0.002	0.0015

Fuente: elaboración propia (2015).

Tabla 8.2. Resultados de la absorbancia de Cd en las muestras de suelo.

Resultados de la absorbancia de Cadmio (Cd) en las muestras de suelo.					
Muestra	Conc. mg/L	% Deviation estandar relativa	Abs. media	Replica 1	Replica 2
M11	0.11	1	0.0242	0.0244	0.0239
M12	0.113	2.9	0.0246	0.0247	0.0239
M13	0.104	2.9	0.023	0.023	0.0238
M21	0.076	4.2	0.018	0.0178	0.0174
M22	0.095	1.7	0.0214	0.0211	0.0218
M23	0.016	8	0.0071	0.0065	0.0076
M31	0.012	2.1	0.0064	0.0063	0.0066
M32	0.009	2.7	0.0058	0.0056	0.0057
M33	0.059	1.5	0.0149	0.0148	0.0147

Fuente: elaboración propia (2015).

Tabla 8.3. Resultados de la absorbancia de Pb en las muestras de lixiviados.

Resultados de la absorbancia de Plomo (Pb) en las muestras de lixiviados.					
Muestra	Conc. mg/L	% Desviación estandar relativa	Abs. media	Replica 1	Replica 2
L1-(M-A)	0.44	7.2	0.012	0.0122	0.011
L1-(M-J)	0.12	1.9	0.0089	0.0089	0.0088
L1-(J-A)	0.19	3.5	0.0095	0.0092	0.0099
L2-(M-A)	0.35	7.1	0.0111	0.012	0.0105
L2-(M-J)	0.22	5.1	0.0099	0.0104	0.0094
L2-(J-A)	0.24	3.9	0.01	0.0103	0.0096
L3-(M-A)	0.27	9.3	0.0104	0.0106	0.0112
L3-(M-J)	0.49	2.2	0.0124	0.0123	0.0121
L3-(J-A)	0.84	3	0.0157	0.0154	0.0154

Fuente: elaboración propia (2015).

Tabla 8.4. Resultados de la absorbancia de Hg en las muestras de lixiviados.

Resultados de la absorbancia de Mercurio (Hg) en las muestras de lixiviados.					
Muestra	Conc. mg/L	% Deviation estandar relativa	Abs. media	Replica 1	Replica 2
L1-(M-A)	0.019	56.4	0.0006	0.0005	0.0004
L1-(M-J)	0.035	5.9	0.0022	0.0021	0.0022
L1-(J-A)	0.038	7.6	0.0027	0.0029	0.0025
L2-(M-A)	0.036	42.8	0.0024	0.0032	0.0027
L2-(M-J)	0.041	17.3	0.0034	0.0035	0.0038
L2-(J-A)	0.043	9.6	0.0036	0.0032	0.0039
L3-(M-A)	0.041	15.3	0.0032	0.0034	0.0027
L3-(M-J)	0.026	62.2	0.0006	0.0002	0.0007
L3-(J-A)	0.035	45.2	0.0021	0.0013	0.0019

Fuente: elaboración propia (2015).

Tabla 8.5 Resultados de la absorbancia de Cd en las muestras de lixiviados.

Resultados de la absorbancia de las muestras de Cadmio (Cd) en las muestras de lixiviados.					
Muestra	Conc. mg/L	% Deviation estandar relativa	Abs. media	Replica 1	Replica 2
L1-(M-A)	0.008	8.3	0.0056	0.0057	0.0051
L1-(M-J)	0.018	20.6	0.001	0.0012	0.001
L1-(J-A)	0.008	16.7	0.0028	0.0024	0.0027
L2-(M-A)	0.015	30.9	0.0015	0.0012	0.0013
L2-(M-J)	0.01	61.8	0.0024	0.0014	0.0017
L2-(J-A)	0.018	50.3	0.0009	0.0014	0.0008
L3-(M-A)	0.002	7.4	0.0045	0.0043	0.0048
L3-(M-J)	0.012	22.5	0.002	0.002	0.0025
L3-(J-A)	0.003	6.6	0.0036	0.0035	0.0039

Fuente: elaboración propia (2015).

8. BIBLIOGRAFIA:

Acuña, A. (2008). Sascab: en el área de Yucatán, México. Global Césped. Recuperado de: <http://globalcesped.org/noticias-mainmenu-2/los-suelos/128-sascab-en-el-a-de-yucat-mco>

Angelone, S; Garibay, Ma. & Cauhapé M. (2006) Geología y Geotecnia: Permeabilidad de suelos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario. Argentina. Pp. 03-38.

Bautista F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Mérida, Yucatán, México. Editorial: Universidad Autónoma de Yucatán. Pp. 19-87.

Bautista, Francisco (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales. Ed. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Mérida, Yucatán. Pp. 39-98. Recuperado de: [https://books.google.com.mx/books?id=yE2Jq3z7ex4C&pg=PA40&lpg=PA40&dq=M%C3%A1s+del+59+%25+de+los+residuos+s%C3%B3lidos+municipales+es+biodegradable+\(INEGI,&source=bl&ots=mc3gpttcoH&sig=PrDpzE4VNZC2Lq1QH4X79pn-pUo&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi5lu_cvYvOAhVo0YMKHeYsCqAQ6AEIGjAA#v=onepage&q=M%C3%A1s%20del%2059%20%25%20de%20los%20residuos%20s%C3%B3lidos%20municipales%20es%20biodegradable%20\(INEGI%2C&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=yE2Jq3z7ex4C&pg=PA40&lpg=PA40&dq=M%C3%A1s+del+59+%25+de+los+residuos+s%C3%B3lidos+municipales+es+biodegradable+(INEGI,&source=bl&ots=mc3gpttcoH&sig=PrDpzE4VNZC2Lq1QH4X79pn-pUo&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi5lu_cvYvOAhVo0YMKHeYsCqAQ6AEIGjAA#v=onepage&q=M%C3%A1s%20del%2059%20%25%20de%20los%20residuos%20s%C3%B3lidos%20municipales%20es%20biodegradable%20(INEGI%2C&f=false)

Iturbe, R. & Silva. A (1992). Agua Subterránea y Contaminación Universidad Autónoma de México (UNAM). D.F. México. Pp. 01-51.

C&G Depurazione Industriale Srl, (2008). Lixiviado de vertedero: Residuos y energía binomio posible el lixiviado y la destilación. C&G IBERICA - Depuration Industriales. Barcelona, España. Pp.01-04. recuperado de: http://www.cgdepur.it/documenti_spa/admin/mdb/documenti/177_lixivados_de_vertedero.pdf

Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (DIGAOHM). (2012). Chetumal, Quintana Roo. Secretaria de Marina (SEMAR). México. Pp. 01-13. Recuperado de: <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioChetumal.pdf>

Gobierno Municipal de Matamoros (2006). Figura 8.1 Formación de Lixiviados [Figura]. Capítulo 8: Generación y Control de Lixiviados. Proyecto ejecutivo de relleno sanitario regional y estaciones de transferencia de residuos sólidos para Matamoros y Valle Hermoso, Tamaulipas. Recuperado de: http://virtual.cocef.org/Discos_documentos_consultores/Disco_358/1_Relleno_Sanitario/1_Proyecto_Ejecutivo/Capitulo_08_Generacion_Control_lixivados.doc

Google Earth (2014). Rancho el Manantial. Google Earth.

Hodgson, J.M (1987). Muestreo y descripción de suelos. Editorial Oxford University Press. Walton Street, Oxford. Edición española: Reverte, S.A. Barcelona-Bogotá-Buenos Aires- Caracas-México. Pp. 01-192. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?id=Gge-HNCUwXYC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
<http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>

INEGI (2014). Clima de Quintana Roo. INEGI. México.

INEGI. (1994). Estadísticas del medio ambiente: México, 1994. INEGI. Aguascalientes, México.

Juárez, M; Franco, M. & Ascencio, V. (2009). Manual de prácticas de laboratorio de química ambiental I. Instituto Politécnico Nacional. (IPN). Unidad profesional interdisciplinaria de biotecnología. México, D.F. Pp.04-64.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003). Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, 08 de Octubre de 2003. D.F, México. Pp. 01-52. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL (1996). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. 1996. Pp. 01-13.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1 (2004). Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Diario Oficial de la Federación. D.F, México, 2004. Pp. 01-69.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT (2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. D.F, México. 2000. Pp.01-85.

Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT (2005). Establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación. D. F, México. 2005. Pp.01-40

Norma Oficial Mexicana NOM-057-SEMARNAT (1993). Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación. D. F, México. 2003. Pp.02-14.

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación. D. F, México. 2003. Pp.01-16.

Pozo, C., Armijo, N. y Calmé, S. (2011). Riqueza biológica de Quintana Roo un análisis para su conservación: Carta hidrológica de Quintana Roo. Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones. México, D. F. Pp. 07-83.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (1988). Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Diario Oficial de la Federación, 25 de Noviembre de 1988. D.F. México Pp. 01-15. Recuperado de: <http://www.uaem.mx/progau/archivos/Marco/Federales/F5.-%20Reglamento%20de%20la%20Ley%20General%20del%20Equilibrio%20y%20la%20Proteccion%20al%20Ambiente%20en%20Materia%20de%20Residuos%20peligrosos.pdf>

Robles, Morales, AB Piña, Espíndola, Tovar & Valencia. (2011). Medición de pH y cuantificación de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario más grande de la zona metropolitana de la ciudad de México. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI)- Instituto Politécnico Nacional (IPN). México. Instituto Politécnico Nacional (IPN). Pp. 121-132.

Sin autor (s/a). Permeabilidad del suelo. Recuperado de:
ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm#top

Sistema Intermunicipal de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA). (2014). Actualización de los criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la Z.M.G: Geotecnia. Gobierno del estado de Guadalajara, Jalisco, México. Pp. 02-28.

Territorio, Economía y Sociedad, S.A. de C.V. (2008). Pago de servicios ambientales de captura de agua y desempeño hidrológico en el Corredor Sian Ka'an Calakmul. Coordinación de Corredores y Recursos Biológicos. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). D.F. México. Pp. 01-32. Recuperado de:
<http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/documentos/monitoreo/InformeFinalcentrogeo20062.pdf>